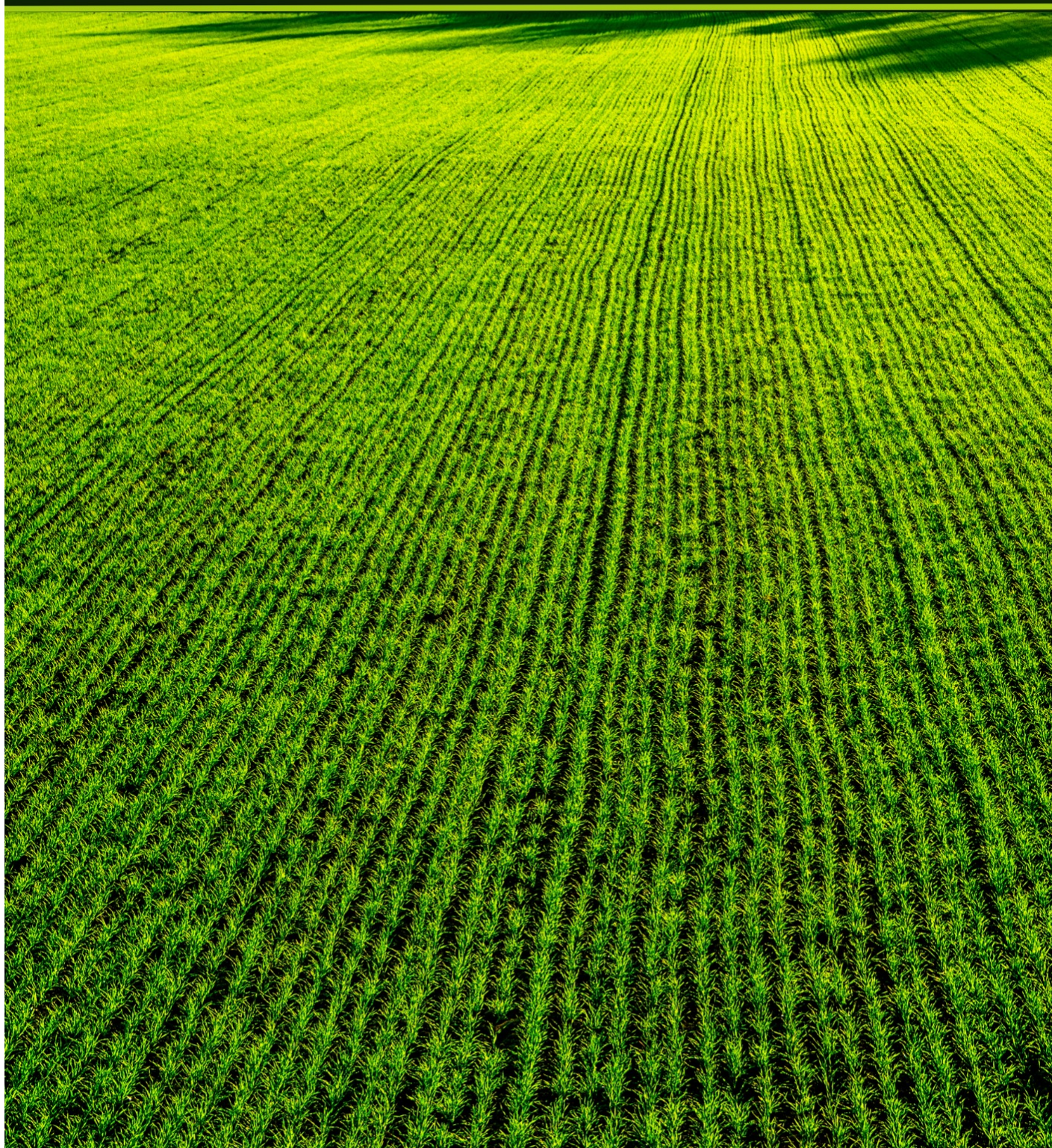


CIÊNCIAS AGRÁRIAS: ESTUDOS FUNDAMENTAIS

VOLUME X



EDITORA CONHECIMENTO LIVRE

Frederico Celestino Barbosa

Ciências agrárias: estudos fundamentais

10^a ed.

Piracanjuba-GO
Editora Conhecimento Livre
Piracanjuba-GO

10ª ed.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Barbosa, Frederico Celestino
B238C Ciências agrárias: estudos fundamentais

/ Frederico Celestino Barbosa. – Piracanjuba-GO

Editora Conhecimento Livre, 2024

86 f.: il

DOI: 10.37423/2024.edcl959

ISBN: 978-65-5367-508-7

Modo de acesso: World Wide Web

Incluir Bibliografia

1. agronomia 2. engenharia-florestal 3. engenharia-agrônoma 4. engenharia-de-pesca I. Barbosa, Frederico Celestino II. Título

CDU: 630

<https://doi.org/10.37423/2024.edcl959>

O conteúdo dos artigos e sua correção ortográfica são de responsabilidade exclusiva dos seus respectivos autores.

EDITORIA CONHECIMENTO LIVRE

Corpo Editorial

MSc Edson Ribeiro de Britto de Almeida Junior

MSc Humberto Costa

MSc Thays Merçon

MSc Adalberto Zorzo

MSc Taiane Aparecida Ribeiro Nepomoceno

PHD Willian Douglas Guilherme

MSc Andrea Carla Agnes e Silva Pinto

MSc Walmir Fernandes Pereira

MSc Edisio Alves de Aguiar Junior

MSc Rodrigo Sanchotene Silva

MSc Wesley Pacheco Calixto

MSc Adriano Pereira da Silva

MSc Frederico Celestino Barbosa

MSc Guilherme Fernando Ribeiro

MSc. Plínio Ferreira Pires

MSc Fabricio Vieira Cavalcante

PHD Marcus Fernando da Silva Praxedes

MSc Simone Buchignani Maigret

Dr. Adilson Tadeu Basquerote

Dra. Thays Zigante Furlan

MSc Camila Concato

PHD Miguel Adriano Inácio

MSc Anelisa Mota Gregoleti

PHD Jesus Rodrigues Lemos

MSc Gabriela Cristina Borborema Bozzo

MSc Karine Moreira Gomes Sales

Dr. Saulo Cerqueira de Aguiar Soares

MSc Pedro Panhoca da Silva

MSc Helton Rangel Coutinho Junior

MSc Carlos Augusto Zilli
MSc Euvaldo de Sousa Costa Junior
Dra. Suely Lopes de Azevedo
MSc Francisco Odecio Sales
MSc Ezequiel Martins Ferreira
MSc Eliane Avelina de Azevedo Sampaio
MSc Carlos Eduardo De Oliveira Gontijo
MSc Rainei Rodrigues Jadejiski
Dr. Rodrigo Couto Santos
Dra. Milena Gaion Malosso
PHD Marcos Pereira Dos Santos

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	5
BIOSPECKLE LASER APLICADO NA IDENTIFICAÇÃO DE ATIVIDADE BIOLÓGICA EM SOLOS	
Adilson Machado Enes	
Jucimara de Andrade	
Maria Fernanda de Menezes Santos	
Luiz Diego Vidal Santos	
Silvestre Rodrigues	
DOI 10.37423/240509032	
CAPÍTULO 2	11
EFEITO DO FOGO NA GEOQUÍMICA DO SOLO	
Niclene Ponce Rodrigues de Oliveira	
Rosana Andréia da Silva Rocha	
Anna Carolina Araujo Ribeiro Zanatta	
Ariane Isis Barros	
Oscarlina Lúcia dos Santos Weber	
DOI 10.37423/240509037	
CAPÍTULO 3	34
GEOQUÍMICA DE SOLOS ALAGADOS	
Deborah de Amorim Teixeira Santos	
Renata Vilalba Reis	
Ricardo Adamo Trindade Ferreira	
Ariane Isis Barros	
Oscarlina Lúcia dos Santos Weber	
DOI 10.37423/240509043	
CAPÍTULO 4	58
TESTE DO PH DO EXSUDATO PARA AVALIAR A VIABILIDADE E VIGOR DE SEMENTES DE Salsa Graúda Portuguesa	
Elaine Gonçalves Rech	
DOI 10.37423/240509045	
CAPÍTULO 5	71
DESENVOLVIMENTO DE MUDAS DE MAMOEIRO “SOLO” UTILIZANDO SUBSTRATO COMPOSTO DE SOLO, AREIA E ESTERCO BOVINO	
JOSE MATHEUS CORDEIRO DOS SANTOS	
ELMA MACHADO ATAÍDE	
ASHELLEY MARQUES RODRIGUES	
DOI 10.37423/240509046	

CAPÍTULO 6 80

BIOMETRIA EM CANA-PLANTA E CANA-SOCA

Renato Frederico dos Santos

Hugo Zeni Neto

Lia Mara Moterle

Joseli Cristina da Silva

DOI 10.37423/240609060

Capítulo 1



10.37423/240509032

BIOSPECKLE LASER APLICADO NA IDENTIFICAÇÃO DE ATIVIDADE BIOLÓGICA EM SOLOS

Adilson Machado Enes

Universidade Federal de Sergipe

Jucimara de Andrade

Universidade Federal de Sergipe

Maria Fernanda de Menezes Santos

Universidade Federal de Sergipe

Luiz Diego Vidal Santos

Universidade Federal de Sergipe

Silvestre Rodrigues

Universidade Federal de São João Del Rei



Resumo: O biospeckle laser é um fenômeno óptico de interferência que ocorre quando há incidência de luz coerente em um material biológico que exiba algum tipo de atividade. O conjunto de elementos físicos e biológicos que alteram o padrão de interferência do biospeckle laser é constituído por diversos elementos. Esta técnica tem sido empregada em diversos tipos de análises, nas mais diversas áreas. Na engenharia Agrícola os esforços no emprego da técnica têm se concentrado em busca de métodos rápidos, objetivos e não destrutivos para avaliação de sementes, atividade fisiológica de plantas e microorganismos. Este conhecimento será importante para o desenvolvimento futuro de sensores que permitirão indicar de forma indireta, a atividade microbiológica no solo, bem como o teor de água. Estudos recentes demostram que a identificação e mapeamento dos fenômenos decorrentes da atividade biológica em materiais é possível por meio de técnicas de análise de frequência como a Transformada de Fourier e a Transformada de Wavelets. Este trabalho tem por objetivo avaliar o potencial do *biospeckle* laser e análises com *Waveletes* empregado no monitoramento de atividade microbiológica em uma amostra de solo. Os resultados mostraram que a técnica é eficiente para a diferenciação, no qual a mesma foi mais evidente quando o solo apresentava teor de água mais elevado.

Palavras-chave: Processamento de imagens, *Speckle* dinâmico, análise de solo.

INTRODUÇÃO:

O fenômeno do biospeckle, também conhecido como speckle dinâmico, é um fenômeno óptico de interferência que ocorre quando a luz coerente, como a de um laser, incide sobre materiais com superfícies opticamente rugosas que apresentam algum tipo de atividade interna. Este padrão de interferência formado está diretamente relacionado à posição e ao arranjo dos objetos espalhadores na superfície do material. Pequenas perturbações nesse arranjo provocam alterações perceptíveis no padrão de interferência resultante. Portanto, as mudanças no padrão de speckle carregam informações valiosas sobre a atividade na superfície do objeto iluminado e até mesmo abaixo dela.

Em materiais biológicos, os níveis de atividade podem estar diretamente relacionados a processos vitais como a viabilidade celular, trocas gasosas, respiração, atividade microbiana e atividade de água (aw) (Briers, 2001; Braga et al., 2009). Devido a essas características, o fenômeno do biospeckle tem sido amplamente estudado como uma ferramenta potencial para a análise da qualidade e viabilidade de diversos materiais biológicos. Na Engenharia Agrícola, esforços significativos têm sido direcionados para empregar essa técnica com o objetivo de desenvolver métodos rápidos, objetivos e não destrutivos para avaliar a qualidade de sementes, a atividade fisiológica de plantas e a presença de microrganismos (Arizaga et al., 1999; Parlange et al., 1998).

A utilização do biospeckle na avaliação de sementes, por exemplo, permite a detecção de sementes viáveis e não viáveis de maneira não invasiva, economizando tempo e recursos, ao mesmo tempo em que aumenta a precisão dos resultados (Diniz et al., 2018). Na avaliação da atividade fisiológica de plantas, essa técnica pode monitorar o estresse hídrico e nutricional, oferecendo dados precisos para o manejo agrícola (Rajkumar et al., 2020). Além disso, a análise de speckle dinâmico tem sido explorada para monitorar a atividade microbiana no solo, fornecendo informações cruciais para a gestão da saúde do solo e o manejo sustentável das culturas (Santos et al., 2019).

A técnica de biospeckle também tem aplicação na avaliação da qualidade de frutas e vegetais, onde pode detectar mudanças na textura e na composição interna de forma não destrutiva (Rabelo et al., 2005). Este método é particularmente útil para a indústria alimentícia, permitindo o controle de qualidade durante o processamento e armazenamento dos produtos (Erikson et al., 2011).

No futuro, o desenvolvimento de sensores baseados em biospeckle pode permitir a indicação indireta da atividade microbiológica do solo, bem como do seu teor de água, aumentando os parâmetros monitorados na agricultura de precisão e no manejo de culturas irrigadas. Esses sensores poderiam

revolucionar a maneira como a atividade biológica do solo é monitorada, fornecendo dados em tempo real e ajudando a otimizar o uso de recursos hídricos e insumos agrícolas (Silva et al., 2021). Além disso, a técnica tem potencial para ser utilizada em outros campos, como a medicina e a biotecnologia, para monitorar processos biológicos em tempo real (Yamamoto et al., 2016).

MATERIAL E MÉTODOS:

Os experimentos foram realizados no ano de 2016 no Laboratório de Prototipagem (LAPROT) do Departamento de Engenharia Agrícola (Deagri) da Universidade Federal de Sergipe (UFS). Os equipamentos utilizados foram: um laser HeNe de 632 nm de comprimento de onda (vermelho), Uma câmera digital filmadora com capacidade de aquisição de 30 frames por segundo e um computador para processamento de dados e filtragem das bandas de frequência por Wavelets. Para isolar a frequência de atividade microbiológica no solo por meio do *biospeckle* laser, uma amostra de solo textura Franco Arenoso foi retirada de uma área com cobertura vegetal, precisamente na camada A, localizado no Campus Rural, em São Cristóvão SE, com altitude de 47m. Em seguida, por amostragem, foi determinada a umidade do solo coletado pelo método da estufa à 105º durante 24 horas. O solo retirado da estufa foi hidratado até a umidade em que se encontrava antes do procedimento de secagem. Em ambos os casos os resultados foram comparados com o solo não esterilizado, a fim de se determinar a influencia da atividade microbiológica nos resultados de biospeckle laser no solo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO:

Após coleta de dados e ajuste de setup para obtenção de imagens objetivando o processamento específico em Wavelets, foi possível obter diferenciação entre os tratamentos, mostrando a eficiência da metodologia adotada. A Figura 01 permite observar essa comparação, na qual os resultados com coloração mais intensa, tendendo ao amarelo e vermelho indicam atividade mais elevada.

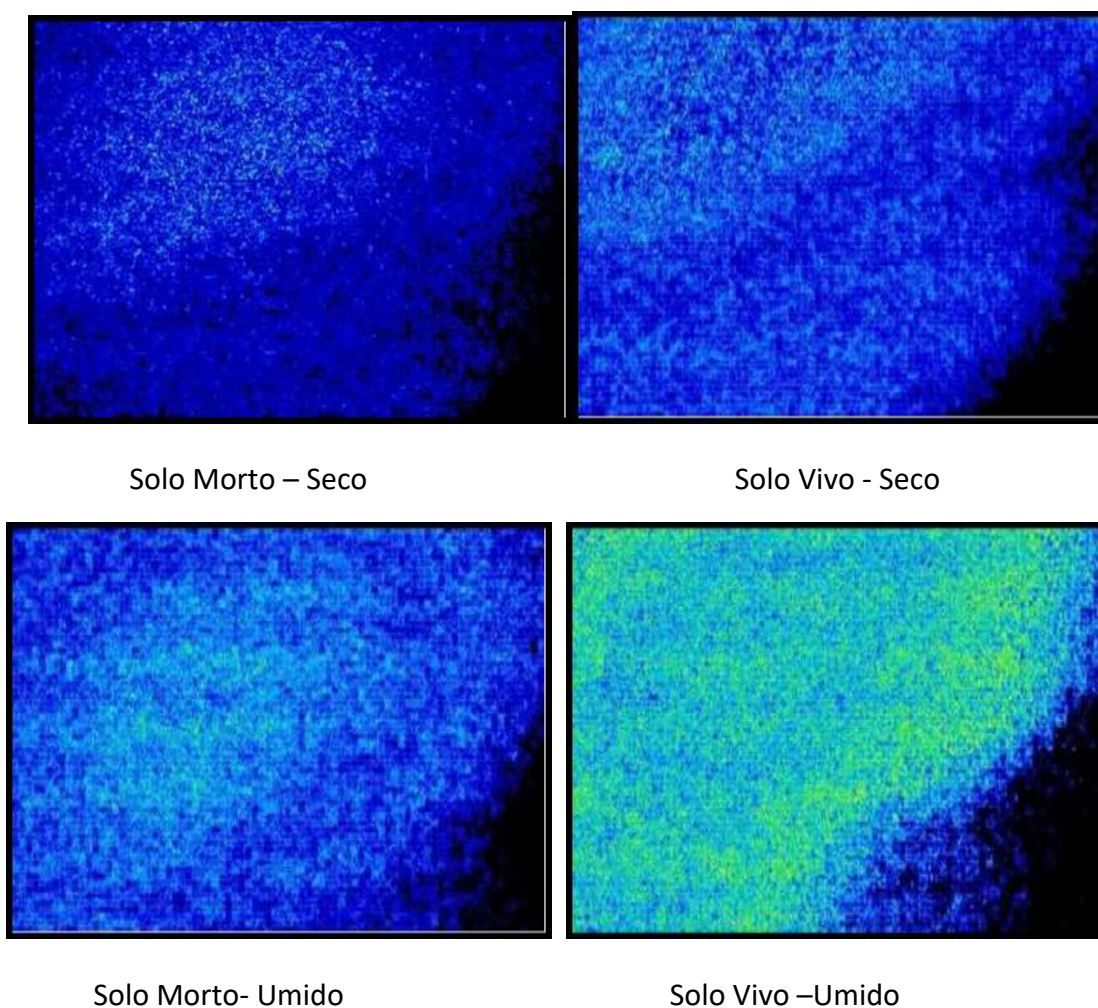


Figura 01-Comparativo dos tratamentos com e sem atividade biológica (processamento por Wavelets)

É possível observar na figura 01 que o solo vivo, quando seco, apresentou uma atividade espalhada mais intensa do que o solo morto nas frequências mais baixas. No caso do solo úmido, fica bem evidente a atividade mais alta do solo vivo. Estes resultados mostram que o teor de água mais alto pode influenciar a observação da influência biológica no padrão de biospeckle, bem como as faixas de frequência que ela ocorre.

CONCLUSÃO: A técnica do biospeckle laser, utilizada conforme a metodologia descrita se mostrou eficiente para diferenciar solo esterilizado em estufa (morto) de solo não esterilizado (vivo). Essa diferenciação foi mais evidente quando o solo apresentava teor de água mais elevado.

REFERÊNCIAS

- BRAGA, R. A. et al. Biospeckle Laser for Fruit Quality Evaluation. *Journal of Food Engineering*, v. 94, n. 1, p. 21-27, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.09.029>. Acesso em: 24 mai. 2024.
- BRIERS, J. D. Optical Coherence Tomography and Biospeckle. *Optics Communications*, v. 200, n. 4-6, p. 149-172, 2001. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0030-4018\(00\)01143-8](https://doi.org/10.1016/S0030-4018(00)01143-8). Acesso em: 24 mai. 2024.
- DINIZ, Fabiana Barbosa et al. Application of Dynamic Speckle in Seed Viability. *Biosystems Engineering*, v. 169, p. 128-134, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2018.02.004>. Acesso em: 24 mai. 2024.
- ERIKSON, P. et al. Dynamic Speckle in Agricultural Engineering. *Food Control*, v. 22, n. 2, p. 183-190, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2011.06.018>. Acesso em: 24 mai. 2024.
- PARLANGE, M. et al. Applications of Dynamic Speckle in Soil Moisture Measurement. *Materials Letters*, v. 36, n. 3-4, p. 207-209, 1998. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0167-577X\(97\)00328-8](https://doi.org/10.1016/S0167-577X(97)00328-8). Acesso em: 24 mai. 2024.
- RAJUMAR, P. et al. Monitoring Plant Physiological Activity using Biospeckle. *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 169, p. 105487, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105487>. Acesso em: 24 mai. 2024.
- RABELO, G. F. et al. Innovations in Biospeckle Techniques. *Journal of Food Engineering*, v. 77, n. 4, p. 775-783, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.06.039>. Acesso em: 24 mai. 2024.
- SANTOS, José Luiz et al. Development of Sensors for Soil Microbial Activity. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 136, p. 107515, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2019.03.008>. Acesso em: 24 mai. 2024.
- SILVA, Pedro Henrique et al. Sensors Based on Biospeckle for Precision Agriculture. *Sensors and Actuators A: Physical*, v. 329, p. 112754, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.sna.2021.112754>. Acesso em: 24 mai. 2024.
- YAMAMOTO, T. et al. Biospeckle in Soil Health Monitoring. *Biotechnology Advances*, v. 34, n. 1, p. 104-112, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2016.01.005>. Acesso em: 24 mai. 2024.

Capítulo 2



10.37423/240509037

EFEITO DO FOGO NA GEOQUÍMICA DO SOLO

Niclene Ponce Rodrigues de Oliveira

Rosana Andréia da Silva Rocha

Anna Carolina Araujo Ribeiro Zanatta

Ariane Isis Barros

Oscarlina Lúcia dos Santos Weber

Programa de Pós-Graduação em Agricultura Tropical-PPGAT, Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT)

Programa de Pós-Graduação em Agricultura Tropical-PPGAT, Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT)

Programa de Pós-Graduação em Agricultura Tropical-PPGAT, Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT)

Programa de Pós-Graduação em Agricultura Tropical-PPGAT, Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT)

Programa de Pós-Graduação em Agricultura Tropical-PPGAT, Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT)



Resumo: Os incêndios florestais são fenômenos causados por variáveis naturais e antrópicas. Esses fenômenos são favorecidos pela presença de **tipos climáticos e vegetacionais bastante secos**, como pela ocorrência de **baixa umidade do ar** e pela presença de **vegetação com alto índice de combustão**. Nos incêndios florestais, tem o fogo o maior propagador desses eventos e são também causados por outros fenômenos naturais, como os raios, e são potencializados por condicionantes atmosféricos, como o vento. A influência do fogo na geoquímica do solo é multifacetada e está condicionada a variáveis como a intensidade, frequência e duração do incêndio, além das particularidades intrínsecas do solo e da vegetação adjacente. As modificações geoquímicas induzidas pelo fogo nas propriedades do solo são mais perceptíveis nas camadas superficiais, refletindo o gradiente de temperatura. Entretanto, dependendo da quantidade de material inflamável e do alcance da queima subterrânea, essas alterações podem ocasionalmente ser detectadas até a profundidade de 30 cm. Desse modo, esta revisão visa analisar de maneira abrangente e aprofundada os efeitos dos incêndios na geoquímica do solo, investigando as modificações nas propriedades físicas e químicas, assim como a dinâmica dos nutrientes e da matéria orgânica, a fim de compreender os impactos desse fenômeno na estrutura e funcionalidade do solo. Para tal, buscas nas bases de dados da Web of Science e Scopus foi realizada, sendo 220 artigos inicialmente consultados e 75 selecionados. Por meio das pesquisas foi possível evidenciar que os principais efeitos dos incêndios no solo incluem perda da matéria orgânica como a principal consequência, degradação da estrutura, redução da porosidade e capacidade de retenção de água, aumento do pH e da condutividade elétrica do solo, transformações nas comunidades microbianas, incremento na repelência à água, redução na infiltração e aumento da erosão e escoamento superficial. Desse modo, conclui-se que o fogo tem efeitos complexos e variados na geoquímica do solo. Se por um lado, há a liberação de nutrientes benéficos, por outro, há o potencial prejuízo pela perda de matéria orgânica. A gestão adequada do uso do fogo em ecossistemas pode ser essencial para equilibrar esses impactos, visando à preservação da fertilidade do solo e à minimização de impactos negativos.

Palavras-chave: Incêndios; Nutrientes; Propriedades do solo; Degradação do solo.

1. INTRODUÇÃO

A influência do fogo na geoquímica do solo é complexa e está condicionada a variáveis como a intensidade, frequência e duração do incêndio, além das particularidades intrínsecas do solo e da vegetação adjacente. Roshan e Biswas (2023) ressaltam essa complexidade, apontando que o fogo pode ser interpretado tanto como um agente benéfico quanto prejudicial, dependendo das transformações que provoca nos materiais expostos a ele.

Os incêndios representam perturbações significativas em diversos biomas globais, abrangendo áreas tropicais, mediterrâneas, temperadas e boreais, com agravamento em regiões áridas e semiáridas (Mirzaei *et al.*, 2023). A categorização dos incêndios, segundo o tipo de ecossistema onde surgem e se propagam, inclui segmentos como incêndios em pastagens, florestas e turfeiras (Timmermann; Pelozzi; Oliveira Junior, 2021).

Classificados por sua origem, os incêndios podem ser naturais, desencadeados por raios, erupções vulcânicas e condições climáticas predominantes. Já os incêndios antropogênicos, provocados pelo homem, podem ser intencionais ou acidentais, controlados ou não (Alcañiz *et al.*, 2018).

As modificações geoquímicas induzidas pelo fogo nas propriedades do solo são mais perceptíveis nas camadas superficiais, refletindo o gradiente de temperatura. Entretanto, dependendo da quantidade de material inflamável e do alcance da queima subterrânea, essas alterações podem ocasionalmente ser detectadas até uma profundidade de 30 cm (Abraham; Dowling; Florentine, 2017).

Os efeitos principais dos incêndios no solo incluem perda da matéria orgânica como a principal consequência, degradação da estrutura, redução da porosidade e capacidade de retenção de água, aumento do pH e da condutividade elétrica do solo, transformações nas comunidades microbianas, incremento na repelência à água, redução na infiltração e aumento da erosão e do escoamento superficial. Estes efeitos são influenciados pela intensidade do fogo, características do solo e tipo de vegetação (Fernandez-Marcos, 2022).

A magnitude e a duração do incêndio exercem influência considerável nas mudanças observadas nos nutrientes do solo, ocasionando uma variedade de efeitos nas propriedades físico-químicas desses elementos (Francos *et al.*, 2018). A recuperação dos solos afetados pode demandar um período prolongado, especialmente em incêndios de alta severidade.

Estudos indicam que os efeitos dos incêndios variam conforme o tipo de solo. Solos metassedimentares tendem a apresentar maiores teores de matéria orgânica pós-incêndio, enquanto solos graníticos sofrem degradação e redução de matéria orgânica (Ribeiro *et al.*, 2021).

Segundo Li *et al.* (2019) e Hohner *et al.* (2019) após o fogo, ocorrem modificações nos teores de nutrientes na camada superficial ou subsuperficial do solo, com redução de matéria orgânica e nitrogênio, aumento do pH em incêndios de baixa temperatura. Autores como Araya; Fogel; Berhe (2017), Ulery *et al.* (2017) e Jhariya; Singh (2021) descrevem significativas perdas no estoque de carbono do solo (C) e capacidade de troca catiônica (CTC) após incêndios.

A literatura confirma uma considerável variação nos níveis de nutrientes do solo após um incêndio, já que as cinzas resultantes da queima da vegetação se apresentam como uma fonte rica de nutrientes. Isso explica o rápido retorno e crescimento das plantas, fenômenos frequentemente observados após incêndios (Salim *et al.*, 2022).

Assim, a análise da geoquímica do solo pós-incêndio proporciona uma compreensão mais abrangente dos efeitos causados pelo fogo nesse ambiente. Este estudo oferece uma revisão atualizada das mudanças geoquímicas provocadas pelo incêndio no solo, elucidando seu impacto na dinâmica de nutrientes, mineralogia, estrutura e microbiota do solo.

O objetivo deste estudo é analisar de maneira abrangente e aprofundada os efeitos dos incêndios na geoquímica do solo, investigando as modificações nas suas propriedades físicas e químicas, assim como a dinâmica dos nutrientes e da matéria orgânica. Para isso, realizou-se uma revisão da literatura, visando evidenciar e discutir como os incêndios afetam essas propriedades e processos, a fim de compreender os impactos desse fenômeno na estrutura e funcionalidade do solo. Este estudo foi realizado por meio de buscas nas bases de dados da Web of Science e Scopus. Para realizar a estratégia de busca consistiu em utilizar as combinações dos seguintes descritores: "Fire", "Fires", "Soil geochemistry", "Soil change", "Post-fire", "Soil temperature", "Soil properties", com o uso do operador booleano "AND," em artigos publicados em periódicos indexados no período de 2013 a 2023.

A questão que norteou a realização do estudo foi estruturada por meio da pergunta: Como o fogo afeta a dinâmica da matéria orgânica do solo e quais são as implicações diretas na qualidade do solo e na disponibilidade de nutrientes em diferentes ecossistemas?

Os critérios de inclusão estabelecidos foram: artigos disponíveis na íntegra em meio online, publicados nos idiomas português e inglês que apresentassem dados sobre os efeitos dos incêndios na

geoquímica do solo, e suas mudanças nas propriedades físico-químicas, na dinâmica dos nutrientes e da matéria orgânica. Excluíram-se os artigos publicados em mais de uma base de dados e aqueles que não respondessem à pergunta de pesquisa, após a leitura do resumo ou texto na íntegra.

Inicialmente, 220 artigos foram consultados, dos quais 78 foram selecionados no final, atendendo ao escopo da pesquisa.

2. EFEITO DO FOGO NA GEOQUÍMICA DO SOLO

O fogo, seja de origem natural ou antrópica, desenvolve uma série de transformações complexas na geoquímica do solo, influenciando suas propriedades físicas, químicas e biológicas. O calor intenso, a combustão da matéria orgânica e as mudanças resultantes nos processos biogeoquímicos têm impactos significativos no solo, com implicações de curto e longo prazo. Este tópico explora de maneira abrangente os diversos aspectos do efeito do fogo na qualidade do solo, na mineralogia e estrutura do solo, destacando seus efeitos na comunidade microbiana e na composição química do solo como, matéria orgânica, nutrientes e elementos potencialmente tóxicos (EPT).

2.1 EFEITO DO FOGO NA QUALIDADE DO SOLO

Os incêndios, seja por causas naturais como os provocados por raios, ou por atividades humanas, exercem um amplo impacto nas paisagens. Esses eventos alteram profundamente as características físicas, químicas e biológicas do solo, tanto diretamente, através do calor e da combustão, quanto indiretamente, por meio de modificações em processos biológicos, pedológicos e hidrológicos pós-incêndio (Doerr; Santín; Mataix-Solera, 2023).

Essas mudanças diretas incluem a modificação da matéria orgânica, dos nutrientes, da biota, da repelência à água, da estabilidade de agregados e da suscetibilidade à erosão. Indiretamente, os incêndios influenciam a incorporação de cinzas, as alterações na cobertura vegetal, o balanço hídrico e a entrada de matéria orgânica, afetando o equilíbrio contra a erosão. Tais efeitos podem persistir por longos períodos (Neris *et al.*, 2023).

As transformações não apenas afetam os padrões de regeneração e recuperação da vegetação, mas também exercem um impacto significativo sobre as propriedades hidrológicas, geomorfológicas e biogeoquímicas dos ecossistemas após incêndios (Wittenberg; Shtober-Zisu, 2023). A magnitude dessas mudanças e a resposta dos ecossistemas são altamente variáveis e dependem de uma série de fatores, incluindo o comportamento do fogo, o tipo de solo, a umidade prévia, a vegetação pré-fogo,

as condições climáticas, a topografia e o tempo decorrido após o incêndio. Em situações específicas de severidade de queima e tipo de solo, eventos graves de erosão por escoamento podem persistir dentro e fora do local até que as condições de solo e cobertura da terra se estabilizem novamente (HOHNERHohner *et al.*, 2019; SHERIDANSheridan *et al.*, 2015).

A pesquisa sobre os impactos de incêndios a longo prazo ainda é limitada, embora seja crucial entender as perdas de carbono e nutrientes devido à erosão, que podem esgotar as reservas do solo e perturbar os ciclos biogeoquímicos, prejudicando a recuperação da vegetação e a qualidade da água. A falta de quantificação dessas perdas, especialmente em relação à frequência do fogo e às perdas de nutrientes, representa uma lacuna crítica no conhecimento (Fernández, 2023).

Além disso, os incêndios podem ter impactos significativos nos ciclos biogeoquímicos do solo, afetando propriedades como agregação, estabilidade e permeabilidade. A intensidade do calor gerado durante os incêndios, que pode variar de 200 a 300 °C nas camadas superficiais do solo e alcançar até 500-850 °C em vegetações altamente inflamáveis (Salim *et al.*, 2022), desempenha um papel fundamental nesses efeitos.

Compreender profundamente esses impactos é essencial não apenas para avaliar as consequências imediatas dos incêndios, mas também para entender os efeitos de longo prazo sobre os ecossistemas. Essa compreensão permite o desenvolvimento de estratégias mais eficientes de manejo e recuperação das áreas afetadas.

2.2 EFEITO DO FOGO NA MINERALOGIA E ESTRUTURA DO SOLO

Os incêndios exercem um papel de grande relevância na modificação dos minerais presentes no solo, desencadeando transformações em diversos minerais através da ação do fogo, que atua como agente potencial de intemperismo em rochas (Agbeshie *et al.*, 2022). Os efeitos mais visíveis gerados pelo fogo são a fissura da rocha, o revestimento por fuligem e a mudança de cor principalmente em rochas contendo ferro. Um único evento de fogo pode afetar intensamente os padrões futuros de decomposição do material (Kompaníková *et al.*, 2014).

A magnitude e a severidade do impacto do fogo variam conforme o do tipo de solo e sua mineralogia. Por exemplo, solos vulcânicos, com elevado teor de matéria orgânica do solo (50% de carbono orgânico), retém mais de 85% de fósforo e apresentam baixa densidade aparente devido à ligação significativa da matéria orgânica com argila alofana e metais, especialmente alumínio (Al) e ferro (Fe), formando complexos organominerais ou associando-se a minerais (Erazo-Mora *et al.*, 2023).

Durante os incêndios, os minerais argilosos sofrem alterações substanciais. A desidroxilação de argilominerais inicia-se acima de 400 °C, resultando no colapso e desintegração de minerais cristalinos, como a caulinita, convertida em metacaulinita (Löhr *et al.*, 2017). Por outro lado, os carbonatos transformam-se em óxido de cálcio (CaO) apenas em temperaturas superiores a 750 °C (Karunadasa *et al.*, 2019).

Minerais recém-formados em solos afetados pelo fogo apresentam maior cristalinidade do que seus precursores (Johnston; Karimian; Burton, 2019). Tratamentos térmicos de óxidos de Fe a altas temperaturas, em condições secas, transformam formas amorfas em cristalinas, alterando a mobilidade dos elementos no solo (Campos *et al.*, 2016). O aumento da cristalinidade em solos aquecidos frequentemente reduz a área de superfície e diminui a afinidade de sorção de minerais (Johnston; Burton; Moon, 2016), mas também pode aumentar a área superficial em alguns casos (Araya; Meding; Berhe, 2016), influenciando a mobilidade dos elementos no solo afetados pelo fogo.

Durante a queima de biomassa, ocorre a desidroxilação em altas temperaturas e a mudança nas condições redox, de oxidante para redutora, afetando principalmente óxidos de Fe, Al e Mn, assim como minerais argilosos, onipresentes no ambiente (Roshan; Biswas, 2023). A transformação térmica dos oxihidróxidos de Fe resulta na desidroxilação e aumento da cristalinidade do óxido de Fe (Inbar *et al.*, 2014). Roshan; Biswas (2023), relatam que o oxihidróxido de ferro amarelo-marrom, goethita, comum no solo, é alterado para hematita ou maghemita avermelhada em cerca de 300 a 400 °C. Condições térmicas deficientes em oxigênio podem levar a formação de maghemita.

O caulim, outro mineral comum do solo, se decompõe termicamente em cerca de 420 a 550 °C, produzindo material aluminossilicato amorfo que pode cimentar partículas do tamanho de argila, formando agregados inorgânicos. Filossilicatos expansivos, como vermiculita ou montmorilonita, podem ser irreversivelmente colapsados ou decompostos termicamente em altas temperaturas (Ulery *et al.*, 2017).

Em solos após incêndios, é comum encontrar maghemita e hematita, enquanto a transformação de ferriidrita, goethita e lepidocrocita depende da presença de matéria orgânica (Certini, 2014). A decomposição da matéria orgânica cria condições redutoras, favorecendo a formação de maghemita e magnetita, que podem, com o tempo, ser reduzidas para wustita e ferro de valência zero (Roshan; Biswas, 2023).

Johnston; Karimian; Burton (2019) em experimentos de laboratórios demonstraram que, em temperaturas superiores a 400 °C, a maioria dos óxidos de ferro menos estáveis (ferriidrita e goethita)

nos solos são transformados nas fases mais estáveis (hematita e maghemita). A temperatura desempenha papel crucial na transformação de maghemita em hematita, sendo acelerada acima de 500 °C. Além disso, a gibbsita, quando aquecida, converte-se em boemita e fase amorfa de alumina, enquanto a birnessita colapsa a temperaturas elevadas (Roshan; Biswas, 2023).

Uma das alterações minerais mais comuns geradas pelo fogo em arenitos é o colapso das estruturas de caulinita e esmectita. Segundo Kompaníková et al. (2014), o colapso da estrutura da caulinita ocorre por volta de 550 °C, e o desaparecimento completo deste mineral ocorre em 579 °C, enquanto as estruturas de esmectita são mais sensíveis, podendo ser detectadas a 900 °C, embora já soltem hidroxila a 553 °C.

A estrutura do solo, composta pela agregação de constituintes minerais inorgânicos unidos por agentes cimentantes orgânicos provenientes da matéria orgânica, desempenha papel importante na porosidade e estabilidade estrutural, contribuindo para a vitalidade do solo (Roshan; Biswas, 2023). No entanto, os incêndios têm impacto direto na estabilidade estrutural dos agregados do solo, com diferentes níveis de severidades, produzindo efeitos distintos. Incêndios moderados tendem a aumentar a estabilidade estrutural, enquanto incêndios mais intensos resultam em sua diminuição (Thomaz, 2017).

Além disso, a temperatura desempenha um papel crítico na resposta do solo ao fogo. Temperaturas superiores a 550 °C, por exemplo, erradicam a hidrofobicidade do solo, afetando a formação de filmes hidrofóbicos durante incêndios menos severos (Badía *et al.*, 2017; Potthast *et al.*, 2017). A decomposição dos agregados, causada pelo calor intenso, contribui para um aumento na densidade aparente do solo e redução da porosidade, impactando a permeabilidade da água pós-incêndio (Heydari *et al.*, 2017).

Temperaturas do solo entre 30 e 60 °C podem ter efeitos positivos na estabilidade dos agregados do solo, mas o aumento da temperatura para 460 °C resulta na destruição da estrutura do solo, reduzindo a infiltração e aumentando a repelência à água (Badía *et al.*, 2014; Inbar *et al.*, 2014). A repelência à água, uma propriedade física do solo, é afetada pelo fogo, diminuindo a infiltração de água e aumentando o escoamento superficial, elevando os riscos de erosão (Agbeshie *et al.*, 2022; Miotliński *et al.*, 2023).

O entupimento dos poros pelo depósito de cinzas durante os incêndios também contribui para a redução da permeabilidade do solo, aumentando o escoamento superficial e a suscetibilidade à erosão

(Bladon *et al.*, 2014; Erazo-Mora *et al.*, 2023; Minervini; Morrás; Taboada, 2018; Roshan; Biswas, 2023).

Os incêndios não apenas atingem a estrutura, mas também alteram a distribuição do tamanho das partículas no solo, com partículas mais grossas desenvolvendo-se nas camadas superiores pós-incêndio (Heydari *et al.*, 2017; Thomaz, 2017). A textura do solo, indicativa da distribuição granulométrica, também é sensível aos efeitos do fogo. Areia, o silte e a argila apresentam limites de temperaturas elevados (Agbeshie *et al.*, 2022). A argila é a mais suscetível a modificações irreversíveis por altas temperaturas, afetando a estrutura do solo. O aumento de partículas de areia e silte após um incêndio está associado ao colapso da estrutura da rede argilosa (Alcañiz *et al.*, 2016).

2.3 IMPACTO DO FOGO NA COMUNIDADE MICROBIANA DO SOLO

O fogo, uma perturbação natural recorrente, exerce influência significativa na estrutura e no funcionamento dos ecossistemas terrestres (Fultz *et al.*, 2016). A interação entre fogo e microrganismos do solo é moldada por diversos fatores como intensidade, duração, tipo de solo, vegetação e outros (McLauchlan *et al.*, 2020).

Microrganismos do solo são essenciais na ciclagem de carbono e nitrogênio, regulando a decomposição e contribuindo para os fluxos de C da biosfera para a atmosfera via respiração (Comer; Perkins, 2021; Knelman *et al.*, 2015; Pressler; Moore; Cotrufo, 2019). Certini *et al.* (2021) ressaltam que, embora a atenção muitas vezes se volte para a vegetação e a vida selvagem, os microrganismos do solo sofrem consequências frequentemente subestimadas. Eles são componentes-chave do ecossistema edáfico, sendo responsáveis pela condução de 80-90% dos processos do solo e pela fertilidade do solo (Barreiro; Díaz-Raviña, 2021).

A comunidade microbiana do solo, como indicador sensível, é fundamental para compreender das implicações do estresse no solo e previsão das respostas ecossistêmicas a perturbações, como o fogo (Mirzaei *et al.*, 2023; Vourlitis *et al.*, 2022). Embora as reações e tendências pós-fogo dos microrganismos do solo sejam obscuras (Hu *et al.*, 2023), observa-se que as populações microbianas tendem a diminuir imediatamente após o fogo, evidenciando a resiliência do solo diante de perturbações (Nimmo *et al.*, 2019; Wittenberg; Shtober-Zisu, 2023).

A combustão da biomassa vegetal durante o fogo resulta em uma redução efêmera da biomassa microbiana e das atividades enzimáticas devido à mortalidade microbiana e desnaturação enzimática (Hu *et al.*, 2023). A severidade do fogo, medida pela perda de matéria, é fundamental nos efeitos

indiretos sobre a biota do solo (Barreiro; Díaz-Raviña, 2021; Certini *et al.*, 2021; McLauchlan *et al.*, 2020).

Incêndios prescritos, de baixa intensidade e extensão limitada, geralmente têm impactos menos acentuados nos microrganismos do solo em comparação com os incêndios descontrolados, e a recuperação ao longo do tempo é influenciada por fatores como o pH do solo e a disponibilidade de nutrientes (Certini *et al.*, 2021).

As respostas da biomassa microbiana e da diversidade podem persistir por décadas, dependendo do ecossistema, da gravidade do fogo e da perda orgânica do horizonte (McLauchlan *et al.*, 2020; Prendergast-Miller *et al.*, 2017). Jian *et al.* (2018) destacam que o fogo influencia os microrganismos do solo, resultando em morte térmica, mas também estimula a atividade microbiana pós-incêndio ao liberar nutrientes retidos nas estruturas celulares e alterar a matéria orgânica do solo.

O aquecimento intenso do solo durante o fogo pode ter efeitos negativos e/ou causar morte de microrganismos, sendo este impacto variável entre os grupos microbianos (Barreiro; DÍAZ-Raviña, 2021). Bactérias, geralmente mais resistentes ao calor, aumentam em abundância relativa após um incêndio, em comparação com fungos (Hinojosa *et al.*, 2016; Holden; Treseder, 2013; Xiang *et al.*, 2014).

Devido a combustão incompleta da matéria orgânica, a entrada de cinzas influenciam a química do solo, aumentando o pH e fornecendo nutrientes orgânicos que alimentam microrganismos, impulsionando assim a regeneração do ecossistema após o fogo (Fultz *et al.*, 2016).

2.4 EFEITO DO FOGO NA COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO SOLO

O solo é um sistema complexo composto por matéria orgânica, minerais, gases e líquidos, abrigando uma ampla variedade de organismos. Atua como uma geomembrana na superfície terrestre, desempenhando papel essencial na troca ativa de água, solutos dissolvidos, energia, gases e sólidos, e é habitado por organismos diversos que interagem com componentes da geosfera (Roshan; Biswas, 2023). Estudos sobre os efeitos do fogo no solo são uma área de pesquisa ativa, o fogo modifica as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo.

Estudos conduzido por Caon *et al.* (2014) e Albert-Belda *et al.* (2022) indicam perdas de nutrientes durante incêndios devido à volatilização e transferência de partículas. No entanto, também ocorrem mudanças, como a entrada de nutrientes recalcitrantes, como o carbono, e o aumento do pH devido

à incorporação de cinzas no solo, o que pode beneficiar a qualidade do solo a curto prazo, favorecendo a recuperação da vegetação e a redução da erosão.

Araya; Fogel; Berhe (2017) descreve que após incêndios, a CTC do solo geralmente diminui devido à perda de matéria orgânica e transformações nos óxidos metálicos e argilas, em algumas situações, há um aumento na CTC após o evento de incêndio.

A matéria orgânica, detentora do terceiro maior estoque de carbono terrestre, sofre notáveis alterações após incêndios, sendo essencial para a sustentabilidade do ecossistema. O nitrogênio é afetado, volatilizando-se e mineralizando-se em amônio, eventualmente convertido em nitrato, podendo ser lixiviado (Datta, 2021).

O impacto do fogo no carbono do solo é variável e depende da gravidade do incêndio. Embora estudos revelem diminuição ou ausência de alteração no carbono total após incêndios em florestas de pinheiros e carvalhos, ocorre liberação de CO_2 , CO, CH_4 e outros compostos voláteis (Caon *et al.*, 2014). Experimentos laboratoriais confirmam que a quantidade de carbono no solo após o fogo está relacionada à sua severidade, ademais, a adição de biomassa parcialmente queimada ou não queimada ao solo compensa as perdas, explicando a falta de alteração líquida no carbono do solo (Araya; Fogel; Berhe, 2017).

O fósforo mineraliza-se em ortofosfato após incêndios, não sendo facilmente lixiviado, mas precipitando-se em formas minerais de difícil acesso. Por outro lado, os níveis de Mg, Ca e K aumentam temporariamente após incêndios. A saturação por bases aumenta devido à liberação contínua de materiais orgânicos em combustão (Roshan; Biswas, 2023).

Segundo Heydari *et al.* (2017) e Salim *et al.* (2022) temperaturas altas acima de 900 °C raramente são atingidas na superfície do solo durante incêndios e minerais catiônicos como Ca, K, Mg e Na necessitam de altas temperaturas para volatilizar. No entanto, o K mesmo com uma temperatura de volatilização ocasionalmente atingida, tende a não volatilizar. Portanto, é improvável que esses elementos volatilizem durante incêndios, aumentando suas concentrações nos solos pós-incêndio.

O nitrogênio é o macronutriente mais afetado pelos incêndios, enquanto minerais como Ca, Mg e Mn têm uma temperatura específica para serem afetados, entre 1000 e 1200 °C (Datta, 2021; Salim *et al.*, 2022).

2.4.1 EFEITO DO FOGO NA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO

O solo, um componente essencial do ecossistema terrestre, desempenha um papel importante na sustentação da vida e na regulação de processos ambientais. No entanto, dentre fatores que influenciam a dinâmica do solo, o fogo emerge como um agente perturbador (Agbeshie *et al.*, 2022; Certini *et al.*, 2021; Malvar *et al.*, 2017), que exerce efeitos profundos na composição e funcionalidade da matéria orgânica (Santín; Doerr, 2016).

A biogeoquímica da matéria orgânica do solo (MOS), uma propriedade altamente complexa e dinâmica, é vital para a saúde e o funcionamento ecológico dos ecossistemas, tanto geridos quanto naturais. Composta predominantemente por carbono (C), inclui processos como sequestro e emissão de C (por exemplo, respiração do solo) (Ondrasek *et al.*, 2019).

A interação entre o fogo e a MOS revela-se complexa, seja originada naturalmente ou de forma antropogênica (Agbeshie *et al.*, 2022). Incêndios podem desencadear alterações significativas na estrutura, composição química e na dinâmica dos componentes orgânicos do solo, o que por sua vez, têm implicações diretas na qualidade do solo e na disponibilidade de nutrientes em diversos ecossistemas (Terzano *et al.*, 2021).

Eventos de incêndios afetam diretamente a camada orgânica do solo, causando a remoção completa ou redução substancial e alteração dessa camada (Certini *et al.*, 2021). Especialmente em períodos secos e quentes, a qualidade e quantidade da MOS são significativamente afetadas, resultando em uma redução drástica do conteúdo de C orgânico (Silva *et al.*, 2022).

A matéria orgânica, durante um incêndio, experimenta uma quebra de moléculas em moléculas menores, liberando diversos compostos orgânicos como dióxido de carbono (CO₂) e vapor d'água (Ciccioli; Centritto; Loreto, 2014), contribuindo para o ciclo de carbono (Sulzberger *et al.*, 2019). Outros gases, como óxidos de nitrogênio (NO_x) e óxidos de enxofre (SO_x) (Proto *et al.*, 2021), também podem ser liberados, dependendo da composição química da matéria orgânica, impactando a geoquímica do solo, qualidade do ar e composição de nutrientes.

A queima da MOS resulta na perda de material lignocelulósico e no aumento de compostos recalcitrantes, como carbono negro (Jiménez-Morillo *et al.*, 2020), que pode persistir por longos períodos (Dicen *et al.*, 2020). O carbono negro, biologicamente inerte, atua como um reservatório de C no solo, prejudicando a decomposição e permitindo uma longa residência no solo, sendo lentamente degradado pela atividade microbiana ou pela recorrência de eventos de fogo (Silva *et al.*, 2022).

As taxas de decomposição e mineralização de C podem diminuir com o avanço da degradação da MOS, resultando na produção de compostos resistentes à decomposição (Izbicki *et al.*, 2023). Com a queima mais frequente, a entrada de biomassa nos solos diminui, e o processamento contínuo da matéria orgânica pelos decompositores pode esgotar o C do solo, afetando o equilíbrio entre mudanças na decomposição e nas entradas de biomassa ao longo de várias décadas e incêndios (Pellegrini *et al.*, 2022).

À medida que a decomposição avança, a disponibilidade de C diminui, enquanto a disponibilidade de N no solo aumenta. Microrganismos, limitados em C, utilizam o C disponível para crescimento e manutenção, secretando N, tornando-o disponível para absorção por outros microrganismos ou raízes de plantas (Izbicki *et al.*, 2023).

O estudo conduzido por Araya; Fogel; Berhe (2017), os resultados mostraram uma redução na concentração de C com o aumento da temperatura, resultando em perda de quase 99% do C original a 450 °C. A relação C:N diminuiu com o aumento da temperatura, indicando alteração na qualidade da MOS. Na análise de isótopos de C ($\delta^{13}\text{C}$) e N ($\delta^{15}\text{N}$) revelaram enriquecimento até 450 °C, com mudanças substanciais na composição isotópica da matéria orgânica. Além disso, a distribuição da matéria orgânica em frações de agregados do solo apresentou mudanças significativas, evidenciando a influência das diferentes temperaturas no padrão de distribuição.

Já o estudo de Dicen *et al.* (2020), queimas de alta intensidade causaram redução significativa nas concentrações de C e N na MOS, resultando em impacto substancial na perda de matéria orgânica. Em contraste, queimadas de baixa intensidade não provocaram perdas imediatas totais de matéria orgânica, mas afetaram uma fração de água extraível da MOS, evidenciando a sensibilidade dessa fração às alterações causadas pelo fogo. Durante os experimentos de proteção térmica, observaram mudanças nas composições isotópicas de C ($\delta^{13}\text{C}$) e N ($\delta^{15}\text{N}$), revelando diferentes padrões de proteção para componentes específicos de matéria orgânica.

2.4.2 EFEITO DO FOGO NOS NUTRIENTES DO SOLO

A composição mineral de um solo varia em função da rocha parental a partir da qual ele foi formado, e consequentemente, esses minerais podem variar em termos de estrutura e composição.

O efeito do fogo sobre os minerais pode variar significativamente de acordo com as características do solo (teor de água e matéria orgânica, porosidade, ambiente redox, entre outros.) e a extensão do fogo em termos de temperatura e tempo. Contudo, além de alterar as propriedades físicas, químicas,

mineralógicas e biológicas do solo, um incêndio leva a uma mudança líquida nos nutrientes disponíveis no curto e longo prazo, podendo aumentar ou diminuir a disponibilidade no ecossistema (Caon *et al.*, 2014; Costa; Rodrigues, 2015).

De maneira geral, os nutrientes presentes nos primeiros 5 cm de solo são os mais afetados pelo processo de queima, pois nesta região encontra-se um grande acúmulo de matéria orgânica (MO) oriunda da camada de serapilheira e raízes de plantas. Deste modo, durante um evento de fogo, os nutrientes especialmente presentes nessa camada superficial do solo, são diretamente afetados pela elevada temperatura podendo sofrer volatilização ou mineralização (Maksimova; Abakumov, 2015; Terzano *et al.*, 2021).

O fogo também altera diversas propriedades físicas e químicas do solo, que estão intimamente ligadas à disponibilidade e mobilidade dos nutrientes no ecossistema. Dentre essas propriedades, o pH é a que exerce maior influência na solubilidade e mobilidade dos nutrientes, sendo habitual o processo de alcalinização da superfície do solo após um evento de queima. A alcalinização é devido à perda de ácidos orgânicos, liberação de óxidos, hidróxidos, carbonatos e cátions através das cinzas, e deslocamento de íons H^+ dos locais de troca de minerais argilosos por cátions básicos (Abraham; Dowling; Florentine, 2018; Pereira; Úbeda; Martin, 2012).

A camada de cinzas que se forma na superfície do solo após o incêndio é a principal responsável pela alteração temporária do pH do solo. Esta contém cátions básicos que além de gerar aumento no pH do solo, reduzem o Al trocável e aumentam a disponibilidade de nutrientes para as plantas. De forma geral, a solubilidade dos nutrientes é diminuída com o aumento do pH, sendo esta última, uma propriedade química transitória e que tende a retornar ao estado inicial após os primeiros eventos de chuva (Pivello *et al.*, 2010; Terzano *et al.*, 2021).

2.4.3 EFEITO DO FOGO NO DESTINO DOS ELEMENTOS POTENCIALMENTE TÓXICOS (EPTS) NO SOLO

Os eventos de incêndio representam um problema de interesse global, pois durante sua ocorrência diversos produtos químicos, como EPTs, são liberados no meio ambiente (PACIFICO *et al.*, 2023).

Naturalmente, os EPTs estão presentes nos solos devido ao intemperismo dos materiais de origem, raramente excedendo concentrações limites. Contudo, atividades humanas podem perturbar esse equilíbrio, aumentando drasticamente as concentrações desses compostos.

Os EPTs no solo incluem metais altamente tóxicos para os animais e plantas, como Pb, Cd, Hg e As, bem como micronutrientes importantes como Cu, Zn, Ni e Mo, que podem se tornar tóxicos em concentrações elevadas. Os incêndios são um problema global, pois liberam diversos produtos químicos, como EPTs no meio ambiente. Esses elementos, são motivo de grande preocupação devido ao seu alto potencial tóxico, persistência ambiental e tendência a serem bioacumulados (Liu *et al.*, 2023).

Incêndios, controlados ou naturais podem liberar e redistribuir os EPTs acumulados na vegetação e na matéria orgânica do solo, afetando sua disponibilidade no ecossistema (Abraham; Dowling; Florentine, 2018; Valskys *et al.*, 2023). Altas temperaturas durante incêndios podem aumentar a taxa de mineralização da matéria orgânica do solo e o intemperismo mineral, causando a liberação de EPTs associados a essas fases do solo (Rascio *et al.*, 2023). Além disso, a transferência desses elementos das cinzas para o solo pode alterar as características químicas e físicas do solo, afetando o desenvolvimento e o crescimento de microrganismo e vegetação locais (Pacífico *et al.*, 2023). Uma vez disponíveis no solo, os EPTs podem encontrar destinos diferentes, conforme as condições químicas e físicas do solo podendo ser absorvidos pelas raízes das plantas, tornando-se um risco para a saúde humana e animal (Terzano *et al.*, 2021; Valskys *et al.*, 2023).

O pH do solo é a propriedade química que mais afeta a mobilidade desses compostos no solo, sendo a maioria estáveis em pH neutro, enquanto valores de pH ácidos promovem sua mobilização. Além disso, a matéria orgânica, a textura e a mineralogia do solo (fases amorfas versus cristalinas) são essenciais para a sorção de cátions metálicos (Costa; Rodrigues, 2015; Valskys *et al.*, 2023).

As modificações induzidas pelo fogo nas frações minerais do solo, também alteram o destino geoquímico dos EPTs, com os (oxi)hidróxidos de Fe, Al e Mn, filossilicatos e alguns sais pouco solúveis como CaCO_3 sendo responsáveis pela retenção e distribuição desses compostos (Terzano *et al.*, 2021).

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante das interações complexas entre o fogo e a geoquímica do solo, surgem considerações importantes para a gestão eficaz dos ecossistemas afetados por incêndios. Os efeitos benéficos, como a liberação de nutrientes essenciais, contrastam com potenciais prejuízos pela perda de matéria orgânica e alterações na estrutura do solo. A promoção de práticas sustentáveis do uso do fogo torna-se decisiva para equilibrar esses impactos, visando à preservação da fertilidade do solo e à minimização de consequências adversas.

Nesse contexto, é fundamental reconhecer a importância da temperatura, intensidade e frequência do fogo na determinação dos resultados observados. A compreensão das particularidades dessas variáveis é fundamental para desenvolver estratégias de manejo adaptadas a diferentes ecossistemas. Além disso, a consideração do papel da matéria orgânica, da comunidade microbiana e da dinâmica dos nutrientes no solo amplia a visão sobre as repercussões do fogo.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAHAM, J.; DOWLING, K.; FLORENTINE, S. The unquantified risk of post-fire metal concentration in soil: a Review. *Water, Air, and Soil Pollution*, v. 228, n. 5, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11270-017-3338-0>.

ABRAHAM, J.; DOWLING, K.; FLORENTINE, S. Controlled burn and immediate mobilization of potentially toxic elements in soil, from a legacy mine site in Central Victoria, Australia. *Science of The Total Environment*, v. 616–617, p. 1022–1034, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2017.10.216>. Acesso em: 23 nov. 2023.

AGBESHIE, A. A.; ABUGRE, S.; ATTA-DARKWA, T.; AWUAH, R. A review of the effects of forest fire on soil properties. *Journal of Forestry Research*, v. 33, n. 5, p. 1419–1441, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11676-022-01475-4>.

ALBERT-BELDA, E.; HINOJOSA, M. B.; LAUDICINA, V. A.; GARCÍA-RUIZ, R.; PÉREZ, B.; MORENO, J. M. Previous fire occurrence, but not fire recurrence, modulates the effect of charcoal and ash on soil C and N dynamics in *Pinus pinaster* Aiton forests. *Science of the Total Environment*, v. 802, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149924>.

ALCAÑIZ, M.; OUTEIRO, L.; FRANCOS, M.; FARGUELL, J.; ÚBEDA, X. Long-term dynamics of soil chemical properties after a prescribed fire in a Mediterranean forest (Montgrí Massif, Catalonia, Spain). *Science of The Total Environment*, v. 572, p. 1329–1335, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.01.115>.

ALCAÑIZ, M.; OUTEIRO, L.; FRANCOS, M.; ÚBEDA, X. Effects of prescribed fires on soil properties: A review. *Science of the Total Environment*, v. 613–614, p. 944–957, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.144>.

ARAYA, S. N.; FOGEL, M. L.; BERHE, A. A. Thermal alteration of soil organic matter properties: A systematic study to infer response of Sierra Nevada climosequence soils to forest fires. *SOIL*, v. 3, n. 1, p. 31–44, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.5194/soil-3-31-2017>.

ARAYA, S. N.; MEDING, M.; BERHE, A. A. Thermal alteration of soil physico-chemical properties: a systematic study to infer response of Sierra Nevada climosequence soils to forest fires. *SOIL*, v. 2, n. 3, p. 351–366, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.5194/soil-2-351-2016>.

BADÍA, D.; LÓPEZ-GARCÍA, S.; MARTÍ, C.; ORTÍZ-PERPIÑÁ, O.; GIRONA-GARCÍA, A.; CASANOVA-GASCÓN, J. Burn effects on soil properties associated to heat transfer under contrasting moisture content. *The Science of the total environment*, v. 601–602, p. 1119–1128, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.05.254>.

BADÍA, D.; MARTÍ, C.; AGUIRRE, A. J.; AZNAR, J. M.; GONZÁLEZ-PÉREZ, J. A.; DE LA ROSA, J. M.; LEÓN, J.; IBARRA, P.; ECHEVERRÍA, T. Wildfire effects on nutrients and organic carbon of a Rendzic Phaeozem in NE Spain: Changes at cm-scale topsoil. *CATENA*, v. 113, p. 267–275, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2013.08.002>.

BARREIRO, A.; DÍAZ-RAVIÑA, M. Fire impacts on soil microorganisms: Mass, activity, and diversity. *Current Opinion in Environmental Science and Health*, v. 22, p. 100264, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2021.100264>.

BLADON, K. D.; EMELKO, M. B.; SILINS, U.; STONE, M. Wildfire and the Future of Water Supply. *Environmental Science & Technology*, v. 48, n. 16, p. 8936–8943, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/es500130g>.

CAMPOS, I.; ABRANTES, N.; KEIZER, J. J.; VALE, C.; PEREIRA, P. Major and trace elements in soils and ashes of eucalypt and pine forest plantations in Portugal following a wildfire. *The Science of the total environment*, v. 572, p. 1363–1376, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.01.190>.

CAON, L.; VALLEJO, V. R.; COEN, R. J.; GEISSEN, V. Effects of wildfire on soil nutrients in Mediterranean ecosystems. *Earth-Science Reviews*, v. 139, p. 47–58, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2014.09.001>.

CERTINI, G. Fire as a Soil-Forming Factor. *AMBIO*, v. 43, n. 2, p. 191–195, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s13280-013-0418-2>.

CERTINI, G.; MOYA, D.; LUCAS-BORJA, M. E.; MASTROLONARDO, G. The impact of fire on soil-dwelling biota: A review. *Forest Ecology and Management*, v. 488, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.118989>.

CICCIOLI, P.; CENTRITTO, M.; LORETO, F. Biogenic volatile organic compound emissions from vegetation fires. *Plant, Cell and Environment*, v. 37, n. 8, p. 1810–1825, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/pce.12336>.

COMER, J.; PERKINS, L. Resistance of the soil microbial community to land-surface disturbances of high-intensity winter grazing and wildfire. *Journal of Environmental Management*, v. 279, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111596>.

COSTA, Y. T.; RODRIGUES, S. C. Efeito Do Fogo Sobre Vegetação E Solo a Partir De Estudo Experimental Em Ambiente De Cerrado. *Geography Department University of Sao Paulo*, v. 30, p. 149, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/rdg.v30i0.101686>.

DATTA, R. To extinguish or not to extinguish: The role of forest fire in nature and soil resilience. *Journal of King Saud University - Science*, v. 33, n. 6, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2021.101539>.

DICEN, G. P.; RALLOS, R. V.; LABIDES, J. L. R.; NAVARRETE, I. A. Vulnerability of soil organic matter to microbial decomposition as a consequence of burning. *Biogeochemistry*, v. 150, n. 2, p. 123–137, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10533-020-00688-1>.

DOERR, S. H.; SANTÍN, C.; MATAIX-SOLERA, J. Fire effects on soil. In: GOSS, M. J.; OLIVER, M. (org.). *Encyclopedia of Soils in the Environment*. 2. ed. [S. l.]: Academic Press, 2023. v. 2, p. 448–457. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822974-3.00106-3>.

ERAZO-MORA, K.; MONTALVÁN-BURBANO, N.; ABURTO, F.; MATUS-BAEZA, F.; JOFRÉ-FERNÁNDEZ, I.; DURÁN-CUEVAS, P.; DÖRNER, J.; DIPPOLD, M. A.; MERINO-GUZMÁN, C. Four decades in fires research

– A bibliometric analysis about the impact on mineralogy and nutrients. *Catena*, v. 226, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2023.107065>.

FERNÁNDEZ, C. Soil fire severity is more relevant than fire frequency in explaining soil, carbon and nitrogen losses and vegetation recovery after wildfire in NW Spain. *Journal of Environmental Management*, v. 327, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116876>.

FERNANDEZ-MARCOS, M. L. Potentially toxic substances and associated risks in soils affected by wildfires: A review. *Toxics*, v. 10, n. 1, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/toxics10010031>.

FRANCOS, M.; ÚBEDA, X.; PEREIRA, P.; ALCAÑIZ, M. Long-term impact of wildfire on soils exposed to different fire severities. A case study in Cadiretes Massif (NE Iberian Peninsula). *Science of the Total Environment*, v. 615, p. 664–671, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.311>.

FULTZ, L. M.; MOORE-KUCERA, J.; DATHE, J.; DAVINIC, M.; PERRY, G.; WESTER, D.; SCHWILK, D. W.; RIDEOUT-HANZAK, S. Forest wildfire and grassland prescribed fire effects on soil biogeochemical processes and microbial communities: Two case studies in the semi-arid Southwest. *Applied Soil Ecology*, v. 99, p. 118–128, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2015.10.023>.

HEYDARI, M.; ROSTAMY, A.; NAJAFI, F.; DEY, D. C. Effect of fire severity on physical and biochemical soil properties in Zagros oak (*Quercus brantii* Lindl.) forests in Iran. *Journal of Forestry Research*, v. 28, n. 1, p. 95–104, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11676-016-0299-x>.

HINOJOSA, M. B.; PARRA, A.; LAUDICINA, V. A.; MORENO, J. M. Post-fire soil functionality and microbial community structure in a Mediterranean shrubland subjected to experimental drought. *Science of the Total Environment*, v. 573, p. 1178–1189, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.03.117>.

HOHNER, A. K.; RHOADES, C. C.; WILKERSON, P.; ROSARIO-ORTIZ, F. L. Wildfires alter forest watersheds and threaten drinking water quality. *Accounts of Chemical Research*, v. 52, n. 5, p. 1234–1244, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/acs.accounts.8b00670>.

HOLDEN, S. R.; TRESEDER, K. K. A meta-analysis of soil microbial biomass responses to forest disturbances. *Frontiers in Microbiology*, v. 4, n. JUN, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2013.00163>.

HU, M.; WANG, J.; LU, L.; GUI, H.; WAN, S. Global recovery patterns of soil microbes after fire. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 183, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2023.109057>.

INBAR, A.; LADO, M.; STERNBERG, M.; TENAU, H.; BEN-HUR, M. Forest fire effects on soil chemical and physicochemical properties, infiltration, runoff, and erosion in a semiarid Mediterranean region. *Geoderma*, v. 221–222, p. 131–138, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.01.015>.

IZBICKI, B.; WALKER, X. J.; BALTZER, J. L.; DAY, N. J.; EBERT, C.; JOHNSTONE, J. F.; PEGORARO, E.; SCHUUR, E. A. G.; TURETSKY, M. R.; MACK, M. C. Drivers of legacy soil organic matter decomposition after fire in boreal forests. *Ecosphere*, v. 14, n. 11, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/ecs2.4672>.

JHARIYA, M. K.; SINGH, L. Effect of fire severity on soil properties in a seasonally dry forest ecosystem of Central India. *International Journal of Environmental Science and Technology*, v. 18, n. 12, p. 3967–3978, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s13762-020-03062-8>.

JIAN, M.; BERHE, A. A.; BERLI, M.; GHEZZEHEI, T. A. Vulnerability of Physically Protected Soil Organic Carbon to Loss Under Low Severity Fires. *Frontiers in Environmental Science*, v. 6, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fenvs.2018.00066>.

JIMÉNEZ-MORILLO, N. T.; ALMENDROS, G.; DE LA ROSA, J. M.; JORDÁN, A.; ZAVALA, L. M.; GRANGED, A. J. P.; GONZÁLEZ-PÉREZ, J. A. Effect of a wildfire and of post-fire restoration actions in the organic matter structure in soil fractions. *Science of the Total Environment*, v. 728, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138715>.

JOHNSTON, S. G.; BURTON, E. D.; MOON, E. M. Arsenic Mobilization Is Enhanced by Thermal Transformation of Schwertmannite. *Environmental Science & Technology*, v. 50, n. 15, p. 8010–8019, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/acs.est.6b02618>

JOHNSTON, S. G.; KARIMIAN, N.; BURTON, E. D. Fire Promotes Arsenic Mobilization and Rapid Arsenic(III) Formation in Soil via Thermal Alteration of Arsenic-Bearing Iron Oxides. *Frontiers in Earth Science*, v. 7, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/feart.2019.00139>.

KARUNADASA, K. S. P.; MANORATNE, C. H.; PITAWALA, H. M. T. G. A.; RAJAPAKSE, R. M. G. Thermal decomposition of calcium carbonate (calcite polymorph) as examined by in-situ high-temperature X-ray powder diffraction. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, v. 134, p. 21–28, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jpcs.2019.05.023>.

KNELMAN, J. E.; GRAHAM, E. B.; TRAHAN, N. A.; SCHMIDT, S. K.; NEMERGUT, D. R. Fire severity shapes plant colonization effects on bacterial community structure, microbial biomass, and soil enzyme activity in secondary succession of a burned forest. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 90, p. 161–168, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2015.08.004>.

KOMPANÍKOVÁ, Z.; GOMEZ-HERAS, M.; MICHŇOVÁ, J.; DURMEKOVÁ, T.; VLČKO, J. Sandstone alterations triggered by fire-related temperatures. *Environmental Earth Sciences*, v. 72, n. 7, p. 2569–2581, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12665-014-3164-2>.

LI, W.; NIU, S.; LIU, X.; WANG, J. Short-term response of the soil bacterial community to differing wildfire severity in *Pinus tabulaeformis* stands. *Scientific Reports*, v. 9, n. 1, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41598-019-38541-7>.

LIU, Y.; YE, X.; ZHOU, B.; TIAN, Z.; LIU, C.; LI, K. Potentially toxic elements in smoke particles and residual ashes by biomass combustion from Huangshi National Mine Park, China. *Environmental Geochemistry and Health*, v. 45, n. 3, p. 629–645, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10653-022-01232-w>.

LÖHR, S. C.; MURPHY, D. T.; NOTHDURFT, L. D.; BOLHAR, R.; PIAZOLO, S.; SIEGEL, C. Maghemite soil nodules reveal the impact of fire on mineralogical and geochemical differentiation at the Earth's surface. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 200, p. 25–41, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.gca.2016.12.011>.

MAKSIMOVA, E.; ABAKUMOV, E. Wildfire effects on ash composition and biological properties of soils in forest–steppe ecosystems of Russia. *Environmental Earth Sciences*, v. 74, n. 5, p. 4395–4405, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12665-015-4497-1>.

MALVAR, M. C.; SILVA, F. C.; PRATS, S. A.; VIEIRA, D. C. S.; COELHO, C. O. A.; KEIZER, J. J. Short-term effects of post-fire salvage logging on runoff and soil erosion. *Forest Ecology and Management*, v. 400, p. 555–567, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.06.031>.

MCLAUCHLAN, K. K. et al. Fire as a fundamental ecological process: Research advances and frontiers. *Journal of Ecology*, v. 108, n. 5, p. 2047–2069, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/1365-2745.13403>.

MINERVINI, M. G.; MORRÁS, H. J. M.; TABOADA, M. A. Efectos del fuego en la matriz del suelo. Consecuencias sobre las propiedades físicas y mineralógicas. *Ecología Austral*, v. 28, p. 12–27, 2018. Disponível em: www.scimagojr.com.

MIOTLIŃSKI, K.; TSHERING, K.; BOYCE, M. C.; BLAKE, D.; HORWITZ, P. Simulated temperatures of forest fires affect water solubility in soil and litter. *Ecological Indicators*, v. 150, p. 110236, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110236>.

MIRZAEI, J.; HEYDARI, M.; OMIDIPOUR, R.; JAFARIAN, N.; CARCAILLET, C. Decrease in Soil Functionalities and Herbs' Diversity, but Not That of Arbuscular Mycorrhizal Fungi, Linked to Short Fire Interval in Semi-Arid Oak Forest Ecosystem, West Iran. *Plants*, v. 12, n. 5, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/plants12051112>.

NERIS, J.; ROBICHAUD, P. R.; WAGENBRENNER, J. W.; BROWN, R. E.; DOERR, S. H. Soil erosion after fire in volcanic terrain: Assessment and implications for post-fire soil losses. *Journal of Hydrology*, v. 625, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.129923>.

NIMMO, D. G. et al. Animal movements in fire-prone landscapes. *Biological Reviews*, v. 94, n. 3, p. 981–998, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/brv.12486>.

ONDRASEK, G.; BAKIĆ BEGIĆ, H.; ZOVKO, M.; FILIPOVIĆ, L.; MERIÑO-GERGICHEVICH, C.; SAVIĆ, R.; RENGEL, Z. Biogeochemistry of soil organic matter in agroecosystems & environmental implications. *Science of the Total Environment*, v. 658, p. 1559–1573, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.243>.

PACIFICO, L. R.; PIZZOLANTE, A.; GUARINO, A.; IANNONE, A.; ESPOSITO, M.; ALBANESE, S. Wildfires as a Source of Potentially Toxic Elements (PTEs) in Soil: A Case Study from Campania Region (Italy). *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v. 20, n. 5, p. 4513, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ijerph20054513>.

PELLEGRINI, A. F. A.; HARDEN, J.; GEORGIOU, K.; HEMES, K. S.; MALHOTRA, A.; NOLAN, C. J.; JACKSON, R. B. Fire effects on the persistence of soil organic matter and long-term carbon storage. *Nature Geoscience*, v. 15, n. 1, p. 5–13, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41561-021-00867-1>.

PEREIRA, P.; ÚBEDA, X.; MARTIN, D. A. Fire severity effects on ash chemical composition and water-extractable elements. *Geoderma*, v. 191, p. 105–114, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2012.02.005>.

PIVELLO, V. R.; OLIVERAS, I.; MIRANDA, H. S.; HARIDASAN, M.; SATO, M. N.; MEIRELLES, S. T. Effect of fires on soil nutrient availability in an open savanna in Central Brazil. *Plant and Soil*, v. 337, n. 1–2, p. 111–123, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11104-010-0508-x>.

POTTHAST, K.; MEYER, S.; CRECELIUS, A. C.; SCHUBERT, U. S.; TISCHER, A.; MICHALZIK, B. Land-use and fire drive temporal patterns of soil solution chemistry and nutrient fluxes. *Science of The Total Environment*, v. 605–606, p. 514–526, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.06.182>.

PRENDERGAST-MILLER, M. T.; DE MENEZES, A. B.; MACDONALD, L. M.; TOSCAS, P.; BISSETT, A.; BAKER, G.; FARRELL, M.; RICHARDSON, A. E.; WARK, T.; THRALL, P. H. Wildfire impact: Natural experiment reveals differential short-term changes in soil microbial communities. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 109, p. 1–13, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2017.01.027>.

PRESSLER, Y.; MOORE, J. C.; COTRUFO, M. F. Belowground community responses to fire: meta-analysis reveals contrasting responses of soil microorganisms and mesofauna. *Oikos*, v. 128, n. 3, p. 309–327, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/oik.05738>.

PROTO, A. R.; PALMA, A.; PARIS, E.; PAPANDREA, S. F.; VINCENTI, B.; CARNEVALE, M.; GUERRIERO, E.; BONOFILIO, R.; GALLUCCI, F. Assessment of wood chip combustion and emission behavior of different agricultural biomasses. *Fuel*, v. 289, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.119758>.

RASCIO, I.; GATTULLO, C. E.; PORFIDO, C.; ALLEGRETTO, I.; SPAGNUOLO, M.; TIZIANI, R.; CELLETTI, S.; CESCO, S.; MIMMO, T.; TERZANO, R. Fire-induced effects on the bioavailability of potentially toxic elements in a polluted agricultural soil: implications for Cr uptake by durum wheat plants. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 30, n. 3, p. 6358–6372, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11356-022-22471-5>.

RIBEIRO, J.; MARQUES, J. E.; MANSILHA, C.; FLORES, D. Wildfires effects on organic matter of soils from Caramulo Mountain (Portugal): environmental implications. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 28, p. 819–831, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11356-020-10520-w>/Published.

ROSHAN, A.; BISWAS, A. Fire-induced geochemical changes in soil: Implication for the element cycling. *Science of the Total Environment*, v. 868, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.161714>.

SALIM, I. S. H.; REIS, A. F. S.; WELKER, C. A. D.; SCOTTI, M. R. Fire shifts the soil fertility and the vegetation composition in a natural high-altitude grassland in Brazil. *Environmental Challenges*, v. 9, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envc.2022.100638>.

SANTÍN, C.; DOERR, S. H. Fire effects on soils: The human dimension. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, v. 371, n. 1696, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1098/rstb.2015.0171>.

SHERIDAN, G. J.; NYMAN, P.; LANGHANS, C.; CAWSON, J.; NOSKE, P. J.; OONO, A.; VAN DER SANT, R.; LANE, P. N. J. Is aridity a high-order control on the hydro–geomorphic response of burned landscapes?

Journal of the International Association of Wildland Fire, v. 25, n. 3, p. 262–267, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1071/WF14079>.

SILVA, L. J.; DICK, D. P.; NECKEL, D.; NÓBREGA, G. N.; RODRIGUES, R. de A. R.; BARBOSA, R. I.; CORDEIRO, R. C. Effects of fire on soil organic matter in northern Amazonian forest fragments. *Acta Amazonica*, v. 52, n. 1, p. 13–22, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1809-4392202100133>.

SULZBERGER, B.; AUSTIN, A. T.; CORY, R. M.; ZEPP, R. G.; PAUL, N. D. Solar UV radiation in a changing world: roles of cryosphere-land-water-atmosphere interfaces in global biogeochemical cycles. *Photochemical and Photobiological Sciences*, v. 18, n. 3, p. 747–774, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1039/C8PP90063A>.

TERZANO, R.; RASCIO, I.; ALLEGRETTO, I.; PORFIDO, C.; SPAGNUOLO, M.; KHANGHAHI, M. Y.; CRECCHIO, C.; SAKELLARIADOU, F.; GATTULLO, C. E. Fire effects on the distribution and bioavailability of potentially toxic elements (PTEs) in agricultural soils. *Chemosphere*, v. 281, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.130752>.

THOMAZ, E. L. Fire changes the larger aggregate size classes in slash-and-burn agricultural systems. *Soil and Tillage Research*, v. 165, p. 210–217, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.still.2016.08.018>.

TIMMERMAN, M. A. S.; PELOZZI, T. L. A.; OLIVEIRA JUNIOR, A. A. M. O. Utilização de espumas biodegradáveis no combate a incêndios florestais. *Ignis: Revista Técnico Científica do Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina*, v. 6, p. 1–15, 2021. Disponível em: <https://ignis.emnuvens.com.br/revistaignis/article/view/177>.

ULERY, A. L.; GRAHAM, R. C.; GOFORTH, B. R.; HUBBERT, K. R. Fire effects on cation exchange capacity of California forest and woodland soils. *Geoderma*, v. 286, p. 125–130, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.10.028>.

VALSKYS, V.; KIBIRKŠTIS, G.; TAMINSKAS, J.; ULEVIČIUS, A.; IGNATAVIČIUS, G. Fires in Raised Bog: Their Influence and Changes to Geochemical Elements in Peat Layers. *Land*, v. 12, n. 10, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/land12101948>.

VOURLITIS, G.; STEINECKE, D.; MARTINEZ, T.; KONDA, K.; RENDON, R.; HALL, V.; KHOR, S.; SETHURAMAN, A. Fire and post-fire management alters soil microbial abundance and activity: A case study in semi-arid shrubland soils. *Applied Soil Ecology*, v. 171, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2021.104319>.

WITTENBERG, L.; SHTOBER-ZISU, N. Restoring fire-affected soils: The potential of nature-based solutions. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, v. 36, p. 100520, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2023.100520>.

XIANG, X.; SHI, Y.; YANG, J.; KONG, J.; LIN, X.; ZHANG, H.; ZENG, J.; CHU, H. Rapid recovery of soil bacterial communities after wildfire in a Chinese boreal forest. *Scientific Reports*, v. 4, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/srep03829>.

Capítulo 3



10.37423/240509043

GEOQUÍMICA DE SOLOS ALAGADOS

Deborah de Amorim Teixeira Santos

Renata Vilalba Reis

Ricardo Adamo Trindade Ferreira

Ariane Isis Barros

Oscarlina Lúcia dos Santos Weber

Programa de Pós-Graduação em Agricultura Tropical -PPGAT, Universidade Federal de Mato Grosso – UFMT

Programa de Pós-Graduação em Agricultura Tropical -PPGAT, Universidade Federal de Mato Grosso – UFMT

Programa de Pós-Graduação em Agricultura Tropical -PPGAT, Universidade Federal de Mato Grosso – UFMT

Programa de Pós-Graduação em Agricultura Tropical -PPGAT, Universidade Federal de Mato Grosso – UFMT

Programa de Pós-Graduação em Agricultura Tropical-PPGAT, Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT)



Resumo: Ambientes de solo inundado, seja por processos naturais ou induzidos, apresentam a capacidade intrínseca de instigar modificações substanciais nas características físicas, químicas e biológicas do solo. Essas modificações são o resultado de interações entre microrganismos, vegetação e propriedades químicas do solo. A saturação do solo, altera o pH, a eficiência da absorção e liberação de nutrientes, provoca alterações químicas dos elementos presentes no solo, devido ao potencial de oxidação/redução, além contribuir com a emissão de gases tóxicos. Diante dessa complexidade, entender todo o processo geoquímica de solos alagados, torna-se cada vez mais importante para potencializar as produções agropecuárias destes locais, bem como, reduzir os impactos ambientais. Portanto, o estudo tem como objetivo fornecer *insights* para otimizar práticas agrícolas e pecuárias em solos alagados, considerando a influência dos processos geoquímicos e a sua contribuição no ecossistema e nos impactos ambientais. A questão norteadora refere-se, a como esses processos influenciam a fertilidade do solo, ciclos de nutrientes e a sustentabilidade na produção agropecuária em áreas sujeitas a inundações. Trata-se de uma revisão da literatura que procurou analisar e investigar as mudanças nas propriedades do solo devido ao alagamento, explorando desafios e estratégias em ambientes alagados. Para isso, buscas nas bases de dados da Web of Science, Scopus, Google Acadêmico e Science Direct foi realizada, identificando inicialmente 287 artigos, e selecionados 90, os mais relevantes para o escopo. A falta de compreensão detalhada desses processos limita a gestão ambiental eficaz, comprometendo a conservação do solo. Portanto, a pesquisa busca elucidar mecanismos geoquímicos específicos para embasar medidas de preservação ambiental e otimizar o sistema de produção em solos alagados.

Palavras-chave: Saturação do Solo; Características do solo; Sustentabilidade.

1. INTRODUÇÃO

A geoquímica é considerada a ciência responsável pelo estudo das características químicas da Terra (SANTOS; GALARZA; OLIVEIRA; 2013). O seu estudo em solos alagados é crucial para a compreensão dos processos químicos em ambientes inundados, desempenhando um papel fundamental na investigação e manejo dessas áreas (BUENO et al., 2014). Este campo concentra-se na análise da composição química dos solos em ambientes alagados, destacando a interação complexa entre a água e os minerais presentes.

A relevância da geoquímica de solos alagados reside na capacidade de fornecer informações sobre ciclos biogeoquímicos, como os de carbono, nitrogênio e fósforo, que são fortemente influenciados pela condição de saturação do solo (SILVA, 2023). Além disso, estudos geoquímicos desses solos são cruciais para entender os processos de formação de gases de efeito estufa, como o metano, que são produzidos em ambientes alagados e desempenham um papel significativo nas mudanças climáticas.

Estudos relevantes identificam os solos alagados como componentes essenciais em ecossistemas naturais, oferecendo serviços como biodiversidade única, filtragem de água e armazenamento de carbono (TUNDISI; TUNDISI, 2016). A hidrologia, flora e fauna desses ambientes desempenham papéis fundamentais na geoquímica desses solos, influenciando processos como a ciclagem de nutrientes e a decomposição da matéria orgânica.

No contexto da produção agropecuária, o estudo da geoquímica de solos alagados é crucial, pois, permite a otimização da produção, o manejo sustentável, a redução de perdas econômicas, a resposta às mudanças climáticas, a eficiência no uso de recursos hídricos, a escolha de culturas adequadas e a conformidade com regulamentações ambientais (CONCEIÇÃO, 2016). Essa compreensão fornece ferramentas para tomada de decisões e práticas agrícolas mais eficientes e sustentáveis.

A compreensão da geoquímica de solos alagados também colabora para o desenvolvimento de estratégias visando à conservação do solo e à mitigação de impactos ambientais negativos, favorecendo, assim, a preservação da biodiversidade associada a esses ecossistemas únicos.

A falta de compreensão detalhada sobre os processos geoquímicos em solos alagados limita a capacidade de desenvolver estratégias eficazes para a gestão ambiental desses ecossistemas, comprometendo a conservação e a qualidade ambiental. Como resultado, é fundamental investigar e elucidar os mecanismos geoquímicos específicos desses solos para preencher essa lacuna de conhecimento e embasar medidas de preservação mais informadas.

Diante desse contexto, o objetivo do presente estudo é fornecer *insights* com base em pesquisas sólidas sobre os processos geoquímicos de solos alagados para otimizar práticas agrícolas e pecuárias nestes ambientes, considerando a influência desses processos geoquímicos nas propriedades física, química e biológica do solo, contribuindo assim para o desenvolvimento de estratégias sustentáveis e eficientes de gestão ambiental nesse contexto específico.

A falta de compreensão detalhada sobre os processos geoquímicos em solos alagados limita a capacidade de desenvolver estratégias eficazes para a gestão ambiental desses ecossistemas, comprometendo a conservação e a qualidade ambiental. Como resultado, é fundamental investigar e elucidar os mecanismos geoquímicos específicos desses solos para preencher essa lacuna de conhecimento e embasar medidas de preservação mais informadas.

Dessa forma, a questão que norteou o desenvolvimento do estudo foi: Como os processos geoquímicos nos solos alagados influenciam a fertilidade do solo e os ciclos de nutrientes, e de que maneira esses fatores impactam a sustentabilidade e a produtividade na produção agropecuária em áreas sujeitas a inundações sazonais?"

Na presente pesquisa sobre geoquímica do solo, a metodologia se desenvolveu por meio de revisão da literatura, onde as pesquisas foram realizadas para evidenciar e discutir os processos geoquímicos do solo alagados e suas mudanças provocadas pelo alagamento nas propriedades do solo, bem como, os desafios e as estratégias que esses ambientes podem desencadear no sistema de produção e no meio ambiente.

As buscas se deram em importantes bases de dados científicos, incluindo Web of Science, Scopus, Google Acadêmico e Science Direct. Para selecionar os estudos relevantes para a construção do presente trabalho, a estratégia de busca se constituiu nas seguintes combinações: "Geoquímica do solo", "Soil geochemistry", "Solos alagados", "Solos inundados", "Flooded soils", "Química do solo", "Soil chemistry", "Química do solo em solos alagados" e "Soil chemistry of waterlogged soils". Durante as buscas foram utilizados operadores booleanos como "AND", "OR" e "AND NOT". Os períodos das buscas foram de 2003 a 2023, com intuito de ter maior abrangência sobre o conteúdo do presente estudo.

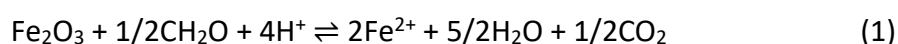
Mediante aos resultados da pesquisa foram encontrados um total de 287 artigos e trabalhos. No entanto, dentre estes, somente 90 atenderam aos objetivos do estudo, apresentando informações relevantes que contribuíram com o escopo do trabalho.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE SOLOS ALAGADOS

As inundações recorrentes provocam mudanças no equilíbrio e na dinâmica dos constituintes químicos dos solos alagados. Durante a inundação, observa-se um aumento do pH em solos ácidos e uma diminuição em solos alcalinos, resultando da tendência natural dos solos em direção ao pH neutro quando sujeitos a estresse hídrico (KASHEM & SINGH, 2001).

Nesse cenário, o ferro férrico atua como receptor de elétrons durante o processo de oxidação da matéria orgânica que atua como doadora de elétrons, resultando no consumo da acidez, culminando na redução do pH (SAHRAWAT, 2012), conforme ilustra a equação 1:



Enquanto a diminuição do pH dos solos alcalinos é o resultado da acumulação de dióxido de carbono no solo inundado, o que neutraliza eficazmente a alcalinidade devido a formação de ácido carbônico (BHADURI et al., 2017).

A absorção de íons H^+ contribui para elevar o pH da solução. Quando o pH da solução do solo excede o ponto de carga zero, intensifica-se a disputa entre íons OH^- e ânions orgânicos pelos locais de adsorção, resultando na repulsão dos fosfatos, gerando um aumento na concentração de H_2PO_4^- e HPO_4^{2-} na solução (SPOSITO, 1989; SIMONETE et al., 2015).

Simultaneamente, o arejamento deficiente provoca no solo alterações que afetam o crescimento das plantas. Nos solos, os óxidos metálicos (Fe/Mn) são importantes para reter macro e micronutrientes através de quimiossorção (SCHULZ-ZUNKEL et al., 2015; KHAN et al., 2023).

Essas alterações também podem afetar a ligação do P a íons metálicos de menor e maior estado de oxidação e/ou seus óxidos. Além disso, as alterações redox podem causar dissolução (sob condições redutoras/ácidas) ou precipitação (sob condições oxidantes/alcalinas) de óxidos de Fe, e assim mobilizar ou imobilizar alguns minerais, como por exemplo o P no solo (SHAHEEN et al., 2022).

O potencial de oxidação-redutor ou oxidação-redução descreve as reações químicas em solos com deficiência de oxigênio e controla a ciclagem de nutrientes em sistemas inundados, podendo levar a alterações associadas ao pH (BAUMANN et al., 2020).

A reação de oxirredução é um processo químico em que ocorre a transferência de elétrons de um agente doador para um agente receptor, onde o agente doador perde elétrons, aumentando assim

seu número de oxidação (sendo oxidado), enquanto o agente receptor ganha elétrons, diminuindo seu número de oxidação (sendo reduzido) (FAGERIA et al., 2008). Portanto, ambientes oxidados possuem alto potencial redox, enquanto ambientes reduzidos possuem baixo potencial redox (BHADURI et al., 2017).

Além da redução do íon férrico (Fe^{3+}) para íon ferroso (Fe^{2+}), ocorre a redução de manganês (Mn^{4+}) para manganês em estado +2 (Mn^{2+}), do íon nitrato (NO_3^-) para dinitrogênio (N_2), do íon sulfato (SO_4^{2-}) para sulfeto de hidrogênio (H_2S), do dióxido de carbono (CO_2) para metano (CH_4), e da forma molecular de hidrogênio (H_2) para íons hidrogênio (H^+) em solos alagados (FAGERIA et al., 2008).

A variação desse comportamento está sujeita a diversos fatores, incluindo o pH, a temperatura, a quantidade e a degradabilidade da matéria orgânica, a diversidade e o tamanho da população microbiana, bem como a composição do solo, notavelmente, a concentração e reatividade dos óxidos de ferro desempenham um papel crucial nesse contexto (KÖGEL-KNABNER et al., 2010).

A degradação da matriz de resíduos orgânicos, as mudanças no pH do solo, o potencial redox, a composição da solução do solo e as condições hidrodinâmicas têm o potencial de desencadear a liberação de metais acumulados na solução do solo, resultando em possíveis efeitos de poluição no ecossistema e/ou contaminação das plantas (KARATHANASIS 1999; AZOUZI et al., 2015).

Vários elementos potencialmente tóxicos, que também desempenham papéis cruciais como nutrientes essenciais em concentrações baixas para o funcionamento saudável e reprodução de microrganismos, plantas e animais, podem, no entanto, tornar-se prejudiciais em altas concentrações. Esses elementos incluem Co, Ni, V, Zn, Cl, Mn, Fe, B e Mo (ADAMO et al., 2014). A dinâmica do solo superficial na planície de inundação, especialmente nos 15 centímetros superiores, pode apresentar concentrações iniciais elevadas de Poluentes Tóxicos Emergentes (PTEs), como o metaloide Arsênio (As) e metais como Cr, Cu, Pb e Zn (PONTING et al., 2021). Essa ligação entre a essencialidade e a toxicidade desses elementos destaca a complexidade do equilíbrio necessário para sustentar a saúde dos ecossistemas alagados.

2.1.1 DINÂMICA DO CARBONO EM ÁREAS ALAGADAS

A inundação do solo, seja ela natural ou artificial, causam alterações em suas propriedades físicas, químicas e biológicas, (ROSA et al., 2011). Isso contribui para a aceleração de perdas de Carbono no solo e do Nitrogênio associado a matéria orgânica (MARRANJO et al., 2016). Esse alagamento ou encharcamento do solo representam ameaças significativas para as práticas agrícolas (DIAS-FILHO;

LOPES, 2012), podendo resultar em danos substanciais às plantações e comprometendo não apenas a qualidade, mas também a produtividade das colheitas.

Uma pesquisa desenvolvida por Silva et al. (2008) ressalta a importância de compreender a produção dos compostos de Carbono sob os efeitos da fermentação da matéria orgânica em solos alagados. Os autores citam que a decomposição da matéria orgânica nesses ambientes é um processo complexo que resulta na produção de compostos de carbono de baixo peso molecular. Em concentrações elevadas, esses compostos podem apresentar potenciais efeitos tóxicos para as plantas.

Dias-Filho (2006) destaca que a habilidade de uma planta específica em desenvolver-se em condições de solo alagado está relacionada à eficiência com que ela modula seu comportamento morfofisiológico. Isso impacta diretamente em parâmetros críticos para a assimilação diária de Carbono, como os níveis de respiração no escuro, a eficiência quântica, a capacidade fotossintética, assim como na absorção e utilização de nutrientes do solo, incluindo o metabolismo radicular.

Além disso, esse sistema de produção contribui para a modificação do ciclo do Carbono (C) e do Nitrogênio (N), dois elementos importantes na manutenção da dinâmica dos ecossistemas e associados às mudanças climáticas, diminuindo a reserva de carbono no solo e ampliando a emissão de dióxido de carbono para a atmosfera (GINGO et al., 2011). Dessa forma, a quantidade de umidade presente no solo desempenha um papel significativo nas emissões de CO₂, agindo como um fator tanto favorável quanto inibidor na produção desse gás (OLIVEROS, 2008).

Para minimizar a emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE), Horwath (2008) relata que as práticas de drenagem contribuem para a oxigenação do solo, inibe a atividade das bactérias metanogênicas, favorecendo a conversão do metano em dióxido de carbono através do processo de oxidação.

Corroborando com este aspecto, Silva et al. (2009) mencionam que a drenagem desempenha um papel crucial para o carbono no solo, contribuindo com a disponibilidade de nutrientes para as plantas, na decomposição da matéria orgânica, impactando na capacidade de fixar carbono durante a fotossíntese, além de mitigar a formação de metano, contribuindo para a redução das emissões desses gases.

Nota-se que além da produção do gás carbono, estudos também tem comprovado a contribuição que os solos alagados têm na produção do metano. Eberhardt et al. (2009) mencionam que em solos inundados, as condições anaeróbias predominantes conduzem à produção de metano (CH₄), com um potencial em intensificar o efeito estufa aproximadamente 27 vezes superior ao do dióxido de carbono

(CO₂). A magnitude da emissão desse gás em solos alagados, destacado por Brevilier e Dieckow (2015), é influenciada pela presença de substratos orgânicos, aumentando com a adição de resíduos culturais, exsudatos radiculares e matéria orgânica do solo.

Autores como, Silva e Otero (2009) defendem que a produção de dióxido de carbono (CO₂) em solos alagados é significativamente menor quando comparada a solos bem drenados. Estudos apresentados por esses autores destacam que a retenção desse gás na área alagada ocorre devido à sua difusão lenta através da água em direção à atmosfera. A liberação efetiva para a atmosfera ocorre apenas em uma fração da quantidade total produzida, condicionada à elevação da pressão de CO₂ no solo.

Dentro desse aspecto, a região do Bioma Pantanal é considerada a maior planície alagável do mundo, influenciada por padrões de inundação que exercem impacto na formação dos solos, na cobertura da vegetação e nos processos relacionados ao ciclo do carbono, como a dinâmica da matéria orgânica (RIBEIRO, 2022). Siqueira et al (2015) destacam que as regiões úmidas, como o Pantanal, desempenham um papel significativo nos ciclos biogeoquímicos, especialmente no que se refere ao carbono, sendo reconhecidas como um dos maiores depósitos de carbono atmosférico, devido à decomposição lenta da matéria orgânica.

Diante disso, nota-se o ambiente exercer influência significativa na dinâmica do estoque de carbono e na composição físico-química do solo (MELLO et al., 2015). A compreensão da dinâmica do carbono em regiões alagáveis tem sido objeto de estudos, predominantemente voltados para fornecer suporte ao manejo adequado do solo em atividades agrícolas, como o plantio de arroz irrigado por alagamento (GUO et al., 2012). Essa dinâmica do solo incorporada ao elemento carbono (C) desempenha um papel fundamental na sustentação da vida, pois, o carbono constitui a maior parte dos organismos vivos e serve como um indicador crucial da atividade biológica (BEGON; TOWNSEND, 2023).

2.1.2 DINÂMICA DO NITROGÊNIO E SUA RELAÇÃO COM SOLOS ALAGADOS.

Entre os elementos nutritivos essenciais para o crescimento e desenvolvimento das plantas, o nitrogênio (N) estão entre os mais relevantes, destacando-se devido à sua presença como constituinte fundamental de proteínas, ácidos nucleicos, fitocromos e clorofila. O nitrogênio desempenha um papel crucial nas taxas de iniciação e expansão foliar, no tamanho final das folhas e na intensidade de senescência, sendo considerado o macronutriente mais complexo em termos de manejo e recomendação de adubação (LAMBERS; OLIVEIRA 2019).

Devido a sua importância para a planta, quando não disponibilizado, surgem uma diversidade de preocupações ligadas a produtividade de uma cultura. Conforme Felizardo et al. (2008) destacaram, a dinâmica do nitrogênio (N) no solo abrange uma interação complexa de processos físicos, químicos e biológicos. Esses processos desempenham um papel crucial na determinação do destino do nitrogênio, seja retido na camada cultivável do solo, absorvido pelas plantas, lixiviado ou volatilizado em formas como NH_4 , N_2O ou N_2 .

Em solos alagados, essa preocupação vai mais além, pois, sua dinâmica ocorre de maneira acelerada e com maior facilidade de perdas. Melo Junior et al. (2003) denotaram que na presença de nitratos no meio líquido, os organismos adaptados para utilizar esses compostos na respiração iniciam o processo de conversão do nitrato em nitrogênio gasoso, conhecido como desnitrificação. Os autores destacaram que isso ocorre em condições anóxicas, caracterizadas pela ausência de oxigênio dissolvido e pela presença de nitratos, onde, as formas de nitrogênio inorgânico mais relevantes para sistemas alagados incluem amônia (NH_4^+), óxido nitroso (N_2O), óxido nítrico (NO_2 ou N_2O_4), gás nitrogênio (N_2), nitrito (NO_2) e nitrato (NO_3^-); sendo que os quatro primeiros se encontram no estado gasoso dissolvido.

Dessa forma, culturas que são cultivadas em lâminas d'água, necessitam de maiores técnicas de manejo e uma maior disponibilidade deste nutriente. Seguindo nesse contexto, a aplicação frequente de fertilizantes nitrogenados em cultivos de arroz irrigado é amplamente praticada para aprimorar a disponibilidade de nitrogênio e alcançar, assim, elevados rendimentos (YANG et al., 2014). Para realizar adubações de forma racional e aumentar a eficiência na absorção de nitrogênio pela cultura do arroz, é crucial compreender a dinâmica desse nutriente nesse tipo específico cultivo (GONÇALVES, 2016).

A mineralização, nitrificação e desnitrificação são processos intimamente ligados à liberação de óxido nitroso (N_2O) no solo. A mineralização consiste na transformação do N na forma orgânica para inorgânica (NH_4^+), sendo realizada por microrganismos heterotróficos do solo, que utilizam os compostos da matéria orgânica do solo (MOS) como fonte de energia, resultando, geralmente, em aumento do pH do meio devido ao consumo de prótons (ROBERTSON; GROFFMAN, 2015).

O processo de nitrificação consiste na oxidação biológica de formas reduzidas do nitrogênio. Neste processo, bactérias quimio autotróficas oxidam o NH_4^+ presente no solo, produzindo NO_3^- (SNYDER et al., 2009). A desnitrificação ocorre em condições de anaerobiose, sendo no processo de redução de NO_3^- a N_2 gera-se como produtos intermediários, o N_2O e NO , que são perdidos para atmosfera.

Esses processos estão intimamente relacionados, visto que a desnitrificação requer NO_3^- e nitrito (NO_2^-), produzidos por nitrificação, e a nitrificação necessita do NH_4^+ , que é produto da mineralização da MOS.

Além das perdas desse nutriente, em solos alagados, o nitrogênio pode gerar gases tóxicos, como amônia (NH_3) e óxido nitroso (N_2O) (GUIMARÃES et al., 2020), que também contribuem com o efeito estufa (GEE). Onde, o N_2O é gerado quando a conversão de NH_4^+ à N_2 não é completa, gerando esse GEE, que escapa para atmosfera (ZANATTA, 2009).

Condições com baixo teor de oxigênio inibem a nitrificação, favorecendo a desnitrificação, que produz N_2O (TAVARES et al., 2014). Para esses mesmos autores a decomposição orgânica também libera amônia, especialmente em solos alcalinos. Ambos os gases são prejudiciais para a qualidade da água e contribuem para o efeito estufa. Estratégias de manejo, como oxigenação do solo e drenagem, são essenciais para minimizar esses impactos em ambientes alagados.

2.1.1 RETENÇÃO E LIBERAÇÃO DE NUTRIENTES ESSENCIAIS PARA O CRESCIMENTO DAS PLANTAS EM SOLOS ALAGADOS.

Em um sistema de produção, a produtividade está relacionada ao controle da retenção e liberação de nutrientes, sendo este processo crucial para o desenvolvimento das plantas. Nesse contexto, a matéria orgânica desempenha um papel fundamental, por meio da melhoria da capacidade de retenção de nutrientes do solo, atuando como reserva de nutrientes e melhorando a estrutura do solo (SILVA et al., 2023).

No processo de decomposição de resíduos orgânicos por microrganismos, Machado et al. (2012) afirmam que a liberação de nutrientes essenciais ocorre gradualmente, contribuindo para um fornecimento constante ao longo do tempo.

No entanto, em solos hidromórficos, a atividade da matéria orgânica do solo é impactada pela escassez de oxigênio, resultando na redução da taxa de decomposição e na formação de produtos distintos quando comparada aos solos adequadamente drenados (NASCIMENTO et al., 2010).

Além disso, em solos alagados, a escassez de oxigênio para as raízes resulta na morte dos tecidos radiculares, devido à promoção da fermentação láctica e acidose nas células. Isso resulta, também, na diminuição da absorção de nutrientes e água devido à falta de energia (TAIZ; ZEIGER, 2009).

Alleoni et al. (2009) destacam que a dinâmica geoquímica dos minerais é significativamente influenciada pelas alterações termodinâmicas resultantes da inundação dos solos. Essas mudanças podem levar à solubilização de certos constituintes, bem como à potencial toxidez ou deficiência para as plantas.

No início do processo de inundação, Gonçalves (2016), descreveu em sua pesquisa, que há um aumento na condutividade elétrica (CE), decorrente da diminuição do teor do solo, evidenciada pela redução do Potencial Redox (Eh). O autor cita, que isso impacta diretamente a mobilidade dos íons Fe^{2+} e Mn^{2+} , resultando no aumento de suas concentrações, simultaneamente, ocorre a acumulação de NH_4^+ , HCO_3^- e íons orgânicos. Nesse contexto, há também um deslocamento dos cátions dos sítios de troca para a solução do solo.

A mobilidade do Cu assemelha-se à do Fe e do Mn em solos inundados. Em ambientes alagados, a carência desse elemento torna-se mais pronunciada, especialmente em turfeiras, várzeas e em solos com elevados níveis de matéria orgânica, devido à notável estabilidade dos quelatos formados entre o cobre e a matéria orgânica (BATISTA et al., 2018).

Nesse sentido, é evidente que a escassez de oxigênio em solos inundados contribui para alterações nos nutrientes, resultando na redução da fertilidade do solo, tornando-se inacessíveis os elementos para as plantas ou tornando-os tóxicos, conforme apresentado por Santos et al (2016). Esses autores citam que é comum observar deficiências pronunciadas de N e P, muitas vezes associadas à falta de outros nutrientes, especialmente S e micronutrientes como Mo, Cu, Zn e Mn nesses locais. No entanto, existem poucos dados disponíveis sobre a disponibilidade de micronutrientes nesses solos em específico.

Entretanto, pesquisa realizada por Arrieta (2017) destaca que, o aumento do pH no solo, provocado pelo alagamento, promove alterações nos processos químicos, físicos e biológicos do solo, favorecendo a absorção de nutrientes como, P, K, e Ca, além de aumentar a disponibilidade do K no solo.

Corroborando com tais benefícios dos solos alagados, Souza et al. (2006) citam que embora o Ca e o Mg não participem ativamente das reações de oxido-redução nesses solos, eles contribuem para o aumento da sua solubilidade ao serem deslocados para a solução, principalmente pelo Mn e pelo Fe. Este último ocupa uma proporção significativa dos sítios de troca.

Além disso, estudos realizados por pesquisadores indicam que os fertilizantes orgânicos desempenham um papel crucial nas lavouras de arroz irrigado por inundação. Eles não apenas fornecem nutrientes essenciais às plantas a curto prazo, mas também contribuem para o acúmulo desses nutrientes no solo (NISHIKAWA et al., 2014).

Dessa forma, nota-se a importância do aprofundamento nos estudos dos processos geoquímicos em solos alagados, especialmente no que diz respeito ao artifício de retenção e liberação de nutrientes para as plantas. A compreensão aprofundada desses processos é crucial não apenas para otimizar a produtividade agrícola, mas também para promover práticas sustentáveis de manejo de solos alagados.

Ao investigar mais profundamente os mecanismos envolvidos na interação entre a água e o solo, é possível desenvolver estratégias mais eficazes para reter e disponibilizar nutrientes essenciais para o crescimento das plantas. Além disso, o conhecimento aprimorado dos processos geoquímicos pode contribuir para a prevenção da perda excessiva de nutrientes por lixiviação, minimizando impactos ambientais negativos.

2.2 DRENAGEM

Para o cultivo em solos alagados, é crucial ressaltar as condições essenciais para garantir o êxito na produção, dentre as quais se destaca a drenagem eficiente do solo. Este aspecto ganha relevância significativa não apenas para o estabelecimento saudável da cultura, mas também desempenha um papel fundamental na mitigação da emissão de gases de efeito estufa (GEE).

A drenagem de áreas úmidas, por sua vez, exerce um impacto direto no regime hidrológico, manifestando-se em efeitos imediatos (DURIGAN et al., 2022). Em solos previamente inundados e posteriormente secos, observa-se um aumento na solubilização de metais. Esse fenômeno pode ser atribuído ao aumento na solubilização de matéria orgânica durante os ciclos de secagem e inundação, bem como à formação de complexos de matéria orgânica dissolvida em metal. Essa matéria orgânica dissolvida tem a capacidade de solubilizar metais ao formar complexos com os metais anteriormente ligados aos minerais do solo (KOOPMANS; GROENENBERG, 2011).

No processo de envelhecimento mineral, a secagem do solo induz a desidratação e a conversão de óxidos metálicos pouco cristalinos ou amorfos em formas mais cristalinas, caracterizadas por solubilidades mais baixas (KOOPMANS; GROENENBERG, 2011).

A oxidação dos minerais do solo, desencadeada pela secagem, acelera a formação de sulfato (SO_4^{2-}). Contudo, quando solos secos são inundados, a redução do potencial redox conduz à conversão do sulfato para sulfeto (S^{2-}), reagindo com metais, formando sulfetos insolúveis, como FeS, ZnS, CuS (PAN et al., 2016). Essas transformações biogeoquímicas revelam a complexidade e interconexão dos processos associados à dinâmica do solo em resposta a variações na umidade.

Solos bem-drenados muitas vezes apresentam uma disponibilidade diminuída de fósforo para as plantas, devido à propensão desse elemento em formar compostos estáveis de alta energia de ligação e baixa solubilidade com a fase sólida mineral do solo, particularmente com os óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio (HAVLIN et al., 2005; SIMONETE et al., 2015).

A drenagem adequada não só influencia diretamente a escolha do tipo de solo, o número de drenos e a seleção da cultivar, conforme salientado por Schoenfeld (2011), mas também desempenha um papel crucial na minimização do impacto ambiental associado às emissões de GEE.

Portanto, a implementação de práticas de drenagem responsáveis emerge como uma estratégia importante na promoção da sustentabilidade agrícola, contribuindo para a minimização das emissões de GEE e, por conseguinte, para a preservação do equilíbrio ambiental global.

2.3 IMPACTO DAS CONDIÇÕES ALAGADAS NOS MICRORGANISMOS DO SOLO: IMPLICAÇÕES PARA A AGRICULTURA E ECOSSISTEMAS

Os microrganismos constituem um componente biológico essencial nos solos agrícolas, representando aproximadamente bilhões por grama de solo. As bactérias predominam nesse ambiente, desempenhando um papel crucial na manutenção do equilíbrio do solo, sendo responsáveis por mais de 70% do total de microrganismos, exercendo uma influência significativa na estabilidade e na saúde do solo. (BACHAR et al., 2010).

As condições alagadas têm um impacto expressivo nos microrganismos benéficos para as plantas, afetando intensamente os ecossistemas e a saúde vegetal. Microorganismo como bactérias, fungos e protozoários exercem funções fundamentais no solo, proporcionando o crescimento das plantas, melhorando na absorção de nutrientes e fortalecendo a resistência a doenças (BANACH et al., 2009).

Em áreas alagadas, a saturação da água resulta na redução do oxigênio no solo, produzindo um ambiente anaeróbico. Essa situação torna-se prejudicial para muitos microrganismos aeróbicos, diminuindo sua atividade metabólica podendo levar até a morte (UNGER et al., 2009).

No entanto, o excesso de água pode aumentar a densidade do solo, diminuindo a porosidade e inibindo a troca de gases entre o solo e a atmosfera. Dessa forma, a densidade do solo prejudica os microrganismos benéficos, limita o crescimento e desenvolvimento da planta (ARGIROFF et al., 2017).

Entretanto, apesar desses obstáculos, determinadas espécies de microrganismos benéficos possuem adaptações para ambientes alagados e podem desenvolver-se nessas condições. Por exemplo, certas bactérias fixadoras de nitrogênio são capazes de sobreviver e realizar de maneira eficaz em solos encharcados, contribuindo no fornecimento desse nutriente essencial para o crescimento das plantas (FURTAK et al., 2020).

Para reduzir os efeitos negativos das condições alagadas nos microrganismos benéficos para as plantas, técnica de manejo sustentável pode ser implementadas. Isso engloba aprimorar a drenagem do solo, utilizar sistemas de irrigação apropriados e implementar práticas agrícolas que conserve a estrutura do solo e forneça sua saúde microbiológica (BROWN et al., 2015).

Em outras palavras, as condições alagadas afetam os microrganismos do solo, modificando a estrutura e a função dessas comunidades. Tal mudança não só afeta a saúde do solo, como também afetam os ecossistemas em nível mais extenso. Dessa forma, compreender esses efeitos e adotar métodos apropriadas são fundamentais para a saúde do solo, das plantas e dos ecossistemas (BACHAR et al., 2010).

A composição da comunidade microbiana no solo é influenciada pelo nível de carbono orgânico e pelo pH do solo, além de outros elementos como temperatura, textura, teor de umidade, condutividade elétrica, e também pelos níveis de fósforo, enxofre, cálcio, magnésio, ferro e alumínio (FURTAK et al., 2020).

Dessa forma, essas mudanças podem posteriormente prejudicar componentes acima do solo devido aos papéis fundamentais que bactérias e fungos exercem na decomposição e ciclagem de nutrientes.

A priori, as plantas convivem com uma variedade de microrganismos benéfico como bactérias, fungos e vírus, da qual alguns dos fungos do solo podem estabelecer associações simbióticas com raízes de plantas. Entre os fungos simbióticos, temos como exemplo os fungos micorrízicos arbusculares e fungos endofíticos, que promovem o crescimento, disponibilização de nutrientes e resistência ao estresse (LIANG et al., 2023).

O estresse causado pela saturação hídrica do solo exclui os espaços anteriormente ocupados pelo ar, dificultando as trocas gasosas com a atmosfera. Dentro de pouco tempo as raízes e microrganismos

consomem o oxigênio dissolvido na água, gerando um ambiente no solo hipóxico, ou seja, ocorrendo a diminuição de oxigênio.

Nesse sentido, mudanças no teor de água no solo causado pelas mudanças climáticas podem ter um impacto relevante nos processos microbianos de matéria orgânica dissolvida em termos de ciclagem biogeoquímica e fluxo de energia nos ecossistemas. Assim, esses processos interferem não apenas o desempenho dos nutrientes no solo, como também os ciclos frequentes de resposta das mudanças climáticas (SCHINDLER et al., 2020).

Portanto, o entendimento dos fatores que afetam a mineralização e a transformação da comunidade bacteriana no solo é, fundamental. Tais entendimento, como taxas de respiração, consumo e acúmulo de nutrientes e equilíbrio do **gás carbônico** pode melhorar nossa capacidade de prever as respostas dessas comunidades às mudanças climáticas (SÃO et al., 2023).

2.4 DESENVOLVIMENTO DA PLANTA E CRESCIMENTO DE RAÍZES EM SOLOS ALAGADOS

O alagamento ou encharcamento do solo é um problema global que pode provocar prejuízos para o desenvolvimento agropecuário. Embora, em algumas regiões essa ocorrência não seja frequente, o problema pode persistir, necessitando a adoção de estratégias de manejo para que os produtores possam enfrentar tais situações.

A condição específica do solo, seja ele inundado ou encharcado, ocasiona a redução da troca de gases entre a planta e o ambiente. A queda imediata na respiração das raízes resulta em anoxia e hipoxia no sistema radicular, inibindo a atividade metabólica, que, por sua vez, leva à diminuição da produção de ATP devido à redução do suprimento de energia para o crescimento das raízes, afetando, de maneira significativa, o desenvolvimento global da planta (DIAS-FILHO, 2005).

Nesse contexto, as plantas enfrentam modificações substanciais em sua fisiologia, notadamente na condutância estomática, o que repercute diretamente nas taxas de fotossíntese e no processo de crescimento (BONFIM-SILVA, 2011). Essa alteração desfavorável resulta, por conseguinte, na diminuição da produção tanto da parte aérea quanto das raízes. No entanto, diante dessas adversidades ambientais, observa-se que as plantas desencadeiam estratégias específicas de adaptação metabólica.

Conforme destacado por Mattos et al. (2005), a resposta adaptativa inclui a implementação da respiração anaeróbica, a formação de aerênquima e o desenvolvimento de raízes adventícias. Segundo esses mesmos autores, esses mecanismos adaptativos desempenham um papel crucial na viabilidade

e sobrevivência das plantas em condições alagadas, permitindo-lhes enfrentar os desafios impostos pelo excesso de água no solo.

O aerênquima, uma estrutura composta por amplos espaços intercelulares, é formado com o propósito de otimizar a troca de gases, dessa forma, essa estrutura é notadamente desenvolvida em resposta a condições de estresse, e a maioria das investigações científicas destaca que essa adaptação é predominantemente observada nas raízes (BONA; MORRETES 2003).

Portanto, é evidente que, mesmo diante da adversidade, as plantas demonstram uma notável capacidade de ajuste metabólico para maximizar sua sobrevivência e preservar seu desempenho fisiológico. Isso se justifica pelo fato de que as raízes desempenham um papel crucial em processos biológicos essenciais, como a fotossíntese.

Dentre essas adaptações, algumas espécies desenvolvem modificações morfoanatômicas notáveis, incluindo a formação de raízes adventícias, a presença de aerênquima e lenticelas hipertrofiadas (DALMOLIN et al., 2018).

Além disso, há evidências de que algumas plantas conseguem preservar o seu aparato fotossintético, mantendo a condutância estomática (MOLLARD et al., 2008). Esses mecanismos adaptativos desempenham um papel crucial na sobrevivência e no desempenho de plantas em ambientes alagados, constituindo elementos essenciais para a compreensão da ecologia desses ecossistemas específicos.

No entanto, a resposta das espécies vegetais à hipóxia do solo é altamente variável, como evidenciado por estudos anteriores (BELFORT et al., 2020). Este fenômeno é ainda mais complexo quando se concentra em espécies tropicais, pois a diversidade de respostas às inundações periódicas do solo é notável (VIDAL et al., 2019). Um aspecto muitas vezes negligenciado nos protocolos de design atuais é a contribuição das plantas para a transferência de oxigênio pelas raízes, que, conforme indicado por NIVALA et al. (2012), muitas vezes não atende às demandas exercidas pelos efluentes nas taxas de aplicação convencionais. Isso sugere a necessidade de uma reconsideração nas diretrizes de projeto, a fim de incorporar adequadamente o papel das plantas nesse contexto desafiador.

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante da complexidade dos processos geoquímicos em solos alagados, é evidente o impacto das inundações em microrganismos e plantas, destacando a sensibilidade desses microrganismos à saturação hídrica. A análise das alterações químicas, especialmente pH e reações de oxirredução,

influencia diretamente na disponibilidade de nutrientes para as plantas, ressaltando a necessidade de examinar as estratégias metabólicas das plantas em ambientes alagados, como a formação de aerênquima, evidenciando a adaptabilidade das espécies vegetais para a sobrevivência nesses ambientes.

Os solos alagados desempenham um papel crucial na dinâmica do carbono e nas emissões de gases de efeito estufa, sublinhando sua importância nas mudanças climáticas globais. A compreensão desses processos é vital para mitigar as emissões desses poluentes, reduzindo assim os impactos ambientais. Estratégias de manejo, como a aplicação de fertilizantes, são cruciais para otimizar a disponibilidade de nutrientes, minimizando impactos ambientais. A discussão sobre a retenção e liberação de nutrientes ressalta a importância da drenagem eficiente para a agricultura sustentável em solos alagados.

Os desafios e estratégias para uma agricultura sustentável nesse contexto apontam para a necessidade contínua de pesquisa e inovação, destacando a interação simbiótica entre plantas e microrganismos benéficos como promissora para melhorar a resistência das plantas em condições adversas, enfatizando a aplicação prática do conhecimento científico no manejo eficaz dessas áreas.

REFERÊNCIAS

- ADAMO, P., IAVAZZO, P., ALBANESE, S., AGRELLI, D., DE VIVO, B., LIMA, A. Bioavailability and soil-to-plant transfer factors as indicators of potentially toxic element contamination in agricultural soils. *Science of the Total Environment*, v. 500, p. 11-22, 2014.
- ALLEONI L.R.F., MELLO, J.W.V., ROCHA, S.D., Eletroquímica, adsorção e troca iônica no solo. in *Química e mineralogia do solo – Parte II Aplicações*. Viçosa, SBCS 2009.
- ARGIROFF, W.A.; ZAK, D.R.; LANSER, C.M. et al. O potencial funcional e a composição da comunidade microbiana são moldados pela conectividade hidrológica em solos de planícies de inundação ribeirinhas. *Microb Ecol*, v. 73, p. 630–644, 2017.
- ARRIETA, Rafael Gómez. Reatividade e eficiência agronômica do verdete e verdete calcinado como fertilizantes multinutrientes no arroz inundado. *Dissertação em Agronomia - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia*, 2017.
- AZOUZI, R.; CHAREF, A.; HAMZAOUI, A. H. Assessment of effect of pH, temperature and organic matter on zinc Mobility in a hydromorphic soil. *Environ Earth Sciences*, v. 47, p. 2967-2980, 2015. DOI 10.1007/S12665-015-4328-4.
- BACHAR, A.; AL-ASHHAB, A.; SOARES, M.I.M. et al. Abundância e diversidade microbiana do solo ao longo de um baixo gradiente de precipitação. *Microb Ecol*, v. 60, p. 453–461, 2010.
- BANACH, A.M.; BANACH, K.; VISSER, E.J.W. et al. Effects of summer flooding on floodplain biogeochemistry in Poland; implications for increased flooding frequency. *Biogeochemistry*, v. 92, p. 247–262, 2009
- BATISTA, M.A., INOUE, T.T., ESPER NETO, M., and MUNIZ, A.S. Princípios de fertilidade do solo, adubação e nutrição mineral. In: BRANDÃO FILHO, J.U.T., FREITAS, P.S.L., BERIAN, L.O.S., and GOTO, R., Comps. Hortaliças-fruto. Maringá: EDUEM, 2018, pp. 113-162.
- BARROS FERRAZ, E. S.; OMETTO, J. P. H. B.; MARTINELLI, L. A.; MOREIRA, M. Z.; DE CAMARGO, P. B.; VICTORIA, R. L. Desvendando questões ambientais com isótopos estáveis. São Paulo, Oficina de Textos, 2009
- BAUMANN, K.; NASTAH, S.; SHAHEEN, S. M.; RINKLEBE, J. Phosphorus cycling and spring barley crop response to varying redox potential. *Vadose Zone Journal*, v. 19, e20088, 2020. DOI 10.1002/vzj2.20088.
- BEGON, M.; TOWNSEND, C. R. *Ecologia: de indivíduos a ecossistemas*. Artmed editora, 5 ed. Porto Alegre, 2023.
- BELFORT, C. C.; BARBOSA, R. B. da S.; MOTA, L. de S.; CARVALHO, M. S. S.; OLIVEIRA, M. da C. P. de; CAMPELO, P. E. B.; JESUS JUNIOR, F. A. de. Root moisture saturation as a stress factor in zucchini (*Cucurbita pepo*). *Research, Society and Development*, [S. l.], v. 9, n. 8, p. e467985197, 2020.
- BHADURI, D.; MANDAL, A.; CHAKRABORTY, K.; CHATTERJEE, D.; DEY, R. Interlinked Chemical-biological processes in anoxic waterlogged soil- A review. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, v. 87, n. 12, p. 1587-1599, 2017.

BONFIM-SILVA, E. M.; DA SILVA, T. J. A.; CABRAL, C. E. A.; KROTH, B. E.; REZENDE, D. Desenvolvimento inicial de gramíneas submetidas ao estresse hídrico. *Revista Caatinga*, p. 180-186, 2011.

BONA, C.; MORRETES, B. L. Anatomia das raízes de *Bacopa salzmanii* (Benth.) Wettst. ex Edwall e *Bacopa monnierioides* (Cham.) Robinson (ScrophBUMariaceae) em ambientes aquáticos e terrestres. *Acta Botanica Brasilica*, 2003.

BREVILIERI, R. C.; DIECKOW, J. Mitigação de emissões de gases de efeito estufa em solos agrícolas e florestais como indicador de serviços ambientais. *Serviços Ambientais em Sistemas Agrícolas*, p. 109, 2015.

BROWN, G. G.; NIVA, C. C.; ZAGATTO, M. R. G.; FERREIRA, S. de A; et al. Biodiversidade da fauna do solo e sua contribuição para os serviços ambientais. Embrapa Brasília - DF, 2015.

BUENO, G. T.; NASCIMENTO, N. R.; PEREIRA, L. F.; DE SOUZA. Áreas alagadas sobre interflúvios da bacia do médio/baixo rio negro-AM: considerações sobre sua gênese. *REVISTA GEONORTE*, v. 5, n. 18, p. 1-6, 2014.

CONCEIÇÃO, M. C. G. Uso de indicadores geoquímicos para avaliação da sustentabilidade ambiental em sistemas de integração lavourapecuária-floresta no Mato Grosso, Tese de Doutorado em Geoquímica Ambiental da Universidade Federal Fluminense. Niterói, 2016.

DALMOLIN, A.C.; LOBO, F.A.; VOURLITIS, G.L.; DALMAGRO, H.J.; ANTUNES JUNIOR, M.Z.; ORTIZ, C.E.R. Physiological adjustments of an invasive tree species to extreme hydrological events in a tropical seasonal wetland. Dissertação em Biodiversidade e Conservação do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano. Rio Verde, 2018.

DIAS-FILHO, M.B. Opções forrageiras para áreas sujeitas a inundação ou alagamento temporário. In: PEDREIRA, C.G.S.; MOURA, J.C. de; DA SILVA, S.C.; FARIA, V.P. de (Ed.). *Simpósio sobre manejo de pastagem. Teoria e prática da produção animal em pastagens*. Piracicaba: FEALQ, p.71-93, 2005.

DIAS-FILHO, M. B. Opções forrageiras para áreas sujeitas ao encharcamento ou alagamento temporário. Embrapa Amazônia Oriental, ed. 1, Belém, 2006.

DIAS-FILHO, M. B.; LOPES, MJ dos S. Triagem de forrageiras para tolerância ao excesso de água no solo. Embrapa Amazônia Oriental, ed. 1, Belém, 2012.

DURIGAN, G.; MUNHOZ, C. B.; ZAKIA, M. J. B.; OLIVEIRA, R. S.; PILON, N. A. L.; VALLE, R. S. T.; WALTER, B. M. T.; HONDA, E. A.; POTT, A. Cerrado wetlands: multiple ecosystems deserving legal protection as a unique and irreplaceable treasure. *Perspectives in Ecology and Conservation*, v. 20, p. 185-196, 2022. ISSN 2530-0644. DOI 10.1016/j.pecon.2022.06.002.

EBERHARDT, D. S.; DE LIMA, M. A.; ANDRADE, S.; PESSOA, M. C. P.; ALBERTO, J. Emissão de metano em arroz irrigado em Santa Catarina. Embrapa Meio Ambiente, v. p. 38, Jaguariúna, SP 2009.

FAGERIA, N. K.; SANTOS, A. B.; BARBOSA FILHO, M. P.; GUIMARÃES, C. M. Iron toxicity in Lowland rice. *Journal of Plant Nutrition*, v. 31, p. 1676-1697, 2008. DOI 10.1080/01904160802244902.

FELIZARDO, A. R.; MARTINEZ, M. A.; MATOS, A. T.; CANTARUTTI, R. B.; SILVA, J. O. da. Modelo numérico do transporte de nitrogênio no solo. Parte I: Desenvolvimento e teste do modelo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 12, n. 1, p. 47–53, 2008.

FURTAK, K.; JAROSŁAW, G.; ANNA, G.; JACEK, N. Prevalence of unclassified bacteria in the soil bacterial community from floodplain meadows (fluvisols) under simulated flood conditions revealed by a metataxonomic approach. *Catena*, v. 188, p. 104448, 2020.

GIONGO, V.; CUNHA, T. J. F.; MENDES, A. S. M.; GAVA, C. A. T. Carbono no sistema solo-planta no Semiárido brasileiro. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 6, p. 1233-1253, 2011.

GONÇALVES, G. D. M. O. Atributos químicos do solo de várzea tropical cultivado com arroz irrigado em razão do manejo do nitrogênio. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2016.

GUIMARÃES das N.; Y., DE LIMA FERREIRAA, N.; DE SOUZA, G. B.; BARROSOA, L. L.; DA SILVAA, S. G.; DOS SANTOS JESUSB, E.; JÚNIORC, A. P. Ciclo do nitrogênio em ambientes dulcícolas e as interferências antrópicas. *Multidisciplinary Reviews*. p. 1-9, 2020.

GUO, J.; ZHANG, W.; ZHANG, M.; ZHANG, L.; BIAN, X. Will elevated CO₂ enhance mineral bioavailability in wetland ecosystems? Evidence from a rice ecosystem. *Plant and Soil*, p. 1-13, 2012.

HAVLIN JL, BEATON JD, TISDALE SL, NELSON WL. Soil Fertility and fertilizers: an introduction to nutrient management. 7th.ed. Upper Saddle River, NJ: Pearson/Prentice Hall; 2005.

HOLZSCHUH, M. J.; BOHNEN, H.; ANGHINONI, I.; MEURER, E. J.; CARMONA, F. D. C.; COSTA, S. E. V. G. D. A. Resposta do arroz irrigado ao suprimento de amônio e nitrato. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 33, p. 1323-1331, 2009.

HORWATH, W.R. Carbon Sequestration Potencial and Greenhouse Gas Emissions in Rice. Thirty-Second Rice Technical Working Group. Proceedings. Crowley. San Diego, p.1-122, 2008.

KOOPMANS, G. F.; GROENENBERG, J. E. Effects of soil oven-drying on concentrations and speciation of trace metals and dissolved organic matter in soil solution extracts of sandy soils. *Geoderma*, v. 161, p. 147-158, 2011.

KARATHANASIS, A. D. Subsurface migration of Copper and zinc mediated by soil colloids. *Soil Science Society of America Journal*, v, 63, n. 4, p 830-838, 1999. DOI 10.2136/sssaj1999.634830x.

KHAN, S. U.; HOODA, P. S.; BLACKWELL, M. S. A.; BUSQUETS, R. Influence of soil drying followed by flooding on micronutrient solubilization. *Soil Use and Management*, v. 1, p. 1-13, 2023. DOI 10.1111/sum.12946.

KASHEM, M. A.; SINGH, B.R. Solid phase speciation of Cd, Ni and Zn in some contaminated and non-contaminated tropical soils. *Environmental Science, Chemistry*, p. 213-227, 2001. DOI 10.1201/9781420032734-14.

KÖGEL-KNABNER, I.; AMELUNG, W.; CAO, Z.; FIEDLER, S.; FRENZEL, O.; JAHN, R.; KALBITZ, K.; KÖLBL, A.; SCHLOTER, M. Biogeochemistry of paddy soils. *Geoderma*, v. 157, p. 1-14, 2010.

LAMBERS, H.; OLIVEIRA, R.S. Growth and allocation. In: Plant physiological ecology. Perth: Springer. p.385-449, 2019.

LIANG, S.; ZOU, Y.; SHU, B.; WU, Q. Arbuscular mycorrhizal fungi and endophytic fungi differentially modulate polyamines or proline of peach in response to soil flooding. *Pedosphere*, 2023.

MACHADO, D.; SCHOSSLER, T. R.; ZUFFO, A. M.; ANDRADE, F. PIAULINO, A. Atividades microbianas e as transformações no ciclo dos elementos no solo. *Enciclopédia Biosfera*, 8 (15), 2012.

MATTOS, J. L. S.; GOMIDE, J. A.; HUAMAN, C. A. M. Crescimento de espécies do gênero *Brachiaria* sob alagamento em casa de vegetação. *Revista Brasileira de Zootecnia*, Viçosa, MG, v. 34, n. 3, p. 765-763, 2005.

MELLO, J. M.; COUTO, E. G.; AMORIM, R. S. S.; CHIG, L. A.; JOHNSON, M. S.; LOBO, F. A. Dinâmica dos atributos físico-químicos e variação sazonal dos estoques de carbono no solo em diferentes fitofisionomias do pantanal norte mato-grossense. *Revista Árvore*, v. 39, p. 325-336, 2015.

MELO, D. M. A.; REIS, E. F.; COARACY, T. N.; SILVA, W. A. O.; ARAÚJO, A. E. Cromatografia de Pfeiffer como indicadora agroecológica da qualidade do solo em agroecossistemas. *Revista craibeiras de agroecologia*, 4: p. e7653-e7653, 2019.

MELO JUNIOR, A. da S. M.; VERTUAN, C. A.; CASTILHO, C. P. G. de 3; FILHO, J. T.; GODOY, H. T.; ROSTO, D. M. Dinâmica de nutrientes em sistemas de alagados para tratamento de efluentes. XV SBRH - Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2003.

MOLLARD, F.P.O.; STRIKER, G.G.; PLOCHUK, E.L.; VEGA, A.S., INSAUSTI, P. Flooding tolerance of *Paspalum dilatatum* (Poaceae: Paniceae) from upland and lowland positions in a natural grassland. *Flora* 203, 548–556. 2008.

NASCIMENTO, P. C. D.; LANI, J. L.; MENDONÇA, E. D. S.; ZOFFOLI, H. J. D. O.;

PEIXOTO, H. T. M. Teores e características da matéria orgânica de solos hidromórficos do Espírito Santo. *Revista Brasileira de ciência do solo*, v. 34, p. 339-348, 2010.

NIVALA, J.; WALLACE, S.; HEADLEY, T.; KASSA, K.; BRIK, H.; VAN AFFERDEN, M.; MÜLLER, R. Oxygen transfer and consumption in subsurface flow treatment wetlands. *Ecological Engineering*. p. 544-554, 2012.

NISHIKAWA, T.; LI, K.; INAMURA, T. Nitrogen uptake by the rice plant and changes in the soil chemical properties in the paddy rice field during yearly application of anaerobically digested manure for seven years. *Plant Production Science*, p.237-244, 2014.

OLIVEROS, L.F.C. Emissões de CO₂ do solo sob preparo convencional e plantio direto em latossolo vermelho do rio grande do sul. Dissertação- Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais programa de pós-graduação em ciência do solo, Santa Maria, RS ,2008

PAN, F.; MCPHERSON, B. J.; DAI, Z.; JIA, W.; LEE, S. Y.; AMPOMAH, W.; VISWANATHAN, H.; ESSER, R. Uncertainty analysis of carbon sequestration in an active CO₂-EOR field. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, v. 51, p. 18-28, 2016.

PONTING, J.; KELLY, T. J.; VERHOEF, A.; WATTS, M. J.; SIZMUR, T. The impact of increased flooding occurrence on the Mobility of potentially toxic elements in floodplain soil- A review. *Science of The Total Environment*, v. 754, 142040, 2021.

RIBEIRO, A. L. de M. Isótopos estáveis de carbono e a relação solo-planta no Pantanal Mato-grossense. Dissertação em Ciências Ambientais pela Universidade de Brasília, Brasília, 2022.

ROBERTSON, G. P.; GROFFMAN, P. M. Nitrogen transformations. In: PAUL, E. A. *Soil microbiology, ecology and biochemistry*. ed. 4. Academic Press, Burlington, Massachusetts, USA, p. 421-446, 2015.

ROSA, C.M. da; CASTILHOS, R.M.V.; PAULETTO, E.A.; PILLON, C.N.; LEAL, O. dos A. Conteúdo de carbono orgânico em Planossolo Háptico sob sistema de manejo do arroz irrigado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.35, p.1769-1776, 2011.

SAHRAWAT, K. L. Soil fertility in flooded and non-flooded irrigated rice systems. *Archives of Agronomy and Soil Science*, v. 58, n. 4, p. 423-436, 2012. ISSN 1476-3567. DOI 10.1080/03650340.2010.522993. Disponível em: https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/03650340.2010.522993?casa_token=pfGVM0ag_hlAAAAA:_0tBVDGVoLbJmOfF4AkfU6tV4uYGDKERIMk2-G0f31ocGL7oBmK9Rdyl6OBILYwVCOGWSOMv9objJAw. Acesso em: 05 dez. 2023.

SANTOS, R. D. dos; GALARZA, M. A.; OLIVEIRA, D. C. de. Geologia, geoquímica e geocronologia do Diopsídio-Norito Pium, Província Carajás. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi-Ciências Naturais*, v. 8, n. 3, p. 355-382, 2013.

SANTOS, R. V. D., VITAL, A. D. F. M., CAVALCANTE, L. F., LACERDA, C. F., SOUZA, E. R. D., & LIMA, G. S. D. Interação salinidade-fertilidade do solo. (ed.) *Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados*, Fortaleza, 2017.

SAO, S.; VANNAK, A.; NISHIYAMA, M.; ELOGIO, S.; WATANABE, T. Tracing the pathways by which flood duration impacts soil bacteria through soil properties and water-extractable dissolved organic matter: A soil column experiment. *Science of The Total Environment*, v. 902, p. 166524, 2023.

SCHULZ-ZUNKEL, C.; RINKLEBE, J.; BORK, H. R. Trace element release patterns of three floodplain soils under oxidized simulation. *Ecological Engineering*, v. 83, p. 485-495, 2015.

SCHOENFELD, R. Sistemas de rotação arroz e soja em sucessão a plantas de cobertura em planossolo haplico. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) -Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

SCHINDLER, T.; MANDER, Ü.; MACHACOVA, K. et al. Inundações de curto prazo aumentam o CH₄ e N₂O emissões de árvores em um continuum solo-caule de mata ciliar. *Rep Sci*, v. 10, p. 3204, 2020.

SHAHEEN, S. M.; WANG, J.; BAUMANN, K.; AHMED, A. A.; HSU, L. C.; LIU, Y. T.; WANG, S. L.; KÜHNF, O.; LEINWEBER, P. Stepwise redox changes alter the speciation and mobilization of phosphorus in hydromorphic soils. *Chemosphere*, v. 288, n. 3, 132652, 2022.

SILVA, A.C.; HORÁK, I.; VIDAL-TORRADO, P.; CORTIZAS, A.M.; RACEDO, J.R.; CAMPOS, J.R.R. Turfeiras da Serra do Espinhaço Meridional – MG. II- Influência da drenagem na composição elementar e substâncias húmicas. *Revista Brasileira: Ciência do Solo*. v. 33, p. 1399-1408, 2009.

SILVA, L.S.; SOUSA, R.O.; POCOJESKI, E. Dinâmica da matéria orgânica em ambientes alagados. In: SANTOS, A.S.; SILVA, L.S.; CANELLAS, L.P.; CAMARGO, F.A.O., eds. Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecossistemas tropicais & subtropicais. 2.ed. Porto Alegre, Metrópole, p.525-543, 2008.

SILVA, S. B. Interações geoquímicas na superfície de gleissolos no Estuário Amazônico. Tese de Doutorado em Geologia e Geoquímica. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2023.

SNYDER, C. S.; BRUULSEMA, T.; JENSEN, T. L.; FIXEN, P. E. Review of greenhouse gas emissions from crop production systems and fertilizer management effects. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v. 133, p. 247–266, 2009.

SIMONETE, M. A.; ERNANI, P. R.; MORO, L.; TEIXEIRA-GANDRA, C. F. A.; GATIBONI L. C. Eficiência de métodos analíticos na predição da disponibilidade de fósforo para arroz irrigado em solos catarinenses. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 39, p. 1151-1160, 2015.

SIQUEIRA, M. D.; DE SOUZA VIEIRA, T. F.; DE ANDRADE VARGAS, L. F.; DE OLIVEIRA CORINGA, E. A. Extração e fracionamento químico das substâncias húmicas de solos de áreas úmidas: caso pantanal. VI Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental. IBEAS – Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais. Porto Alegre/RS, 2015.

SOUSA, R. O.; CAMARGO, F. A. O. & VAHL, L. C. Solos alagados (Reações de Redox). In: MEURER, E. J., org. Fundamentos de química do solo. 3.ed. Porto Alegre, Evangraf, . p.185-211, 2006.

SPOSITO, G. The chemistry of soils. New York: Oxford University Press; 1989.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. Fisiologia vegetal. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 613 p. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, p. 848, 2009.

TAVARES, T.M., GUARÍN, R.R., ARCINIEGAS, C.L.W., and OLIVA, S.T. Medidas de óxido nitroso (N₂O) emitido por culturas de mamona e girassol para produção do agro diesel e potencial contribuição para as mudanças climáticas. In: FERNANDES, R.C.P., LIMA, M.A.G., and ARAÚJO, T.M., comps. Tópicos em saúde, ambiente e trabalho: um olhar ampliado. Salvador: EDUFBA, 2014.

TUNDISI, J. G.; TUNDISI, T. M. Limnologia. Ciência da terra. ed. Câmara Brasileira de Livros: Oficina de textos, 2016.

UNGER, I. M.; KENNEDY, A. C.; MUZIKA, R. M. Flooding effects on soil microbial communities. *Applied Soil Ecology*, v. 42, n 1, p. 1-8, 2009.

VIDAL, D. B.; ANDRADE, I. L. M. M.; DALMOLIN, A.; MIELKE, M. Photosynthesis and growth of copaiba seedlings subjected to soil flooding. *Floresta e Ambiente*, v.26, 2019.

YANG, J. I.; GANG, L. I. U.; JING, M. A.; ZHANG, G. B.; HUA, X. U. Effects of urea and controlled release urea fertilizers on methane emission from paddy fields: A multi-year field study. *Pedosphere*, v. 24, n. 5, p. 662-673, 2014.

ZANATTA, J. A. Emissão de óxido nitroso afetada por sistemas de manejo do solo e fontes de nitrogênio. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

ZHOU, X.; ZHANG, W.; SHAO, S.; ZHANG, S.; CHENG, X.; YE, Q. Fate characteristics of the chiral pesticide dufulin in flooded anaerobic soils and its interaction with soil microorganisms. *Science of the Total Environment*, v. 878, p. 162983, 2023.

Capítulo 4



10.37423/240509045

TESTE DO PH DO EXSUDATO PARA AVALIAR A VIABILIDADE E VIGOR DE SEMENTES DE SALSA GRAÚDA PORTUGUESA

Elaine Gonçalves Rech

Universidade Estadual da Paraíba



Resumo: A salsa (*Petroselinum crispum*) pertence à família Apiaceae, é uma hortaliça de importância comercial como condimento e fitoterápico, é propagada por sementes. Objetivou-se definir uma metodologia para o teste do pH do exsudato para avaliar a viabilidade e vigor em sementes de salsa. O experimento foi conduzido no Laboratório de Produção Vegetal (LAPROV), no viveiro de produção de mudas do setor de Fitotecnia do Campus IV da Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), Catolé do Rocha/PB e no Laboratório Didático de Análise de Sementes, da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel - Universidade Federal de Pelotas (FAEM/UFPel), entre dezembro de 2018 e abril de 2019. Utilizou-se três lotes de sementes de salsa cv Graúda Portuguesa, avaliando-se os seguintes parâmetros: primeira contagem de germinação (PCG%), germinação (G%), emergência de plântulas (EP%), comprimento de plântula (CP cm), matéria fresca (MF mg) e seca (MS mg), e pH do exsudato (pH %), estudado em quatro períodos de embebição (30, 60, 90 e 120 minutos), sendo a concentração de $1,8\text{g.L}^{-1}$ de carbonato de sódio e fenolftaleína (0,5%). O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com oito repetições, sendo as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade e de forma complementar realizou-se a correlação linear simples entre os parâmetros de avaliação. Concluiu-se que: o teste do pH do exsudato de sementes de salsa Graúda Portuguesa, a partir de 30 minutos de embebição já foi capaz de extratificar os lotes de sementes em diferentes níveis de viabilidade além de correlacionar-se com o vigor de sementes.

Palavras-chave: *Petroselinum crispum*, Teste rápido, qualidade fisiológica.

INTRODUÇÃO

A salsa (*Petroselinum crispum*) pertencente à família Apiaceae, é uma planta herbácea bienal que, no primeiro ano, na fase vegetativa, atinge de 10 a 25 centímetros de altura, está na lista das espécies de hortaliças mais comercializadas do Brasil (VIEIRA, 2010). Originária dos países mediterrâneos, é cultivada praticamente em todo o mundo, no Brasil, seu cultivo iniciou-se no período da colonização, é uma hortaliça importante pela utilização tanto como condimento como fitoterápico, é diurética, utilizada no tratamento de infecções urinárias, pedras nos rins, hipertensão, prisão de ventre, retenção de líquidos, na prevenção de gripe, anemia e problemas cardíacos, rica em nutrientes, como ferro e potássio, ainda é fonte de antioxidantes, ácido fólico e vitaminas A, B1, B2, C e D. Contudo, devido à grande quantidade de ácido oxálico, o excesso do consumo do chá feito pode ser abortivo (FILGUEIRA, 2003; Mathias, 2018).

As sementes são do tipo aquênio com germinação lenta, irregular e desuniforme, a emergência de plântulas de salsa em campo pode levar mais de 28 dias, dependendo da temperatura e da umidade do solo, as sementes de alta qualidade dispõem adequada capacidade para germinar, emergir e gerar população de plantas vigorosas e saudáveis, favorecendo a implantação da cultura. A qualidade das sementes envolve quatro aspectos: genético, físico, fisiológico e sanitário, a utilização de sementes de alta qualidade é um dos fatores mais importantes para garantir a germinação rápida, uniforme e o estabelecimento do estande com plântulas vigorosas (CARVALHO; NAKAGAWA, 2012; STEFANELLO, 2014).

Os principais objetivos das pesquisas sobre viabilidade e vigor em sementes são o desenvolvimento de procedimentos confiáveis para avaliá-lo e determinar sua influência sobre o desempenho das plantas em campo. Há várias referências na literatura que indicam associação consistente entre o potencial fisiológico das sementes, determinado em laboratório, e a emergência das plântulas em campo. No entanto, o mesmo não acontece com a relação do potencial fisiológico com o desempenho das plantas e com a produção final (KIKUTI; MARCOS FILHO, 2007).

Diversos são os testes de vigor relatados na literatura e que têm sido indicados para sementes de hortaliças. A primeira contagem da germinação pode ser considerada um teste de vigor, pois, sabe-se que no processo de deterioração, a velocidade de germinação decai antes da porcentagem de germinação. Assim, as amostras que germinam mais rapidamente, apresentando valores mais elevados de germinação na primeira contagem, podem ser consideradas mais vigorosas que aquelas de germinação mais lenta (MATTHEWS, 1980).

Os testes de vigor baseados na integridade dos sistemas de membranas das sementes vêm merecendo especial atenção, por identificar o processo de deterioração na sua fase inicial e permitir que medidas corretivas sejam tomadas para reduzir ou minimizar o seu efeito na qualidade fisiológica da semente. Dentre os métodos que se baseiam nesse princípio destacam-se os teste de condutividade elétrica, lixiviação de potássio e pH do exsudato (MENEZES, 2013).

O teste do pH do exsudato é baseado na permeabilidade das membranas e na lixiviação de solutos. Quando a semente embebe água, ocorre a liberação de açúcares, ácidos orgânicos e íons inclusive H^+ , que contribuem para a acidificação do meio, provocando uma diminuição do pH do exsudato das sementes. As sementes mais deterioradas apresentarão maior lixiviação e, conseqüentemente, exsudatos com maior poder tampão. As sementes menos deterioradas, por sua vez, terão uma menor lixiviação, ocasionando um menor poder tampão na água de embebição (PESKE; AMARAL, 1986). Para diferenciar sementes vivas e mortas deve-se explorar a característica do poder tampão desenvolvido durante o processo de embebição, que é mais intenso nas sementes mortas, devido à maior lixiviação.

Desde o seu desenvolvimento, o teste do pH do exsudato vem sofrendo vários avanços, a avaliação da viabilidade pelo teste do pH do exsudato possui baixo custo se comparada a outros testes como o tetrazólio, apresenta rapidez na obtenção de resultados e facilidade de execução, evita a utilização e/ou armazenamento desnecessário de lotes com baixo vigor, tornando a técnica promissora (AMARAL; PESKE, 2000; RAMOS et al., 2012). No entanto, alguns autores destacam a importância do desenvolvimento e/ou ajuste de metodologia desses testes rápidos para as diferentes espécies, já que deles dependerá a eficiência dos procedimentos na avaliação do potencial fisiológico das sementes (LOPES et al., 2013).

O objetivo do presente trabalho foi estudar e estabelecer uma metodologia para o teste do pH do exsudato para avaliar a qualidade fisiológica, viabilidade e vigor em sementes de salsa cultivar Graúda Portuguesa.

METODOLOGIA

O experimento foi conduzido no Laboratório de Produção Vegetal (LAPROV), no viveiro de produção de mudas do setor de Fitotecnia do Campus IV da Universidade Estadual da Paraíba e no Laboratório Didático de Análise de Sementes, da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel - Universidade Federal de Pelotas (FAEM/UFPel), durante o período de dezembro de 2018 a abril de 2019.

Utilizou-se três lotes de sementes de salsa, cultivar Graúda Portuguesa, procedendo-se as seguintes avaliações:

Determinação do Grau de Umidade (GU): utilizou-se duas subamostras de dois (2) gramas de sementes, pelo método da estufa a $105^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$, durante 24 horas, de acordo com as Regras para Análise de Sementes – RAS (BRASIL, 2009). Os resultados foram expressos em percentagem (base úmida).

Teste de Germinação (G%): conduzido com oito repetições de 50 sementes, distribuídas sobre papel mata borrão, umedecidos com água destilada, equivalente a 2,5 vezes o peso do substrato seco e colocados no interior de caixas plásticas transparentes (11,4 x 11,5 x 3,5cm) e levadas para germinar a 20°C . As avaliações foram realizadas aos 10 e aos 28 dias após semeadura (BRASIL, 2009).

Primeira Contagem da Germinação (PCG%): realizada conjuntamente com o teste padrão de germinação, sendo os dados obtidos através da percentagem de plântulas normais computados no décimo dia após a instalação do teste de germinação. Os resultados foram expressos em percentagem média de plântulas normais.

Emergência de Plântulas (EP%): avaliada em dez subamostras de 50 sementes, distribuídas em bandejas de poliestireno expandido com células individuais, preenchidas com substrato comercial (Plantimax®), a temperatura média do ambiente foi de 25°C , e as irrigações foram efetuadas sempre que necessário. Aos 28 dias após a semeadura computou-se o número de plântulas normais emergidas (todas que possuíam tamanho igual ou maior a 1,0 cm) e os resultados expressos em percentagem.

Comprimento de Plântula (CP): realizado com oito subamostras de 10 sementes, semeadas no terço superior do papel toalha (Germitest), previamente umedecido com água destilada (volume equivalente a 2,5 vezes o peso do papel), acondicionadas em rolo, imediatamente levadas para germinador com temperatura de 20°C , permanecendo aí durante as avaliações. No décimo dia após a instalação do teste, as plântulas normais correspondentes a cada subamostra foram separadas e medidas em sua totalidade. Os valores médios obtidos a partir das médias das oito subamostras foram expressos em centímetros.

Matéria Fresca de Plântulas (MFP): realizado com oito repetições de 10 plântulas, provenientes do teste de comprimento de plântulas, que foram pesadas em balança de precisão 0,001g.

Matéria Seca de Plântulas (MSP): realizado com oito repetições de 10 plântulas, mantidas em saco de papel, em estufa a 60°C , por 24h. Em seguida, as plântulas foram pesadas em balança de precisão

0,001g e o valor obtido pela soma das repetições foi dividido pelo número de plântulas utilizadas. Os resultados foram expressos em mg/plântula.

Teste do pH do exsudato das sementes: foram utilizadas duas subamostras de 100 sementes por tratamento, distribuídas em bandejas contendo 100 células individualizadas. Cada célula recebeu 1ml de água destilada, de maneira que cada semente ficasse submersa. Foram estudados quatro períodos de embebição: 30, 60, 90 e 120 minutos (em sala climatizada com temperatura 25°C). Após os referidos períodos, foi adicionada uma gota da solução de carbonato de sódio na concentração ($1,8\text{g.l}^{-1}$) e fenolftaleína (0,5%), em cada célula, mexendo-se em seguida com auxílio de um bastonete de vidro. A interpretação foi realizada comparando-se a coloração do exsudato de cada célula com uma solução padrão, obtido em uma célula na ausência de semente. As sementes contidas nas células cujas soluções apresentavam coloração rosa a rosa forte foram consideradas viáveis e as de coloração rosa fraco e incolores foram considerados não viáveis. Os resultados foram expressos em porcentagem de sementes viáveis.

Procedimento Estatístico: o delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com oito repetições, sendo as médias comparadas por meio do teste de Tukey a 5% de probabilidade e de forma complementar realizou-se a correlação linear simples entre os parâmetros de avaliação.

DESENVOLVIMENTO

As investigações científicas na área de tecnologia de sementes baseam-se principalmente em técnicas que visem à redução de custos e de tempo, padronização, aperfeiçoamento e estabelecimento dos métodos de análise, mantendo um alto nível de confiabilidade dos resultados. Buscando-se elucidar a confiabilidade do teste de pH do exsudato e definir uma metodologia aplicável às sementes de salsa cultivar Graúda Portuguesa para avaliar a qualidade fisiológica, viabilidade e vigor, submeteu-se três lotes de sementes, adquiridas no comércio especializado, à determinação do grau de umidade e do potencial fisiológico (BRASIL, 2009).

No presente estudo os três lotes apresentaram-se uniformes quanto a umidade das sementes, que segundo Marcos Filho et al. (1987) é um fato imprescindível para a padronização das avaliações e obtenção de resultados consistentes.

Para a definição da metodologia do pH do exsudato de sementes aplicável a salsa cultivar Graúda Portuguesa as sementes, dos três lotes, foram submetidas à quatro diferentes tempos de embebição

(30, 60, 90 e 120 minutos), utilizando-se uma concentração de $1,8\text{g.L}^{-1}$ de carbonato de sódio e fenolftaleína (0,5%) pelo método individual.

No entanto, sabe-se que os detalhes da metodologia deste teste, não são conhecidos para todas as espécies, mas seu potencial e agilidade para obter informações sobre o vigor de um lote de sementes justificam os estudos que buscam o aprimoramento dos conhecimentos já obtidos (MARCOS FILHO, 2005).

Os resultados obtidos, nesta pesquisa, foram comparados estatisticamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$), foram, também, submetidos à análise da correlação linear simples ($p < 0,05$), entre todas as variáveis estudadas, utilizando programa computacional SISVAR 5.6 (FERREIRA, 2011), e são apresentados a seguir nas Tabelas 1 e 2.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados referentes à determinação do grau de umidade das sementes não foram submetidos à análise estatística, apresentando-se semelhantes para os três lotes: ($7^{\circ}\text{C} \pm 0,2$) estudados, essa variação no grau de umidade é aceitável, tendo em vista que está abaixo da variação máxima admitida que é de dois pontos percentuais. Este fato é importante na execução dos testes, pois a uniformização da umidade das sementes é imprescindível para a padronização das avaliações e obtenção de resultados consistentes (MARCOS FILHO et al., 1987).

Os dados médios referentes aos testes de primeira contagem de germinação, germinação, comprimento de plântulas, matéria fresca e seca, emergência de plântulas e pH do exsudato de sementes de salsa Graúda Portuguesa submetidos a períodos de embebição de 30, 60, 90 e 120 minutos são apresentados na Tabela 1.

Observando-se os dados referentes ao teste de primeira contagem de germinação (Tabela 1), nota-se que o Lote 1 mostrou-se superior, o Lote 3 com vigor intermediário e o lote 2 foi o que se mostrou menos vigoroso, de acordo com Leal et al. (2012) o teste de primeira contagem de germinação, muitas vezes, expressa melhor as diferenças de velocidade de germinação entre lotes do que os índices de velocidade de germinação, para Delouche e Baskin (1973) a redução do poder germinativo é um indicativo importante da perda de qualidade das sementes, mas é o evento final do processo de deterioração, segundo Marcos-Filho (2005), as manifestações do baixo potencial fisiológico de lotes de sementes podem ser atribuídas à menor velocidade de germinação, maior sensibilidade das

sementes e plântulas a estresses durante esse processo e plantas com crescimento vagaroso, reduzido, desuniforme e com menor desenvolvimento radicular.

Este teste apresentou alta correlação com as variáveis germinação ($r=0,95^{**}$), matéria da massa fresca de plântulas ($r=0,62^{*}$), emergência de plântulas ($r=0,95^{**}$), pH do exsudato das sementes embebidas por 30 ($r=0,96^{**}$) e 90 minutos ($r=0,83^{**}$) e correlacionou-se negativamente com o teste do pH do exsudato das sementes de salsa embebidas por 120 minutos ($r=-0,89^{**}$), (Tabela 2),

O comportamento da germinação e da emergência de plântulas, mostrou tendência similar ao teste de primeira contagem de germinação na estratificação dos lotes de sementes de salsa cultivar Graúda Portuguesa (Tabela 1), identificando o Lote 1 como de maior qualidade, o Lote 2 como o de menor qualidade e o Lote 3, como intermediário. Na Tabela 2, nota-se que houve correlação altamente significativa entre o teste padrão de germinação com os testes de emergência de plântulas ($r=0,99^{**}$), pH do exsudato das sementes embebidas por 30 minutos ($r=0,97^{**}$) e por 90 minutos ($r=0,94^{**}$).

Com relação aos dados referentes à matéria fresca, seca e comprimento de plântulas (Tabela 1), para o presente estudo, não foram observadas diferenças significativas entre os lotes avaliados, Bertatti (2002) também não observou diferenças para as mesmas variáveis quando estudou o desempenho de cultivares de salsa, no verão, com e sem cobertura de solo, em casa de vegetação.

O pH do exsudato das sementes de salsa Graúda Portuguesa, submetidas ao tempo de embebição de 30 minutos (Tabela 1), mostrou-se eficiente na rápida separação de níveis de viabilidade e vigor, concordando com resultados obtidos por Amaral e Peske (1984) e Theodoro et al. (2018) em sementes de soja, Rech et al. (1999), Gallo et al. (2012) e Murcia et al. (2018) em sementes de ervilha, Fernandes et al. (1987) para sementes de feijão, Araújo (2009) em sementes de *Acacia polyphylla* DC., esse resultado é interessante pois o período de embebição de 30 minutos agiliza a obtenção de resultados e a rápida tomada de decisão.

Mckersie e Stinson (1980) estudando sementes de *Lotus corniculatus* L. concluíram que no período inicial de embebição ocorre um rápido fluxo de substâncias das sementes, mas a partir de 30 minutos de embebição a quantidade lixiviada permanece constante, fato que foi observado nesta pesquisa, pois as sementes embebidas por 60, 90 e 120 minutos apresentaram valores muito próximos aos observados no tempo de 30 minutos. No entanto, o tempo de 60 minutos foi o único que não conseguiu estratificar os lotes em três níveis distintos de viabilidade e vigor (Tabela 1), identificando o Lote 1 como mais vigoroso e não distinguiu os Lotes 2 e 3 em termos de qualidade e vigor. Também não houve nenhuma correlação significativa com os demais testes estudados (Tabela 2).

O pH do exsudato das sementes de salsa Graúda Portuguesa submetidas ao período de embebição por 90 minutos apresentou a mesma tendência do teste com sementes embebidas por 30 minutos (Tabela 1) na estratificação dos lotes em diferentes níveis de viabilidade e vigor e apresentou correlação significativa com os testes de primeira contagem de germinação ($r=0,83^{**}$), teste padrão de germinação ($r=0,94^{**}$), matéria seca ($r=0,60^{*}$) e emergência de plântulas ($r=0,91^{**}$) (Tabela 2).

Já o teste do pH do exsudato, submetido a 120 minutos de embebição, estratificou os lotes em três níveis de viabilidade, no entanto subestimou os testes de primeira contagem de germinação, germinação e emergência de plântulas, Santana et al. (1998) trabalhando com o teste do pH do exsudato, concluíram que o mesmo é eficiente na separação dos lotes de milho em diferentes qualidades fisiológicas e que o aumento do tempo de embebição de 30 para 45 e 60 minutos subestimou o potencial de germinação de sementes cortadas.

Observa-se que o pH do exsudato das sementes de salsa Graúda Portuguesa, embebidas por 120 minutos, mostrou valores superiores a emergência de plântulas em cinco pontos percentuais para o Lote 1, dez para o lote 2 e oito para o Lote 3, além de apresentar correlação negativa com a primeira contagem de germinação ($r=-0,89^{**}$), germinação ($r=-0,94^{**}$) e emergência de plântulas ($r=-0,96^{**}$) (Tabela 2).

TABELA 1. Dados médios das variáveis primeira contagem de germinação (PCG), germinação (G%), matéria fresca (MF) e seca (MS), emergência de plântulas (EP), comprimento de plântula (CP), e o pH do exsudato, estudado em quatro períodos de embebição (30, 60, 90 e 120 minutos), em três lotes de sementes de salsa cultivar Graúda Portuguesa, Catolé do Rocha-PB, 2019.

Avaliações (%)	L1	L2	L3	MÉDIAS	CV (%)
P.C. Germinação	77 a	61 c	71 b	69	3,00
Germinação	81 a	63 c	72 b	72	1,73
Emergência Plântula	78 a	62 c	70 b	70	1,85
MF (mg)	0,115 a	0,068 a	0,118 a	0,100	33,31
MS (mg)	0,013 a	0,012 a	0,011 a	0,012	8,00
CP (cm)	9,33 a	8,20 a	9,10 a	8,86	11,49
pH 30 minutos	81 a	62 c	71 b	72	2,23
pH 60 minutos	82 a	73 b	71 b	75	11,69
pH 90 minutos	84 a	68 c	72 b	75	2,36
pH 120 minutos	83 a	72 c	78 b	77	2,01

Médias seguidas da mesma letra, nas linhas, não diferem entre si a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

TABELA 2. Coeficientes de correlação linear simples (r) entre as variáveis analisadas nos primeira contagem de germinação (PCG), germinação (G), comprimento de plântula (CP), matéria fresca (MF) e seca (MS), emergência de plântulas (EP) e pH do exsudato de sementes de salsa cultivar Portuguesa embebidas em quatro períodos (30; 60; 90 e 120 minutos), Catolé do Rocha-PB, 2019.

	PCG	G	CP	MF	MS	EP	pH30	pH60	pH90	pH120
PCG	1	0,95**	0,44 ^{ns}	0,62*	0,40 ^{ns}	0,95**	0,96**	0,27 ^{ns}	0,83**	-0,89**
G	-	1	0,49 ^{ns}	0,59 ^{ns}	0,48 ^{ns}	0,99**	0,97**	0,40 ^{ns}	0,94**	-0,94**
CP	-	-	1	0,17 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,45 ^{ns}	0,46 ^{ns}	-0,08 ^{ns}	0,39 ^{ns}	-0,63*
MF	-	-	-	1	0,29 ^{ns}	0,47 ^{ns}	0,50 ^{ns}	0,38 ^{ns}	0,50 ^{ns}	-0,42 ^{ns}
MS	-	-	-	-	1	0,40 ^{ns}	0,47 ^{ns}	0,49 ^{ns}	0,60*	-0,38 ^{ns}
EP	-	-	-	-	-	1	0,99**	0,33 ^{ns}	0,91**	-0,96**
pH30	-	-	-	-	-	-	1	0,32 ^{ns}	0,92**	-0,96**
pH60	-	-	-	-	-	-	-	1	0,59 ^{ns}	-0,31 ^{ns}
pH90	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-0,91**
pH120	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1

^{ns} Não significativo** Signficativo a 1% de probabilidade, * significativo a 5% de probabilidade.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos neste trabalho, que comprovam que o pH do exsudato de sementes de salsa Graúda Portuguesa embebidas por um período de 30 minutos é capaz de estimar a viabilidade e o vigor são importantes pois segundo Fessel et al. (2010) a rapidez na avaliação da qualidade das sementes contribui para as decisões nas etapas finais da produção e durante o armazenamento e a comercialização das mesmas, especialmente quando é possível optar pelo uso de testes rápidos, além do teste de germinação.

REFERÊNCIAS

AMARAL, A.S.; PESKE, S.T. pH do exsudato para estimar, em 30 minutos, a viabilidade de sementes de soja. *Revista Brasileira de Sementes*, Brasília, v.6, n.3, p. 85-92, 1984.

AMARAL, A.S. ; PESKE, S.T. Testes para avaliação rápida da qualidade fisiológica de sementes de trigo. *Revista Brasileira de Agrociência*, v.6 no.1 12-15. Jan-abr, 2000.

ARAÚJO, A. M. Estudo do tempo de embebição utilizado na técnica de pH de exsudato para a verificação de viabilidade de sementes de *Acacia polyphylla* DC. Universidade de Brasília - Trabalho de conclusão de curso, 26 p, 2009.

BERTATTI, R. Desempenho de cultivares de salsa, no verão, com e sem cobertura de solo, em casa de vegetação. 2002. 31f. Monografia (Trabalho de Graduação em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2002.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Regras para análise de sementes / Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. – Brasília : Mapa/ACS, 2009. 399 p.

CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. Sementes: ciência, tecnologia e produção. 5.ed. Jaboticabal: Funep, 2012.

DELOUCHE, J. C.; BASKIN, C. C. Accelerated aging techniques for predicting the relative storability of seed lots. *Seed Science and Technology*, Zurich, v. 1, n. 2, p. 427-452, 1973.

FERNANDES, E.J.; SADER, R. ; CARVALHO, N.M. Viabilidade de sementes de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) estimada pelo pH do exsudato. In: Congresso Brasileiro de sementes, 5, Gramado, 1987. Anais. Brasília: ABRATES, 1987. p.80.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 35, n.6, p. 1039-1042, 2011.

FESSEL, S.A.; PANOBIANCO, M.; SOUZA, C.R.; VIEIRA, R.D. Teste de condutividade elétrica em sementes de soja armazenadas sob diferentes temperaturas. *Bragantia*, v.69, n.1, p.207-214, 2010. Disponível em:< <http://www.scielo.br/brag/v69n1/26.pdf> >, acesso em: maio de 2019.

FILGUEIRA, F.A.R. Novo manual de olericultura. Agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. Viçosa: UFV, 2003, 412p.

GALLO, C., ARANGO, M. , CRAVIOTTO, R.. 2012. Prueba colorimétrica de pH del exudado de semillas para la evaluación de vigor en simientes de arveja (*Pisum sativum* L.). *INTA*.10 p.

KIKUTI, A.L.P. MARCOS FILHO, J. Vigor de sementes de rabanete e o desempenho de plantas em campo. *Revista Brasileira de Sementes*, Pelotas, v.28, n3, p.44-51, 2007.

LEAL,C.C.P.; TORRES,S.B.; NOGUEIRA,N.W. ; TOMCZAK, V.E. ; BENEDITO, C.P. Validação de testes de vigor para sementes de rúcula (*Eruca sativa* L.). *Revista brasileira Biociência*., Porto Alegre, v. 10, n. 3, p. 421-424, jul./set. 2012

LOPES, M.M., SILVA, C.B., VIEIRA, R.D. Physiological potential of eggplant seeds. *Journal of Seed Science*, v.35, n.2, p. 225-230, 2013.

MARCOS FILHO, J.; CICERO, S.M.; SILVA, W.R. Avaliação da qualidade das sementes. Piracicaba: FEALQ, 1987. 230p.

MARCOS FILHO, J. Fisiologia de sementes de plantas cultivadas. Piracicaba: FEALQ, 2005. 495p.

MATHIAS, J. Como plantar salsinha. Disponível em: <<https://revistagloborural.globo.com/vida-na-fazenda/como-plantar/noticia/2018/11/salsinha.html>> acesso em: 25/06/2019.

MCKERSIE, B. D.; STINSON, R. H. Effect of dehydration on leachate and membrane structure in *Lotus comiculatus* L. seeds. *Plant Physiology*, v.66, n.2, p.316-320. 1980.

MATTHEWS, S. Controlled deterioration: A new vigour test for crop seeds. In: HABBLETHWAITE, P.D. Seed production. London: Butterworths. 1980. p.647-660.

MENEZES, L. M. On line. 2013. Testes rápidos para avaliação da qualidade das sementes. Sementes. Universidade Federal de Santa Maria. Centro de Ciências Rurais, UFSM. Disponível em: <<http://coral.ufsm.br/sementes/trapidos.htm>>. Acessado em: 15 de junho de 2019.

MURCIA, M. L.; CROVO, V. E.; CLEMENTE, N. L. Prueba colorimétrica de pH de exudados para la evaluación de la calidad de semillas de arveja (*Pisum sativum*) de la zona hortícola de Mar del Plata. *Revista Faculdade Agronomia*. V. 117 ,n.1, p. 171-174, 2018.

PESKE, S.T.; AMARAL, A.S. Prediction of the germination of soybean seeds by measurement of the pH of seed exudates. *Seed Sci. Technol*, N.14, V.1:P.151-156, 1986.

RAMOS, K. M. O.; MATOS, J. M. M.; MARTINS, R. C. C.; MARTINS, I. S. "Electrical Conductivity Testing as Applied to the Assessment of Freshly Collected *Kielmeyera coriacea* Mart. Seeds," *ISRN Agronomy*, vol. 2012, Article ID 378139, 2012, 5p.

RECH, E.G., VILLELA, F.A. TILLMANN, M.A. A. Avaliação rápida da qualidade fisiológica de sementes de ervilha. *Revista Brasileira de Sementes*, v. 21, nº 2, p.1-9, 1999.

SANTANA, D. C.; VIEIRA, M. G. G. C.; CARVALHO, M. L. M.; OLIVEIRA, M. S. Teste do pH do exsudato-fenoltaleína para rápida definição sobre o destino de lotes de sementes de milho. *Revista Brasileira de Sementes*, Londrina-PR, v. 20, n. 1, p. 160-166, 1998.

STEFANELLO, R. Avaliação da qualidade de sementes de espécies medicinais. Universidade Federal de Santa Maria. 2014. Disponível em:<<http://coral.ufsm.br/sementes/index.php/component/content/article/2-uncategorised/11avaliacao-da-qualidade-de-sementes-e-especies-medicinais>>. Acesso em: 28 maio. 2019.

THEODORO ,J. V. C.; CARDOSO, F. B.; REGO,C. H. Q.; CÂNDIDO,V.A da S. ,A.C. ALVES ,C. Z.T. Teste do pH do exsudato e alagamento para avaliar a qualidade fisiológica de sementes de soja, *Revista Caatinga*, Mossoró, v. 31, n. 3, p. 667 – 673, jul. – set., 2018.

VIEIRA ,D.F.A. 2010. Catálogo Brasileiro de Hortaliças: Saiba como plantar e aproveitar 50 das espécies mais comercializadas no país. Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (Sebrae) e Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária(Embrapa - Hortaliças) Brasília-DF.

Capítulo 5



10.37423/240509046

DESENVOLVIMENTO DE MUDAS DE MAMOEIRO “SOLO” UTILIZANDO SUBSTRATO COMPOSTO DE SOLO, AREIA E ESTERCO BOVINO

JOSE MATHEUS CORDEIRO DOS SANTOS

*Universidade Federal Rural de Pernambuco -
Unidade Acadêmica de Serra Talhada*

ELMA MACHADO ATAÍDE

*Universidade Federal Rural de Pernambuco -
Unidade Acadêmica de Serra Talhada*

ASHELLEY MARQUES RODRIGUES

*Universidade Federal Rural de Pernambuco -
Unidade Acadêmica de Serra Talhada*



Resumo: O mamoeiro é uma fruteira tropical de grande importância no Brasil, principalmente para a agricultura familiar. Portanto, estudos que promovam a qualidade de mudas de mamoeiro são importantes para obter pomar produtivo e frutos que atendam tanto o consumo *in natura*, como para o processamento, já que os resultados divulgados por alguns autores são inconsistentes, especialmente para atender agricultores familiar. Face ao exposto, objetivou-se neste trabalho avaliar o desenvolvimento de mudas de mamoeiro “Solo” conduzidas no substrato composto de solo, areia e esterco bovino. O trabalho foi conduzido em viveiro telado, com 50% de sombreamento, com mudas produzidas em sacolas plásticas, com dimensão de 10 x 15 cm, utilizando o substrato composto por solo, areia lavada e esterco bovino curtido, na proporção (1:1:1). O crescimento das mudas de mamoeiro foi realizado quando as plantas atingiram altura média de quatro a seis centímetros após a semeadura, seguido de mensurações a intervalos de sete dias das seguintes variáveis: altura da planta (cm), diâmetro do caule (mm) e número de folhas. Os dados coletados foram tabelados calculando-se as médias de cada repetição, as quais foram avaliadas por meio dos parâmetros estatísticos descritivos referente aos seus desvios-padrão e coeficientes de variação, além da criação de gráficos utilizando-se o programa Microsoft Excel 2016. Com base nos resultados, observa-se que o substrato composto de solo, areia e esterco bovino na proporção 1:1:1 proporcionou bom desenvolvimento vegetativo de mudas de mamoeiro “Solo”, o que favorece menor custo para produção de mudas pelos agricultores familiar, sendo excelente opção para o cultivo do mamoeiro para pequenos agricultores, com vista a diversificação e maior renda familiar.

Palavras-chave: *Carica papaya* L., mamão, crescimento vegetativo.

1. INTRODUÇÃO

O mamoeiro (*Caricacapaya L.*) é uma fruteira tropical de grande importância socioeconômica no Brasil. Cultivado em vários países tropicais e muitas regiões subtropicais do mundo (DANTAS et al., 2013). No entanto, a maior produção é observada em regiões com temperaturas médias mais elevadas, por favorecer crescimento rápido, e com melhor qualidade (NETO, E. D., 2007).

O mamão é uma das principais frutas cultivadas, consumidas e exportadas pelo Brasil, se destacando como o segundo maior produtor mundial (LUCENA et al., 2021), com produção de aproximadamente 1.107.761 toneladas, com rendimento de 41,91 kg.ha⁻¹, em área de 26.431 hectares, com valor médio de produção de 2,4 milhões de reais, sendo o estado do Espírito Santo o maior produtor (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, 2023).

Essa cultura demanda mão de obra durante o ano todo, já que os tratos culturais, colheita e a comercialização são realizadas de maneira contínua durante o ano, além de os plantios serem renovados a cada dois ou três anos, contribuindo com a permanência do homem no campo e a redução do êxodo rural (DANTAS et al., 2013). Os frutos são bastantes usados em dietas alimentares, por ser uma excelente fonte de cálcio, pró-vitamina A e vitamina C (ácido ascórbico) (SERRANO; CATTANEO, 2010).

Esta cultura quando manejada sobre os princípios das boas práticas agrícolas, com muda de qualidade tem alta rentabilidade quando comparada com outras culturas tradicionais. Portanto, é uma excelente opção de atividade econômica para pequenos e médios produtores (GRÓBERIO, 2022), especialmente da agricultura familiar do semiárido pernambucano, que possui condições climáticas favoráveis ao cultivo.

Dentre os diversos fatores que afetam a produção de mudas, os mais importantes correspondem aos substratos, os quais podem ocasionar desde irregularidade de germinação, a má formação das plantas e a deficiência ou excesso de alguns nutrientes (MESQUITA et al., 2012).

A qualidade da muda é fundamental para a implantação de um pomar produtivo e com maior vida útil. Portanto, a utilização de substrato com boa composição química e orgânica é importante, já que influencia o estado nutricional das mudas (BORGES et al., 1995). A matéria orgânica presente no substrato é um dos fatores que influenciam na absorção de nutrientes pelas plantas (YAMANISHI, 2004).

Aliado à qualidade das mudas, o pequeno produtor constantemente tem a necessidade de reduzir os custos de produção da sua lavoura, visando aumentar a renda familiar. Para tanto, trabalhos vêm sendo realizados com a finalidade de aproveitar material disponível regionalmente, para compor o substrato para a formação de mudas para reduzir o uso de substratos comerciais (SILVA et al., 2000). Áreas cultivadas têm sido incrementadas com novos agricultores orgânicos em diferentes regiões do Brasil, visando agregar valor aos produtos e incrementar a renda familiar.

Diante do exposto, objetivou-se neste trabalho avaliar o desenvolvimento de mudas de mamoeiro “Solo” utilizando o substrato composto de solo, areia e esterco bovino.

2. METODOLOGIA

O trabalho foi conduzido em viveiro telado, com 50% de sombreamento, na Universidade Federal Rural de Pernambuco da Unidade Acadêmica de Serra Talhada, município de Serra Talhada, PE, situada no Sertão Pernambucano, Alto do Pajeú. A região localiza-se nas coordenadas geográficas a 07°59'31" de latitude Sul e 38°17'54" de longitude a Oeste de Greenwich e altitude de 530 m. O clima é tropical seco, precipitação de 642 mm, com temperatura média anual de 20,1°C a 32°C e umidade relativa de 63%.

Para a produção das mudas foram utilizadas sementes de mamoeiro “Solo”. As mudas foram produzidas em sacolas plásticas, com dimensão de 10 x 15 cm, utilizando substrato composto de solo + areia lavada + esterco bovino curtido (1:1:1). Com semeadura de uma semente por sacola, na profundidade de 1,0 cm no substrato. As sacolas ficaram acondicionadas no viveiro telado e a irrigação realizada diariamente.

As análises de crescimento de mamoeiros “Solo” foram realizadas quando as plantas alcançaram altura média de quatro a seis centímetros, com avaliação das seguintes características: altura da planta, obtido da medição tomando como base a distância entre a superfície do solo e o ápice da planta, aferido com régua graduada e expresso em centímetro (cm), diâmetro do caule, aferido com paquímetro na altura a dois centímetros acima do colo da planta e o número de folhas, obtidas por meio da contagem individual por planta a partir da folha basal até a última folha aberta.

Os dados obtidos foram então tabelados e calcularam-se as médias para cada característica mensurada, as quais foram avaliadas por meio dos parâmetros estatísticos descritivos referentes aos seus desvios-padrão e coeficientes de variação, além da criação de gráficos utilizando-se o programa Microsoft Excel 2016.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO RETIRAR O R

Considerando o desenvolvimento das mudras de mamoeiro “Solo” conduzidas no substrato composto de solo, areia e esterco bovino na proporção 1:1:1, observa-se bom crescimento vegetativo das plantas, com médias atingidas e os respectivos desvios padrões, tanto para as variáveis de altura de plantas, diâmetro do caule e número de folhas. Através do coeficiente de variação verifica-se homogeneidade de crescimento das mesmas, mantendo-se um padrão entre as variáveis analisadas (Tabela 1).

TABELA 1. Médias, desvios-padrão e coeficientes de variação dos dados de desenvolvimento de mudras de mamoeiro Solo avaliados aos 0, 7, 14, 21, 28, 35 e 42 dias conduzidas no substrato composto de solo, areia e esterco. Serra Talhada-PE. 2024.

Fonte de variação	AP	DC	NF
Desvio padrão	11,39 ± 3,97	2,92 ± 0,61	6,71 ± 1,61
Média	11,39	2,92	6,71
CV (%)	34,86	20,91	23,96

AP= Altura da planta; DC= Diâmetro do caule; NF= Número de folhas.

Quando analisada a altura das mudras de mamoeiro, aos 0 dias no substrato composto de solo + areia lavada e esterco bovino curtido (1:1:1), observa-se altura média das plantas de 5,97 cm, com crescimento uniforme durante todo o período avaliado, atingindo altura média de 17,88 cm, aos 42 dias após o início das avaliações (Figura 2). Os dados obtidos foram superiores aos encontrados por (FERREIRA et al., 2015), utilizando o substrato composto de solo, areia e esterco, acrescido de adubação com fósforo e potássio na produção de mudras de mamoeiro.



Figura 2. Altura de mudras de mamoeiro “Solo” avaliada aos 0, 7, 14, 21, 28, 35 e 42 dias conduzidas no substrato composto por solo, areia e esterco bovino. Serra Talhada-PE, 2024.

Em relação ao diâmetro do caule, inicialmente as mudas de mamoeiro apresentaram média de 2,18 mm, mantendo-se crescimento constante de espessura durante o período analisado, e ao final da avaliação obtiveram média de 3,89 mm (Figura 3). De acordo com trabalho realizado por (FRANCISCO et al., 2011), a matéria orgânica influencia positivamente o diâmetro das plantas de mamoeiro “Sunrise” favorecendo o desenvolvimento e proporcionando mudas com maior vigor para pegamento no campo.

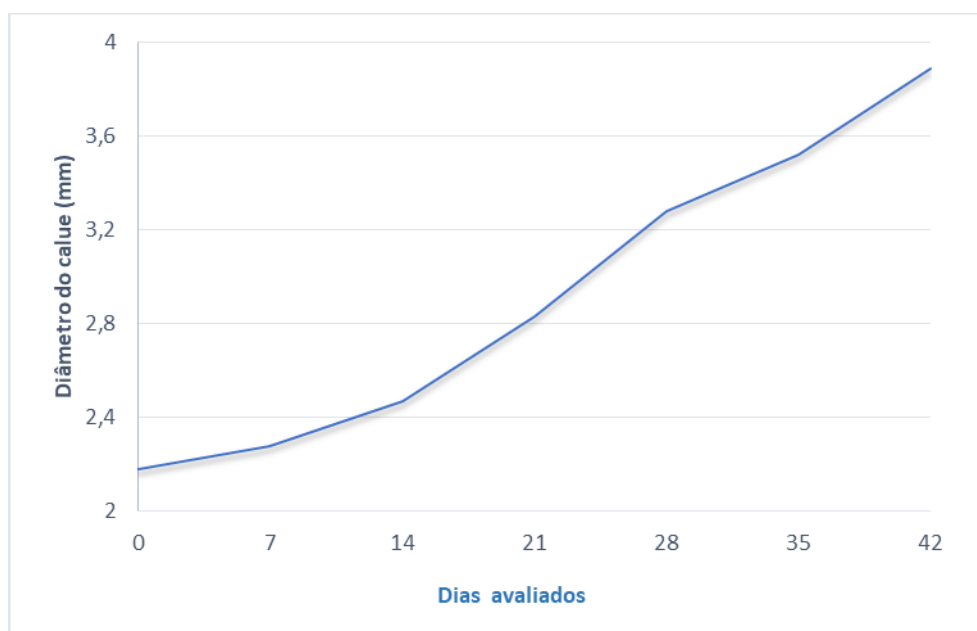


Figura 3. Diâmetro de caule de mamoeiro Solo avaliados aos 0, 7, 14, 21, 28, 35 e 42 dias conduzidas no substrato composto por solo, areia e esterco bovino. Serra Talhada-PE, 2024.

Quanto ao número de folhas, observa-se aumento constante quando analisadas até os 35 dias de avaliação, com médias de 7,7, 8,61 e 8,15 número de folhas, aos 28, 35 e 42 dias, respectivamente. A menor média observada na última avaliação podendo ser devido a senescência das folhas basal das mudas.

Mendonça et al. (2007) reportam quena produção de mudas de mamoeiro “Formosa”, a característica número de folhas apresentou maior média (8,99) quando utilizado o substrato com maior proporção de esterco bovino, ou seja, matéria orgânica (40%).

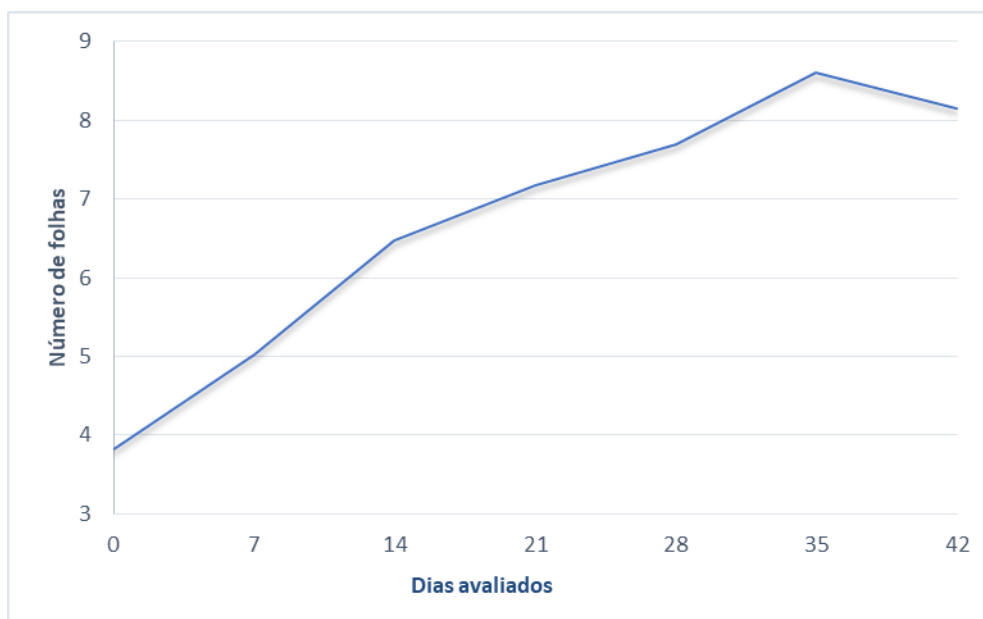


Figura 4. Número de folhas de mamoeiro Solo avaliados aos 0, 7, 14, 21, 28, 35 e 42 dias conduzidos no substrato composto por solo, areia e esterco bovino. Serra Talhada-PE, 2024.

4. CONCLUSÃO

O substrato composto de solo, areia e esterco bovino na proporção (1:1:1) proporciona bom desenvolvimento vegetativo de mudas de mamoeiro “Solo”, o que favorece menor custo para produção de mudas pelos agricultores familiar, torna-se uma opção promissora o cultivo do mamoeiro para pequenos fruticultores do semiárido pernambucano, com vista a diversificação e geração de renda, especialmente a agricultura familiar.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BORGES, A.L.; LIMA, A.; CALDAS, R.C. Adubação orgânica e química na formação de mudas de maracujazeiros. Revista Brasileira de Fruticultura, Cruz das Almas, v.17, n.2, p.17-22, .1995.

DANTAS, J. L L.; JUNGHANS, D. T.; LIMA, J. F. O produtor pergunta, a Embrapa responde. Brasília, DF: Embrapa, v. 2013. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/101792/1/500perguntasmamao.pdf>

FERREIRA, H. S.; RODRIGUES, J. F. Diferentes combinações de substratos na produção de mudas de mamoeiro. Acta Iguazu, v. 4, n. 3, p. 106-115, 2015.

FRANCISCO, M.G.S et al. Substratos e recipientes na produção de mudas de mamoeiro ‘Sunrise Solo’. Agrarian, v. 3, n. 10, p. 267-274, 2010. Disponível em: <https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/agrarian/article/view/715>.

GROBÉRIO, R. B. C. Desenvolvimento de mudas de mamão em diferentes tamanhos de recipientes após o período ideal de plantio. 2022. 23 f. Monografia (Graduação em Agronomia) - Instituto Federal do Espírito Santo, Santa Teresa, 2022.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Produção de mamão, 2023. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/mamao/br>.

MANICA, I. MARTINS, D.S.; VENTURA, J.A. Cultivares e melhoramentos. Mamão: Tecnologia de produção pós-colheita, exportação, mercados. Porto Alegre: Cinco continentes, 2006.p.49-82.

MESQUITA, E. F. et al. Produção de mudas de mamoeiro em função de substratos contendo esterco bovino e volumes de recipientes. Revista Brasileira de Ciências Agrárias, v. 7, n. 1, p. 58-65, 2012.

NETO, E. D. Papaya response to different irrigation depths, microirrigation systems and soil management used in Northern Espírito Santo. 2007. 149f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

OLIVEIRA, A.M.G.; FILHO, P. E.M. A cultura do mamoeiro. Brasília, DF : Embrapa, 2021. PDF (426 p.) Disponível em: A-CULTURA-MAMOEIRO-ed01-2021-Final-1-1.pdf

SERRANO, L. A. L.; CATTANEO, L. F. O cultivo do mamoeiro no Brasil. Revista Brasileira de Fruticultura, v. 32, n. 3, 2010. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbf/a/WygSFL3MxNwHTZ4sSp4yHP/?format=html&stop=previous>.

SILVA A. C. R; FERNANDES H. S; MARTINS S. R; SILVA J. B; SCHIEDECK G; ARMAS E. 2000. Produção de mudas de alface com vermicompostos em diferentes tipos de bandeja. In: 40º Congresso Brasileiro de Olericultura, Horticultura Brasileira 18: 512-523.

SOARES, N.B.FAHL, J.I.; CAMARGO, M.B.P.; PIZZINATTO, M.A.; BETTI, J.A.; MELO, A.M.T.; MARIA, I.C. de; FURLANI, A.M.C. Mamão Caricapapaya L. Instruções agrícolas para as principais culturas econômicas. Campinas: IAC, 1998. p. 137-138. (Boletim, 200).

YAMANISHI, O.K.; FAGUNTES, G. R.; FILHO, J. A. M.; VALONE, G. V. Efeito de diferentes substratos e duas formas de adubação na produção de mudas de mamoeiro. Revista Brasileira de Fruticultura, v. 26, p. 276-279, 2004.

Capítulo 6



10.37423/240609060

BIOMETRIA EM CANA-PLANTA E CANA-SOCA

Renato Frederico dos Santos

Universidade Estadual de Maringá

Hugo Zeni Neto

Universidade Estadual de Maringá

Lia Mara Moterle

Universidade Estadual de Maringá

Joseli Cristina da Silva

Universidade Estadual de Maringá



Resumo: Os programas de melhoramento de cana-de-açúcar, em sua maioria, envolvem processos seletivos de genótipos superiores. O comportamento de genótipos em diferentes anos agrícolas deve ser criteriosamente avaliado para se obter maior eficiência nos processos de seleção. O presente trabalho teve por objetivo estudar a biometria da cana-de-açúcar em cana-planta e cana-soca, nas safras 2018/19 e 2019/20. Nesse sentido, foram conduzidos dois experimentos em blocos casualizados, com quatro repetições. Em cada experimento foram testados quatro genótipos: A - RB946015xRB936109, B - CTC-9xRB965518, C - RB911530xRB036088 e D - RB986960xRB986952, por meio da análise de ^oBrix, diâmetro de colmo, altura do colmo principal e TCH. Os resultados possibilitaram concluir que a produtividade dos genótipos foi mais elevada em cana-soca. O genótipo D (RB986960xRB986952) superou os demais em estatura e TCH, em cana-soca.

Palavras-chave: Cana-de-açúcar; Estatura; Genótipos; TCH.

1 INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar é uma das culturas mais importantes para a economia brasileira, figurando como uma fonte de divisas para o país. Possui importância fundamental como fonte de carboidratos para alimentação e, também, é responsável por suprir aproximadamente 15% da energia produzida no Brasil (ÚNICA, 2021). Esse cenário é decorrente do avanço das novas tecnologias e do melhoramento genético da cultura.

A criação de novas variedades nos processos de melhoramento de cana-de-açúcar atende a seus fins produzindo genótipos com alto potencial produtivo. A necessidade de novas variedades deve-se à vida relativamente curta das mais utilizadas (BRIEGER, 1978), em função do “declínio varietal”, decorrente, sobretudo, da disseminação de doenças durante a propagação vegetativa.

O objetivo dos programas de melhoramento genético é o de identificar, selecionar e multiplicar o genótipo superior de uma população, de forma que este venha a ser cultivado pelos agricultores, isto é, tornar-se uma variedade (SANTOS, 2008).

Durante as etapas do melhoramento, interações entre genótipos e ambientes e comportamento em diferentes anos agrícolas devem ser criteriosamente avaliados para se obter maior eficiência nos processos de seleção.

Nesse sentido, o objetivo do presente trabalho foi estudar a biometria da cana-de-açúcar, em cana-planta e cana-soca, safras 2018/19 e 2019/20.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Foram conduzidos dois experimentos, em ciclo de cana-planta e cana-soca, no Centro Técnico de Irrigação – CTI no município de Maringá, Estado do Paraná, coordenadas geográficas latitude 23° 11' S e longitude 52° 03' W, e altitude 380 m. O clima da região é do tipo Cfa, de acordo com a classificação de Köppen. O solo da área experimental é classificado como um Latossolo Vermelho distroférico (EMBRAPA, 1999).

Os experimentos foram conduzidos no delineamento experimental em blocos casualizados, com quatro repetições. Foram testados quatro genótipos: A - RB946015xRB936109, B - CTC-9xRB965518, C - RB911530xRB036088 e D -

RB986960xRB986952, de cana-de-açúcar. As parcelas foram compostas por cinco linhas de cinco metros de comprimento com espaçamento na entre linha de 1,50 m, totalizando uma área total de 37,5 m².

A coleta dos dados foi proveniente das três linhas centrais de cada parcela. As variáveis analisadas em plantas individuais foram:

- a) °Brix: tomado por meio de um refratômetro de campo no quarto internódio;
- b) Diâmetro do colmo principal: tomado por meio de paquímetro no quarto internódio;
- c) Altura do colmo principal: tomada a partir da base do colmo até o primeiro “dewlap” visível;
- d) TCH: obtida pelo número de canas por metro x massa de um colmo x fator espaçamento.

Os dados de cada experimento foram inicialmente submetidos à análise de variância individual e, após, procede-se a análise conjunta. As medias foram comparadas pelo teste de Newman-Keuls, em nível de 5% de probabilidade.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O grau Brix não diferiu significativamente entre os genótipos avaliados em ambas as safras (Tabela 1). Todavia, houve diferença estatística para o genótipo A.

Tabela 1: Resultados médios de °Brix e diâmetro do colmo de quatro genótipos em cana-planta e cana-soca, Maringá, Estado do Paraná, Safras 2018/19 e 2019/20.

Genótipos	°Brix			Diâmetro (mm)	
	Cana-planta	Cana-soca	Médias	Cana-planta	Cana-soca
A-RB946015xRB936109	21,7 B	24,9 A	23,3 a	25,3 a	19,3 b
B-CTC-9xRB965518	22,5 A	23,4 A	23,0 a	24,4 a	26,5 a
C-RB911530xRB036088	23,8 A	24,8 A	24,3 a	29,4 a	29,6 a
D-RB986960xRB986952	23,4 A	22,2 A	22,8 a	22,5 a	28,6 a
Médias				25,4 A	25,9 A

Médias seguidas de letras, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste F e de Newman-Keuls, respectivamente, em nível de 5% de probabilidade.

Para a variável diâmetro do colmo os resultados foram diferentes aos observados para °Brix (Tabela 1). Não foi observada diferença entre as safras para nenhum genótipo, entretanto em cana planta o genótipo A foi o que apresentou o pior resultado de diâmetro.

Em relação à altura do colmo, na comparação das safras, o genótipo D, foi o único que apresentou diferença significativa (Tabela 2).

Tabela 2: Resultados médios de altura do colmo e TCH de quatro genótipos em cana-planta e cana-soca, Maringá, Estado do Paraná, Safras 2018/19 e 2019/20.

Genótipos	Altura (cm)		TCH	
	Cana-planta	Cana-soca	Cana-planta	Cana-soca
A-RB946015xRB936109	2,3 Ab	2,3 Aa	131,721 Bb	183,400 Ab
B-CTC-9xRB965518	3,0 Aa	2,8 Aa	98,000 Ac	100,680 Ac
C-RB911530xRB036088	3,3 Aa	2,9 Aa	206,988 Ba	269,458 Aa
D-RB986960xRB986952	2,1 Bb	3,0 Aa	130,704 Bb	277,884 Aa

Médias seguidas de letras, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste F e de Newman-Keuls, respectivamente, em nível de 5% de probabilidade.

Os melhores resultados de produtividade foram alcançados para os genótipos C, em cana-planta, e C e D, em cana-soca. E, com exceção do genótipo B, todos os outros genótipos foram significativamente mais produtivos na segunda safra, ou seja, em cana- soca.

4 CONCLUSÕES

A produtividade dos genótipos foi mais elevada em cana-soca.

O genótipo D (RB986960xRB986952) superou os demais em estatura e TCH, em cana-soca.

REFERÊNCIAS

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE- AÇÚCAR – ÚNICA. Setor sucroenergético – Histórico. Disponível em: <http://www.unica.br/contente/default.asp?cchCode>. Acesso em: 28 jul. 2021.

BRIEGER, F. Situação do melhoramento da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo. In: 50 anos da Estação Experimental de Piracicaba. Campinas, Instituto Agrônômico, 1978. 82p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília, 1999. p. 412.

SANTOS, A. C. A. Avaliação de genótipos de cana-de-açúcar para as condições edafoclimáticas de Aparecida do Taboado – MS. 2008. 90 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Ilha Solteira, 2008. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/98917/santos_aca_me_ilha.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 20 jul. 2021.

CIÊNCIAS AGRÁRIAS: ESTUDOS FUNDAMENTAIS

VOLUME X



conhecimentolivre.org/home



contato@conhecimentolivre.org



[editoraconhecimentolivre](#)



EDITORA CONHECIMENTO LIVRE