



# CIÊNCIAS RURAIS

## NO SÉCULO XXI

**EZEQUIEL REDIN**  
(ORGANIZADOR)



Editora Poisson

VOLUME

**3**

Ezequiel Redin  
(Organizador)

# Ciências Rurais no Século XXI

## Volume 3

1ª Edição

Belo Horizonte  
Poisson  
2024

**Editor Chefe:** Dr. Darly Fernando Andrade

**Conselho Editorial**

Dr. Antônio Artur de Souza – Universidade Federal de Minas Gerais

MSc. Davilson Eduardo Andrade

Dra. Elizângela de Jesus Oliveira – Universidade Federal do Amazonas

MSc. Fabiane dos Santos

Dr. José Eduardo Ferreira Lopes – Universidade Federal de Uberlândia

Dr. Otaviano Francisco Neves – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais

Dr. Luiz Cláudio de Lima – Universidade FUMEC

Dr. Nelson Ferreira Filho – Faculdades Kennedy

MSc. Valdiney Alves de Oliveira – Universidade Federal de Uberlândia

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

C569

Ciências Rurais no Século XXI – Volume 3

Organização: Ezequiel Redin – Belo

Horizonte – MG: Editora Poisson, 2024

Formato: PDF

ISBN: 978-65-5866-466-6

DOI: 10.36229/978-65-5866-466-6

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

1. Agricultura 2. Meio Ambiente  
3. Zootecnia 4. Ciências Agrárias I. REDIN,  
Ezequiel II. Título.

CDD-620

Sônia Márcia Soares de Moura – CRB 6/1896



O conteúdo deste livro está licenciado sob a Licença de Atribuição Creative Commons 4.0.

Com ela é permitido compartilhar o livro, devendo ser dado o devido crédito, não podendo ser utilizado para fins comerciais e nem ser alterado.

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos seus respectivos autores.

Esse e outros títulos podem ser baixados gratuitamente em [www.poisson.com.br](http://www.poisson.com.br)

Entre em contato pelo [contato@poisson.com.br](mailto:contato@poisson.com.br)

# SUMÁRIO

**Capítulo 1:** Vitivinicultura: aspectos gerais e importância econômica ..... 06

Carlos Roberto Silva de Oliveira, Francismery Barros da Silva, Vitória Ramos Cruz da Silva, Marcos Andrei Custodio da Cunha, Luana da Luz Nascimento, Antônio Francisco de Mendonça Junior, Patrícia Coelho de Souza Leão

**DOI:** 10.36229/978-65-5866-466-6.CAP.01

**Capítulo 2:** Análise da estrutura e das condições do ambiente de trabalho de uma fabriqueta de queijo, no Município de Nossa Senhora da Glória/SE (estudo de caso) 14

Tarsizio da Silva Santos, João Henrique Jesus Almeida, Douglas Romeu da Costa, Jorge Antônio Vieira Gonçalves, Thiago Herbert Santos Oliveira, Wendel de Melo Massaranduba

**DOI:** 10.36229/978-65-5866-466-6.CAP.02

**Capítulo 3:** Valorização e aplicação dos subprodutos do leite – soro do leite e leiteiro: a review ..... 35

Caroline Crivelaro de Oliveira, Emilly Brito Ferreira, Kethleen Brito Ferreira, Julie Suzan da Silva, Tayane Siqueira Garcia Alves, Elayne dos Santos Araújo, Mirya Bezerra Viana Marinho, Alaiana Marinho Franco, Pither Jhoel Javier Sucari, Yesenia Milagros Turpo Mamani, Angelica Marquetotti Salcedo Vieira

**DOI:** 10.36229/978-65-5866-466-6.CAP.03

**Capítulo 4:** Estratégias de rotação de fungicidas para controle de doenças e maximizar a produtividade da soja ..... 46

Guilherme Mosena de Sousa, Edson Trindade da Silva Sá, Francisco Italo Ferreira Fernandes, Camilo José Rodrigues Dalbó, João Antonio Barbosa Silva, Gleina Costa Silva Alves, Melina Korres Raimundi, Erica Fernandes Leão Araújo, Jakelinny Martins Silva, Milton Luiz da Paz-Lima

**DOI:** 10.36229/978-65-5866-466-6.CAP.04

**Capítulo 5 :** Resposta da *Brachiaria ruziziensis* cultivadas em colunas de solo arenoso sob diferentes doses de manipueira ..... 56

Edmilson Cesar Bortoletto, Daniele de Souza Terassi, Daniela D’Orazio Bortoluzzi

**DOI:** 10.36229/978-65-5866-466-6.CAP.05

**Capítulo 6:** Preferência alimentar da *Rhyzopertha dominica* (coleoptera: bostrichidae) por arroz e subprodutos ..... 62

Enrique Irala Lopes, Thais Viana Fonseca, Marcos Speroni Ceron, Bruno Neutzling Fraga

**DOI:** 10.36229/978-65-5866-466-6.CAP.06

# SUMÁRIO

**Capítulo 7:** Sensibilidade de isolados de *Fusarium spp.* causadores da morte-súbita-da-soja a fluxapirroxade+piraclostrobina..... 71

Debora Janine Silva Gonçalves, Melina Korres Raimundi, Francisco Italo Ferreira Fernandes, Leidy Ximena Figueroa Cossio, Carlos Gabriel Xavier Dourado, Paolla Cardoso Borges Frazão, Ana Luiza da Silva Mendes, Gleina Costa Silva Alves, Erica Fernandes Leão Araújo, Milton Luiz da Paz Lima

**DOI:** 10.36229/978-65-5866-466-6.CAP.07

**Capítulo 8:** Uso do processo *wetland* com a macrófita *Canna indica* para tratamento do efluente de parboilização do arroz..... 84

Edmilson Cesar Bortoletto, Eduarda Neves Favarão, Daniela D’orazio Bortoluzzi

**DOI:** 10.36229/978-65-5866-466-6.CAP.08

**Capítulo 9:** Mineralogia e a adsorção de fósforo no solo: uma revisão..... 92

José Gabriel Freitas de Lima, Washington Luiz Cotrim Duete, Rozilda Vieira Oliveira, Júlio César Azevedo Nóbrega

**DOI:** 10.36229/978-65-5866-466-6.CAP.09

**Capítulo 10:** Adsorção de fósforo no solo e fatores que afetam o processo adsortivo: uma revisão ..... 101

José Gabriel Freitas de Lima, Washington Luiz Cotrim Duete, Rozilda Vieira Oliveira, Júlio César Azevedo Nóbrega

**DOI:** 10.36229/978-65-5866-466-6.CAP.10

**Autores**..... 115

# Capítulo 1

## *Vitivinicultura: aspectos gerais e importância econômica*

*Carlos Roberto Silva de Oliveira*

*Francismary Barros da Silva*

*Vitória Ramos Cruz da Silva*

*Marcos Andrei Custodio da Cunha*

*Luana da Luz Nascimento*

*Antônio Francisco de Mendonça Junior*

*Patrícia Coelho de Souza Leão*

**Resumo:** A viticultura é um dos cultivos de frutíferas mais rentáveis no mundo, devido ao alto valor de exportação, diversidade genética e rendimento das uvas. O cultivo da videira, desde a sua domesticação, foi realizado quase que exclusivamente em regiões de clima temperado. Os investimentos em pesquisas ao longo das últimas décadas possibilitaram a expansão do seu cultivo, tornando possível a produção de uvas em regiões com diferentes características edafoclimáticas. O objetivo desse capítulo é apresentar sobre os aspectos botânicos da videira e os fatores climáticos ideais para o seu cultivo; e enfatizar a importância da vitivinicultura na economia mundial e nacional.

**Palavras-chave:** Videira, *Vitis* spp., uva de mesa, vinho.

## 1. INTRODUÇÃO

A videira (*Vitis* spp.) é uma das fruteiras mais importantes do mundo em termos de valor econômico. Até pouco tempo acreditava-se que seu cultivo poderia ser realizado apenas em regiões de clima temperado, entretanto, dependendo da variedade, objetivo de cultivo (uvas para vinho, finas ou processamento), manejo e nível tecnológico empregado, é possível realizar o seu cultivo em diferentes condições edafoclimáticas (Walker et al., 2019). Sendo assim, é possível verificar o cultivo da videira em diferentes ambientes, desde regiões de clima temperado, semelhantes aos dos locais de origem, até aquelas que apresentam climas semiáridos e tropicais.

A uva é a terceira fruta *in natura* mais exportada do Brasil, sendo a região do Vale do Submédio São Francisco a maior produtora e exportadora de uvas de mesa do país (Embrapa, 2024). Diferentemente de outras culturas frutíferas, como por exemplo a maçã, a uva apresentou incrementos tanto na área nacional de cultivo quanto na produção entre 2020 e 2022, período marcado pela emergência de saúde pública causada pela pandemia de COVID-19 (Hortifruti, 2024). O reflexo positivo dessa não retração foi observado em 2023, com a exportação de uvas superando 73,5 mil toneladas, alcançando o valor recorde de exportação de US\$ 178,8 milhões (Abrafrutas, 2024).

A localização do Vale do Submédio São Francisco é a principal vantagem desta região vitivinícola, pois o clima tropical semiárido caracterizado pela alta incidência de radiação solar e temperaturas, favorece o crescimento vegetativo contínuo das videiras, as quais não passam por um período de dormência ou repouso. O comportamento fisiológico da videira, nestas condições, aliado à irrigação, manejo de podas, fertilidade do solo e escolha correta do porta-enxerto, permite a obtenção de altas produtividades (> 20 t/ha/safra) e realização de até cinco safras no período de dois anos (Leão, 2021).

Dessa forma, o objetivo desse trabalho é apresentar uma pesquisa bibliográfica sobre a cultura da videira, apresentando brevemente os aspectos gerais, relacionados à botânica e os fatores climáticos ideais para cultivo; e a relevância econômica da vitivinicultura mundial e nacional para economia.

## 2. ASPECTOS GERAIS DA CULTURA DA VIDEIRA

### 2.1. BOTÂNICA

A família botânica Vitaceae contém 17 gêneros e aproximadamente 1.000 espécies, é composta por arbustos ou lianas lenhosas que geralmente apresentam gavinhas opostas às folhas (Keller, 2015). O possível centro de origem dessa família é a Groelândia, onde a partir desse local foram formados três centros de dispersão distintos: Eurásia, Ásia e América (Giovannini, 2014). A domesticação ocorreu há cerca de quatro milênios no Mediterrâneo oriental e dois milênios na Europa Ocidental (Magris et al., 2021). Todas as espécies de uvas cultivadas pertencem ao gênero *Muscadinia* (Planch.) Small ( $2n = 40$ ) ou ao gênero *Vitis* L. ( $2n = 38$ ), e o cruzamento de espécies desses dois gêneros raramente produzem híbridos férteis (Keller, 2015).

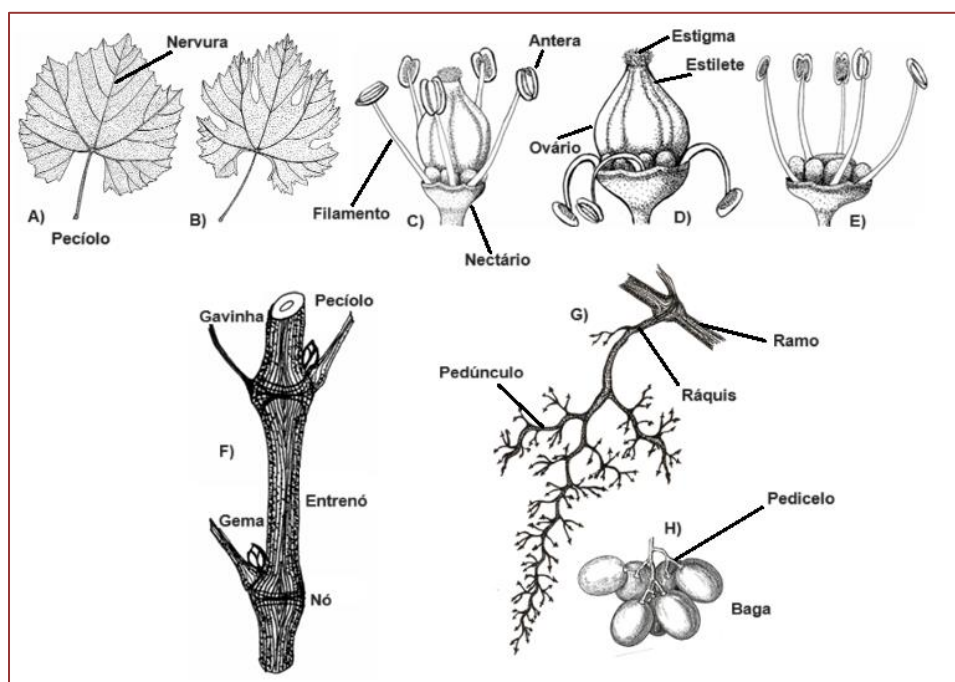
O gênero *Vitis* L. é o mais importante economicamente, compreendendo cerca de 70 espécies dispersas principalmente nos trópicos e subtropicais da Ásia e América do Norte (Wan et al., 2008). Mundialmente, as espécies de maior interesse são *Vitis labrusca* L. (videiras americanas), *Vitis vinifera* L. (videiras européias) e *Vitis* spp. (híbridos) (Albuquerque, 2003), porém outras espécies selvagens como *Vitis amurensis* Rupr. e *Vitis*

*rotundifolia* Michx. também são utilizadas na produção de uvas na Ásia e Estados Unidos (Péros et al., 2023). Embora as espécies de videiras americanas e europeias tenham estado geograficamente isoladas por mais de 20 milhões de anos, essas são capazes de facilmente cruzar para formar híbridos interespecíficos férteis, por esse motivo muitas das espécies conhecidas atualmente foram híbridos obtidos em condições naturais (Keller, 2015).

As videiras do gênero *Vitis* L. apresentam folhas alternas, simples, palminérveas, geralmente com duas estípulas em sua base (Souza; Lorenzi, 2019). Essas variam em tamanho, forma, cor, pilosidade e brilho; e apresentam ou não margens serradas, dependendo da espécie e cultivar (Giovannini, 2014). As gavinhas são inflorescências modificadas e surgem a partir dos nós dos sarmentos, são geralmente opostas às folhas e apresentam bifurcação (Keller, 2015). As inflorescências são do tipo racimo, terminal, axilar ou opostas às folhas; sendo comum a presença de duas por ramo, podendo raramente apresentar entre três e cinco. As flores apresentam cor verde, mas no momento da brotação podem se tornar rosadas; são geralmente pouco vistosas e possuem cinco sépalas e cinco pétalas soldadas entre si, formando uma caliptra (Souza; Lorenzi, 2019).

As espécies selvagens existentes do gênero *Vitis* L. são dióicas, apresentando plantas individuais com flores masculinas ou femininas imperfeitas, enquanto as variedades cultivadas apresentam predominantemente flores perfeitas (hermafroditas) (Keller, 2015). Por esse motivo, as variedades cultivadas apresentam sistema reprodutivo misto, podendo realizar tanto a autopolinização quanto a polinização cruzada. As diferenças entre os tipos de flores e demais estruturas da parte aérea da videira são apresentadas na Figura 1.

**Figura 1:** Principais estruturas e diferenças morfológicas entre folhas de videiras da variedade Chardonnay (A) e Merlot (B); flor hermafrodita (perfeita) de *Vitis* spp. (C), flor feminina (D) e flor masculina (E); estruturas presentes no ramo (F), cacho (G) e fruto (H)



Fonte: Adaptado de Keller (2015).

## 2.2. CLIMA

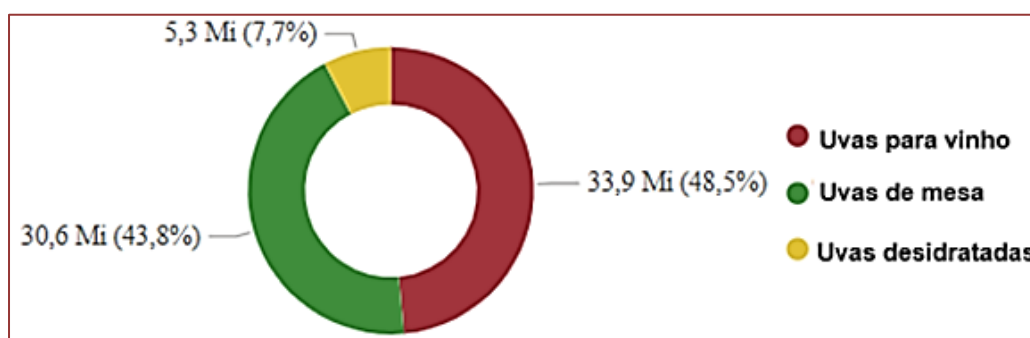
Em relação às condições climáticas ótimas para o cultivo da videira, a faixa ideal de temperatura média para realização da fotossíntese é entre 25 °C e 30 °C, abaixo ou acima desses valores ocorre um decréscimo na taxa fotossintética, cessando a fotossíntese em temperaturas menores que 10 °C e maiores que 45 °C (Giovannini, 2014). Durante o período vegetativo, a luminosidade necessária para o desenvolvimento vigoroso das plantas varia entre 1.200 e 1.400 horas de sol, valores que ocorrem em todas as regiões do país (Giovannini, 2014). A umidade relativa do ar ideal é entre 62% e 68%, semelhante àquelas encontradas no Nordeste brasileiro (Soares; Leão, 2009). Normalmente, a necessidade hídrica da videira varia entre 600 e 900 mm de água por ciclo produtivo, podendo ser consumido até 1.200 mm, dependendo do clima, vigor e fenologia da variedade (FAO, 2024a).

## 3. IMPORTÂNCIA ECONÔMICA DA VITIVINICULTURA

### 3.1. IMPORTÂNCIA MUNDIAL

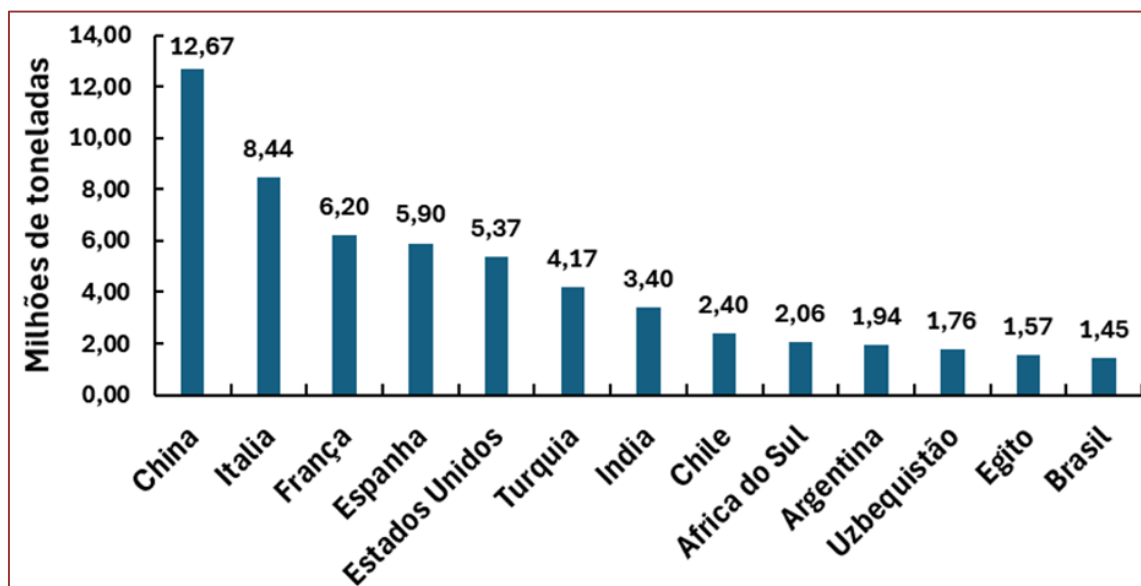
Em 2022, a produção de uvas no mundo foi cerca de 74,94 milhões de toneladas, sendo os dois principais continentes produtores o Europeu (37,5%) e Asiático (36,5%), em seguida as Américas (17,2%), o continente Africano (6,5%) e, por último, a Oceania (2,3%) (FAO, 2024b). As uvas produzidas podem ser consumidas in natura (uvas de mesa), na forma de passas (desidratadas) ou destinadas para elaboração de vinhos, sucos e outros produtos não fermentados. De acordo com a Organização Internacional da Uva e do Vinho (OIV, 2024), mais de 90% das uvas produzidas no mundo foram destinadas para produção de vinhos (48,5%) e consumo in natura (43,8%) (Figura 2).

**Figura 2:** Percentual do destino das uvas produzidas no mundo em 2022



Fonte: FAO, 2024; OIV, 2024.

Nesse mesmo ano (2022), a China, a Itália e a França foram os países que apresentaram as maiores produções de uva no mundo (Figura 3), nessa ordem, enquanto o Brasil ocupou a 13ª posição (FAO, 2024b).

**Figura 3:** Principais países produtores de uva, em 2022, e a produção total do país

Fonte: FAO, 2024; OIV, 2024.

Desde o início da pandemia mundial do COVID-19, em 2020, com exceção de alguns poucos países, a área plantada com vinhedos segue em declínio nos hemisférios norte e sul, com todos os tipos de uvas (OIV, 2024). Apesar dessa retração, em 2023, o comércio internacional de vinhos conseguiu gerar uma receita de exportação superior a 36 bilhões de euros, alcançando o valor recorde de € 3,62 por litro, cerca de R\$ 22,50 por litro (OIV, 2024). Em relação as uvas de mesa, a procura é crescente a nível mundial e isso pode favorecer tanto o crescimento de áreas cultivadas quanto o aumento nas exportações realizadas por regiões que produzem videiras utilizando sistemas de cultivo irrigado.

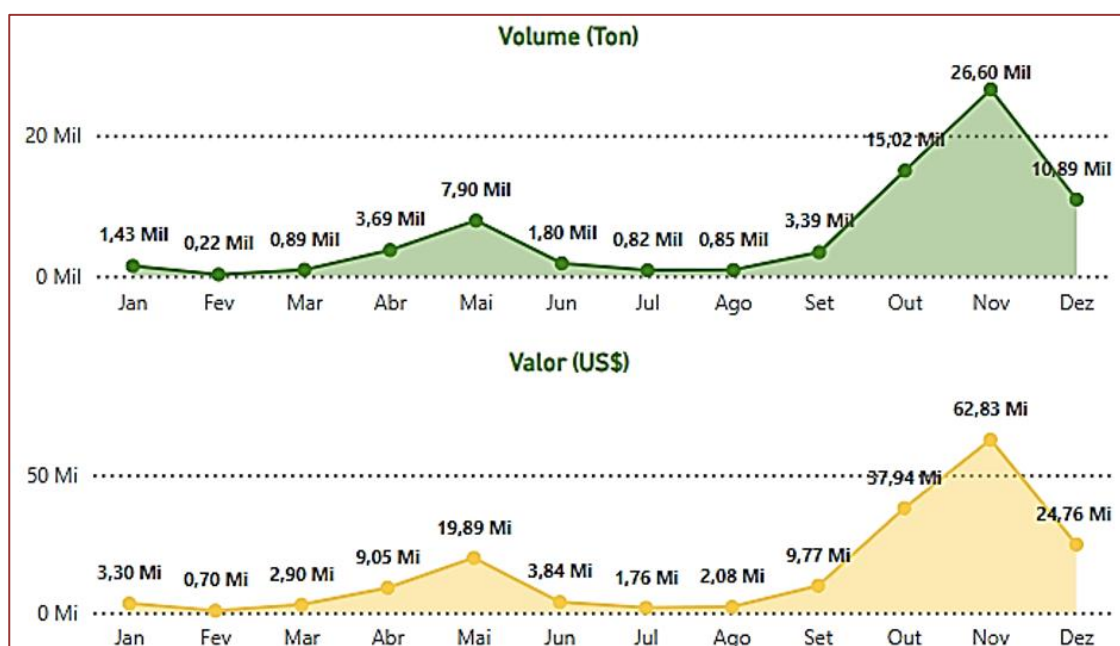
Em relação ao consumo per capita dos principais produtos derivados da vitivinicultura, os aspectos culturais e as condições climáticas do local, favorecem o consumo ou não de alguns produtos. Na França, é comum jovens e adultos consumirem pequenas quantidades de vinho ou espumante durante ou após as refeições. Isso faz com que a quantidade consumida dessas bebidas seja avaliada em populações a partir de 15 anos, diferentemente do Brasil, onde o consumo e comercialização de bebidas alcoólicas só pode ser realizado a partir dos 18 anos de idade. Essa diferença cultural, é refletida na quantidade consumida de vinhos e espumantes, uma vez que na França, em 2021, o consumo foi de 46,6 L por pessoa, enquanto no Brasil, a quantidade foi de apenas 2,84 L (OIV, 2024; Mello e Machado, 2022). Em relação ao consumo de uvas de mesa, o consumo médio na França e no Brasil, foi de 2,5 kg e 3,8 kg por pessoa, nessa ordem. O maior consumo de uvas in natura no Brasil, pode estar relacionado a maior oferta de uvas frescas no mercado ao longo do ano, visto que as condições climáticas no principal polo de produção, o Vale do Submédio São Francisco favorecem a colheita e a oferta permanente da fruta no mercado ao longo de todo o ano. Em 2021, além dos principais produtos citados anteriormente, na França foram consumidos 0,38 kg de uvas passas por habitante; e no Brasil, o consumo foi de apenas 0,12 kg (OIV, 2024; Mello e Machado, 2022).

### 3.2. IMPORTÂNCIA NACIONAL

A vitivinicultura brasileira se diferencia das demais regiões produtoras de uvas no mundo, pois devido a sua grande dimensão territorial os vinhedos são instalados em regiões que apresentam clima temperado, subtropical e tropical (Pereira, 2020). Sendo assim, de acordo com o clima da região, é esperado que ocorram alterações na duração das fases fenológicas e ciclo de produção, possibilitando ou não a produção de duas safras por ano. Na região Sul do Brasil, que apresenta a viticultura tradicional de clima temperado (Leão e Carvalho, 2023), onde é possível realizar apenas um ciclo de produção durante o ano, além de variedade mais utilizada mundialmente (*V. vinifera*), o cultivo de uvas americanas e híbridas para fabricação de sucos e vinhos é crescente. Enquanto, o cultivo de uvas de mesa americanas (*Vitis labrusca* e híbridas) e europeias (*Vitis vinifera*) está concentrado nas regiões Sudeste e Centro-Oeste, que apresentam clima subtropical, e no Nordeste, que possui clima tropical; regiões em que de acordo com o manejo são realizadas duas safras por ano (Leão e Carvalho, 2023).

A qualidade e a quantidade das uvas de mesa obtidas em sistemas irrigados de produção na região Nordeste são destaques, sendo essenciais para o abastecimento nacional e exportação. Em 2023, a exportação nacional de uvas superou 73,5 mil toneladas, resultando em um valor recorde de US\$ 178,8 milhões, ficando atrás apenas da manga com US\$ 312,0 milhões e do melão com US\$ 189,1 milhões (Abrafrutas, 2024). A exportação de uvas finas ocorre ao longo do ano (Figura 4), com maior demanda e melhor preço de venda entre outubro e dezembro, janelas de mercado que são os períodos de entressafra das regiões e países de clima temperado que não estão em plena produção por causa das adversidades climáticas causadas pelo inverno rigoroso. Esse período pode ser considerado uma das principais vantagens competitivas de mercado para exportação das uvas produzidas no Vale do Submédio São Francisco.

**Figura 4:** Volume de uvas exportadas, em toneladas; e valor, em milhões de dólares, em 2023



Fonte: Adaptado de Abrafrutas (2024).

O Vale do Submédio São Francisco está localizado no semiárido nordestino a oeste de Pernambuco e norte da Bahia, entre os paralelos 07º 00' e 10º 30' de Latitude Sul e entre os meridianos 37º 00' e 41º 00' de Longitude Oeste, cuja área geográfica delimitada abrange 125.755 km (Figura 4) (Sá et al., 2009). Essa é a região vitivinícola mais próxima da linha do Equador em todo o mundo. Segundo a classificação de Köppen, o clima do Vale do Submédio São Francisco é o tropical semiárido, tipo BSw<sub>h</sub>, com médias anuais de pluviosidade e temperatura, em torno de 550 mm e 26 °C, respectivamente, com um período seco de nove meses e chuvas concentradas de fevereiro a abril (Alvares et al., 2013). Essas duas características climáticas, quando associadas à alta quantidade de radiação solar, com média de 3.000 horas de insolação por ano; e a baixa umidade relativa do ar (50%), reduzem a ocorrência e severidade de doenças e favorecem uma maior atividade metabólica nas videiras (Sá et al., 2009).

Essas condições climáticas possibilitam a realização de safras em qualquer época do ano e são ideais para produção de uvas frescas para consumo in natura, uma vez que favorecem o maior acúmulo de sólidos solúveis e rápida degradação dos ácidos orgânicos, equilibrando a relação Brix/Acidez, conferindo um sabor doce aos frutos maduros (Ambrisoni; Oliveira, 2017). A maior atividade metabólica das videiras, principalmente no segundo semestre do ano, quando associada ao manejo correto das práticas culturais e da irrigação, resulta em uma redução na duração do ciclo de 30 a 50 dias em relação a outras regiões vitivinícolas do país e do mundo, e isso faz com que seja possível ser realizado até cinco safras a cada dois anos (Leão, 2021). Esses são alguns dos motivos que fazem com que o Vale do Submédio São Francisco seja o principal polo produtor e exportador de uvas de mesa do Brasil. Em 2023, 99% de toda uva exportada pelo Brasil foi produzida no Vale do Submédio São Francisco (Comexstat, 2024).

## REFERÊNCIAS

- [1] Abrafrutas - Associação Brasileira dos Produtores e Exportadores de Frutas e Derivados do Brasil, 2024. Painéis de Exportação. Disponível em: <<https://abrafrutas.org/dados-estatisticos/>>. Acesso em Agosto de 2024.
- [2] Alvares CA, Stape JL, Sentelhas PC, Gonçalves JDM and Sparovek G (2013) Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische zeitschrift*, 22: 711-728.
- [3] Ambrosini LB and Oliveira CD (2017) Geographical Indication for fruits: criteria for granting and objectives, a comparative analysis of Brazilian and European cases. *Extensão Rural*, 24: 24-43.
- [4] Comexstat (2024) Sistema para consultas e extração de dados do comércio exterior brasileiro. Disponível em: <<http://comexstat.mdic.gov.br/pt/home>>. Acesso em setembro 2024.
- [5] Embrapa - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2024) Observatório da Uva 2024. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/en/observatorio-da-uva>>. Acesso em agosto de 2024.
- [6] FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations (2024a) Crop information: grape. Disponível em: <<https://www.fao.org/land-water/databases-and-software/crop-information/grape>>. Acesso em setembro 2024.
- [7] FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations (2024b). Disponível em: <<https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>>. Acesso em agosto de 2024.
- [8] Giovannini E (2014) Manual de viticultura. Bookman: Porto Alegre, 264p.
- [9] Hortifruti (2024) Retrospectiva 2023 x Perspectivas 2024. Revista HF Brasil: Piracicaba, 42p.
- [10] Keller M (2020). The Science of Grapevines: Anatomy and Physiology. Third Edition, Elsevier Academic Press: United States, 541p.
- [11] Leão PCS (2021) Porta-enxertos para a produção de uvas de mesa sem sementes no Vale do São

Francisco. Embrapa Semiárido: Petrolina, 19p.

- [12] Leão PCS and Carvalho JN (2024) Tropical Viticulture in Brazil: São Francisco Valley as an Important Supplier of Table Grapes to the World Market. In *Latin American Viticulture Adaptation to Climate Change: Perspectives and Challenges of Viticulture Facing up Global Warming*. Springer International Publishing: Cham, p. 47-59.
- [13] Magris G, Jurman I, Fornasiero A, Paparelli E, Schwope R, Marroni F, Di Gaspero G. and Morgante M (2021) The genomes of 204 *Vitis vinifera* accessions reveal the origin of European wine grapes. *Nature Communications*, 12: 7240.
- [14] Mello LMR and Machado CAE (2022). *Vitivinicultura brasileira: panorama 2020*. Embrapa Uva e Vinho: Bento Gonçalves, 16p.
- [15] Pereira GE (2020). The three different winegrowing zones in Brazil according to climate conditions and vine managements. In A. M. Jordao & R. V. Botelho (Eds.), *Vitis: Biology and species*. Nova Science Publishers: Caxias do Sul, 395p.
- [16] Péros JP, Launay A, Peyrière A, Berger G, Roux C, Lacombe T and Boursiquot JM (2023) Species relationships within the genus *Vitis* based on molecular and morphological data. *Plos One*, 18: e0283324.
- [17] Sá IB, Sá IIS, Silva AS and Silva DF (2009) Caracterização Ambiental do Vale do Submédio São Francisco. In *Subsídios Técnicos para a Indicação Geográfica de Procedência do Vale do Submédio São Francisco: Uva de Mesa e Manga*. Embrapa Semi-Árido: Petrolina, p. 8-15.
- [18] Soares, J. M.; Leão, P. C. S. (Eds). *A Vitivinicultura no Semiárido Brasileiro*. Embrapa Semiárido: Petrolina, 756p.
- [19] Souza VC and Lorenzi H. *Botânica Sistemática: guia ilustrado para identificação das famílias de Fanerógamas nativas e exóticas no Brasil, baseado em APG IV*. 4. Ed., Instituto Plantarum: Nova Odessa, 768p.
- [20] Walker MA, Heintz C, Riaz S and Uretsky J (2019) Grape Taxonomy and Germplasm. In Cantu D and Walker MA (eds) *The grape genome*. Springer, Switzerland, p. 25-38.
- [21] Wan Y, Schwaninger H, Li D, Simon CJ, Wang Y and He P (2008) The eco-geographic distribution of wild grape germplasm in China. *Vitis*, 47: 77-80.

# Capítulo 2

## *Análise da estrutura e das condições do ambiente de trabalho de uma fabriqueta de queijo, no Município de Nossa Senhora da Glória/SE (estudo de caso)*

*Tarsizio da Silva Santos*

*João Henrique Jesus Almeida*

*Douglas Romeu da Costa*

*Jorge Antônio Vieira Gonçalves*

*Thiago Herbert Santos Oliveira*

*Wendel de Melo Massaranduba*

**Resumo:** Objetivou-se com este trabalho realizar um estudo de caso de uma fabriqueta de queijos do município de Nossa Senhora da Glória-SE. Foram feitas visitas aos ambientes do estabelecimento, nas quais foram feitas observações e aplicação de dois questionários, um destinado ao proprietário e para o funcionário da fabriqueta. A produção utiliza leite fresco como matéria prima para a obtenção de queijo. O leite é submetido a desnatação, na forma *in natura* ou fresco e refrigerado, à 4 °C. A refrigeração ocorre durante um período máximo de 10 horas após a ordenha. São feitas análises de rotina do leite cru com equipamentos como pistola para álcool alizarol, acidímetro, termo lacto densímetro, termômetro em um laboratório na propriedade. foram identificadas as boas práticas de fabricação (BPF), como por exemplo, os queijos são armazenados na câmara fria até a comercialização. Entretanto, foram identificados critérios que não estão em conformidade com o BPF e a legislação vigente, como por exemplo, motores de resfriamento totalmente expostos ao ambiente, o que torna um risco de choques elétricos aos funcionários. Os queijos da fabriqueta em estudo possuem certificação de serviço de inspeção municipal (SIF), e que para continuar com esse selo, a queijaria mantém disponível, para fins de comercialização, o BPF, a legislação vigente, além de receber assistência técnica do poder público.

**Palavras-chave:** leite, produção, laticínios.

## 1. INTRODUÇÃO

O Brasil está entre os cinco maiores produtores de leite do mundo e conta com uma produção anual superior a 34 bilhões de litros, com 99% dos municípios produtores de leite. Esse setor movimenta mais de R\$ 100 bilhões ao ano e gera mais de quatro milhões de empregos, englobando, principalmente, a agricultura familiar (MAPA, 2021).

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE 2023) o Brasil teve no ano de 2023 uma produção de 35.375.235.000 litros de litros de leite, tendo como maior produtor o Estado de Minas Gerais com uma produção de 9.422.028.000 litros. Já o Estado de Sergipe ficou na 11ª posição com uma produção de 656.519.000 de litros de leite, sendo Poço Redondo a cidade que mais produziu, com um total de 107.495.045 de litros.

Essa cidade juntamente com os municípios Porto da Folha, Nossa Senhora da Glória, Monte Alegre, Gararu, Canindé de São Francisco, Nossa Senhora de Lourdes compõem a região do Alto Sertão do Estado de Sergipe, destacando-se pela maior produção de leite do Estado (Lopes *et al.*, 2023). Essa região concentra com produções médias acima de 39 milhões de litros/ano, os quais juntamente com mais seis outros municípios respondem por mais de 73 % da produção de leite do estado de Sergipe, no período 2016 a 2022 (EMDAGRO, 2023).

A produção é desenvolvida em propriedades rurais, que geralmente são administradas pelos próprios donos e apresentam um baixo nível tecnológico, principalmente as propriedades que são de agricultura familiar (Dantas, 2020). A renda advinda desses pequenos agricultores, em geral, é da venda do leite, podendo também ser complementada com a venda de bezerros para produtores de gado de corte e a produção de laticínios, os quais comercializam esse alimento em feiras e pequenos estabelecimentos comerciais (Rosa *et. al.*, 2005; Santana, 2019).

O queijo, exemplo de laticínio, com sua versatilidade única, é um ingrediente essencial na culinária global. De restaurantes especializados a bebidas, o queijo tem o poder de transformar pratos e paladares. Por que as pessoas apreciam tanto? Pela delícia que é, pelas texturas, por ser nutritivo e saboroso, tornando-se a escolha perfeita para qualquer momento e é feito de leite (ABIQ, 2024).

A cidade de Nossa Senhora da Glória, nos últimos anos, tem se destacado como uma importante bacia leiteira, devido principalmente a sua produção de queijos artesanais comercializados em feiras livres, padarias ou a intermediários que comercializam na capital ou em outros estados e como uma das maiores produção desse segmento no Estado, alcançando dois mil toneladas comercializadas no mercado formal, (EMDAGRO, 2023).

Nesse segmento, os queijos têm apresentado taxas de crescimento de vendas maiores nos últimos anos devido às mudanças nos hábitos de consumo, na estrutura da pirâmide etária, no aumento do poder aquisitivo e nas condições de bem-estar das pessoas (Vilela, 2017).

Estimativas da Embrapa (2024) apontam que o país produz cerca de um milhão de toneladas por ano, ficando atrás apenas da União Europeia, dos Estados Unidos e da Rússia. E os pequenos produtores vêm ganhando espaço no segmento: 20% dessa produção é artesanal, segundo a Associação Brasileira de Queijos Artesanais. Estima-se que o setor lácteo emprega mais de 240 milhões de pessoas, incluindo produtores, transformadores e comerciantes. Até 2030, o consumo global *per capita* de queijo deve aumentar 1,4% ao ano, alcançando 6,5 kg por pessoa (ABIQ, 2024).

A produção do queijo ocorre em um processo a partir da ordenha das vacas na propriedade rural, transporte do leite até o local de fabricação e o preparo do leite (Garcia *et al.*, 2023). A fabricação do queijo e outros produtos por meio dessas pequenas fabriquetas tem uma grande importância para agregar valor ao preço do leite, uma vez existindo essas pequenas fábricas, gera uma maior procura pelo produto, ou seja, há maior concorrência e assim a matéria prima não fica apenas nas mãos das grandes empresas (Peçanha *et al.*, 2024). Essas pequenas fábricas são importantes para a região, pois compõem a principal fonte de renda das famílias, diminui o êxodo rural, contribui para a geração de novos empregos e, além disso, possui importância cultural, já que a maioria das fabriquetas vem de tradição familiar (Dos Reis, 2024).

A produção de queijo e derivados devem estar em conformidade com a Instrução Normativa Nº 5 de 14/02/2017 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, que trata de questões sanitárias de estabelecimentos agroindustrial de pequeno porte, que recebe no máximo 2.000 litros de leite por dia para processamento (Brasil, 2017); e de acordo também com a Resolução Nº 385 de 27 de dezembro de 2006 do Conselho Nacional do Meio Ambiente, a qual trata de procedimentos para licenciamento ambiental de agroindústria de pequeno porte e baixo potencial de impacto ambiental e; de acordo com a Lei Nº 8523 DE 29/04/2019 da Assembleia Legislativa do Estado de Sergipe, que dispõe normas sobre a produção e a comercialização dos queijos artesanais (tradicional e inovação) (Sergipe, 2019).

Um dos principais avanços na regulamentação é o reconhecimento da produção do queijo com o leite cru, preservando a cultura e o modo de fazer a iguaria em cada região do país (Sergipe, 2019). As exigências contidas na legislação para a fabricação de queijos são difíceis de serem atendidas por pequenos produtores devido à falta de recursos para se adequarem, tanto na parte construtiva como na compra de equipamentos e utensílios, além da falta de informação e assistência técnica (Dantas, 2020).

Segundo o poder legislativo do Estado de Sergipe, com o intuito de ajudar essas fabriquetas, foi criada uma linha de crédito junto ao Banco do Estado de Sergipe (ASCOM, 2019). O único entrave desse financiamento é a designação para aqueles em situação regular. Aos que não se encontram regular foi sancionado uma lei elevando o prazo de seis meses para um ano, para que se adequem às novas exigências (Sergipe, 2019).

Ao longo dos últimos anos, a qualidade sanitária do leite, com a adoção de tanques de resfriamento individuais ou coletivos (em geral cedidos pelas indústrias de laticínios) assim como a oferta de capacitação pela Emdagro, aos produtores, sobre “boas práticas de produção”, tem contribuído para melhoria da qualidade do leite, porém muitos produtores de pequeno porte, médio ou até mesmo de grande porte, ainda não adotam práticas adequadas da produção de leite, de modo a corresponder às exigências requeridas na legislação sanitária em vigor (PPA, 2019).

Deste modo, o consumo de queijos artesanais levanta questões importantes no que diz respeito à saúde pública. Embora o produto ofereça propriedades nutricionais benéficas, como o fornecimento de proteínas, cálcio e vitaminas, o processo artesanal de produção muitas vezes carece de rigorosos controles de qualidade, o que pode resultar na presença de microrganismos prejudiciais à saúde.

Além disso, deve-se investigar as propriedades benéficas e os possíveis efeitos adversos associados ao consumo de queijos fabricados artesanalmente, considerando as práticas de produção adotadas pelas fabriquetas de Sergipe. Dessa forma, o estudo de caso pode explorar a dualidade entre os benefícios nutricionais e os riscos à saúde presentes no

consumo de queijos artesanais.

Para isso, será verificada uma fabriqueta de queijo localizada no estado de Sergipe, buscando entender como a cadeia produtiva influencia na qualidade do produto final e, por conseguinte, nos efeitos sobre a saúde dos consumidores ao investigar as particularidades desse processo produtivo.

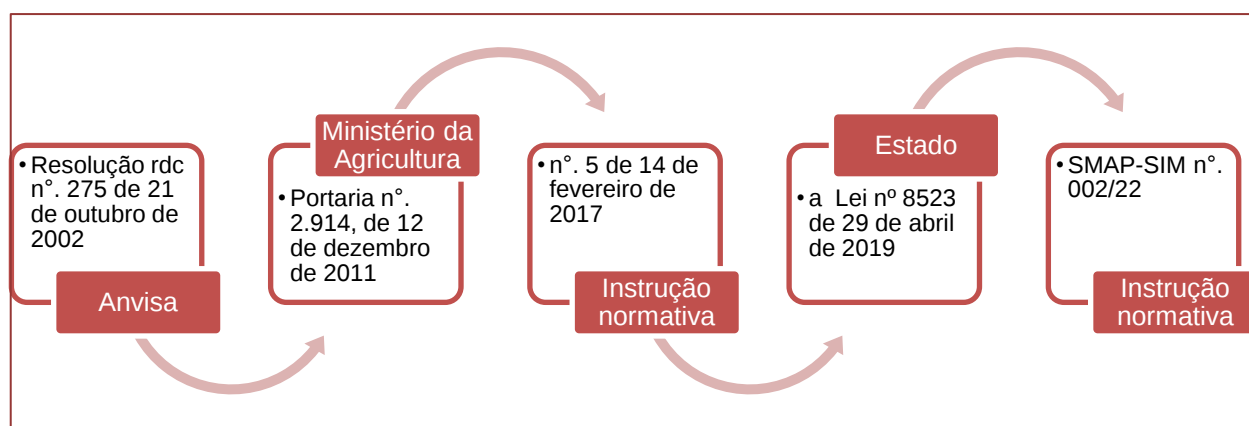
Conforme o exposto, objetivou-se com este trabalho realizar um estudo de caso de uma fabriqueta de queijo que possui o Selo SIM do município de Nossa Senhora da Glória-SE e, especificamente, verificar as atividades desenvolvidas nesse ambiente de produção em comparação com as exigências estabelecidas no manual de Boas Práticas de Fabricação - BPF e legislações vigentes.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. LEGISLAÇÃO VIGENTE PARA A PRODUÇÃO DE QUEIJOS ARTESANAIS

São apresentadas Boas Práticas de Fabricação - BPF e legislações vigentes como a resolução da Anvisa nº 275/2002, Portaria nº. 2.914/2011, Instrução normativa nº. 5/2017, Lei estadual nº 8523/2019, Sergipe, Instrução normativa SIM Nº 002/2022, Lei municipal de nº 1.141/2022, conforme descrito na figura 1.

**Figura 1:** Fluxograma da legislação vigente sobre a produção de queijos artesanais



### 2.2. ÁREA DE ESTUDO

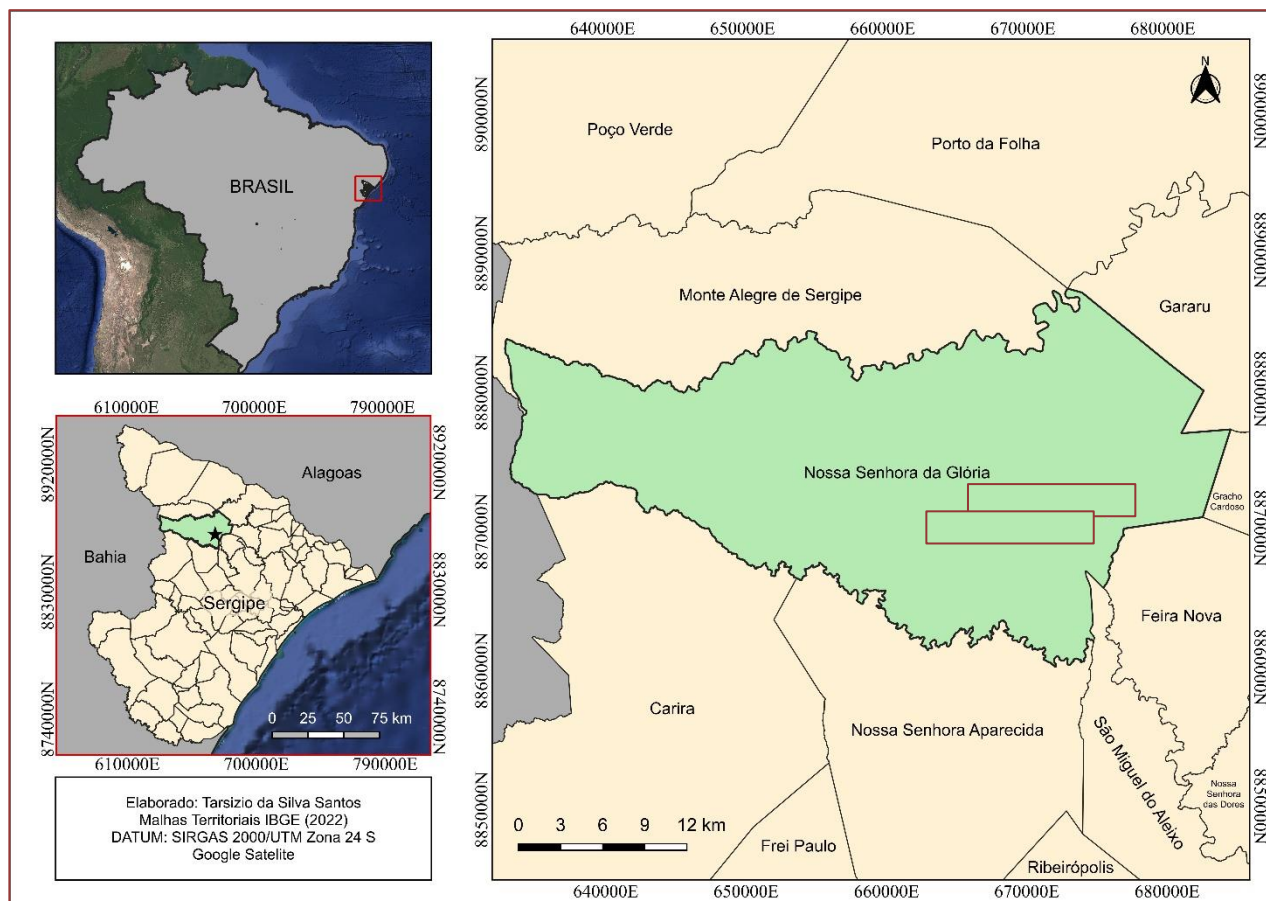
A fabriqueta de queijo escolhida para o estudo de caso situa-se na Zona Rural, no município de Nossa Senhora da Glória, estado de Sergipe (Figura 2). Foram realizadas uma visita técnica para a avaliação do local, visitas aos ambientes do estabelecimento, nas quais foram feitas observações e aplicação de dois questionários, um destinado ao proprietário e outro para o funcionário da fabriqueta.

### 2.3. ELABORAÇÃO DOS QUESTIONÁRIOS

O questionário aplicado ao proprietário continha questões abertas, fechadas e de múltipla escolha que possibilitaram a obtenção de mais de uma resposta em algumas questões e,

em outras questões o proprietário poderia escolher entre as opções, uma alternativa aberta.

**Figura 2:** Localização do município de Nossa Senhora da Glória – SE



Nesse contexto, foram formuladas perguntas sobre os seguintes critérios: características da propriedade, caracterização da produção, da água, do produto final, o resíduos produzidos, e a implementação do conceito técnico-científico em fabriquetas de queijo.

O questionário aplicado ao funcionário da fabriqueta continha questões abertas, fechadas e de múltipla escolha que possibilitaram a obtenção de mais de uma resposta em algumas questões e, em outras questões o funcionário poderia escolher entre as opções uma alternativa aberta (Tabela 1).

Foram formuladas perguntas incluindo os seguintes critérios: caracterização da estrutura física, caracterização da higienização, o rebanho fornecedor de matéria-prima, e perguntas sobre a avaliação das condições higiênico sanitárias da produção de queijo, sobre edificação/instalação, equipamentos e utensílios, higienização dos equipamentos e instalações, circulação e manipulação na área de produção, matérias-primas, fluxo de produção e manipulação, controle de pragas, com questões fechadas de múltipla escolha das respostas: conforme ou em conformidade, não conforme ou inadequado com o manual de boas práticas de fabricação (BPF) e a legislação vigente e não se aplica, para o caso que não existir a aplicação do critério a produção de queijo na fabriqueta, conforme

o BPF e a legislação utilizada (Tabela 1).

O dono de fabriqueta é aquele que produz queijo e/ou outros produtos do seu próprio leite ou quem faz a compra dessa matéria prima para a produção (DANTAS, 2020). A seleção desses proprietários foi feita aleatoriamente, não houve um critério de escolha, apenas foi determinado a região que deveria ser aplicado os questionários, e foram aplicados a quem aceitou participar da pesquisa (Dantas, 2020).

**Tabela 1:** Critérios utilizados nos questionários aplicados ao proprietário e ao funcionário

| Questionários                   |                                    |
|---------------------------------|------------------------------------|
| Proprietário                    | Funcionário                        |
| Características da propriedade  | Caracterização da estrutura física |
| Caracterização da produção      | Caracterização da higienização     |
| Caracterização da água          | Resíduos produzidos                |
| Caracterização do produto final | Condições higiênico sanitárias     |
| Resíduos produzidos             | • edificação/instalação e          |
| Conceito técnico-científico     | • equipamentos                     |
|                                 | • circulação/manipulação           |
|                                 | • matéria-prima                    |
|                                 | • fluxo de produção                |
|                                 | • controle de pragas               |

Foram feitas algumas comparações entre as respostas obtidas por meio do questionário aplicado ao proprietário e aplicado ao funcionário da fabriqueta. Além disso, foi verificado se a fabriqueta atendia aos critérios que são necessários para a obtenção do selo de inspeção municipal (SIM), quais os benefícios produzidos.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. RESPOSTAS OBTIDAS PELO PROPRIETÁRIO

##### 3.1.1. PRODUÇÃO DO QUEIJO

Conforme as respostas do proprietário, a fabriqueta possui 13 pessoas trabalhando na produção de queijos e três indivíduos exercendo atividades em outros locais da propriedade, incluindo mão de obra familiar e contratada. Esses funcionários contribuem para a produção de queijos do tipo coalho, requeijão e mussarela, totalizando uma

capacidade produtiva entre 300 a 400 kg do produto (Tabela 2).

**Tabela 2:** Características da produção do queijo na fabriqueta

| Funcionários | Tipo de mão de obra   | Tipos de queijos              | Capacidade produtiva (Kg) |
|--------------|-----------------------|-------------------------------|---------------------------|
| 16           | Familiar e contratada | Coalho, requeijão e mussarela | 300 - 400                 |

### 3.1.2. CARACTERÍSTICAS DA PROPRIEDADE

Essa produção contribui como sendo a principal fonte de renda do proprietário, recebendo uma assistência técnica fornecida pelo poder público. De acordo com a legislação do município de Nossa Senhora da Glória, a fabriqueta exerce o beneficiamento de leite bovino, sendo a natureza da atividade pertencente ao grupo (A), como produção de leite e derivados, dentro da classificação IV, como da atividade queijaria, conforme descrito na tabela 3 (Lei N° 1.141, 2022).

**Tabela 3:** Natureza da atividade (Grupo A: Produção de leite e derivados)

| Classificação | Atividade                                      |
|---------------|------------------------------------------------|
| I             | granja leiteira                                |
| II            | posto de refrigeração                          |
| III           | Unidade de beneficiamento de leite e derivados |
| IV            | queijaria                                      |

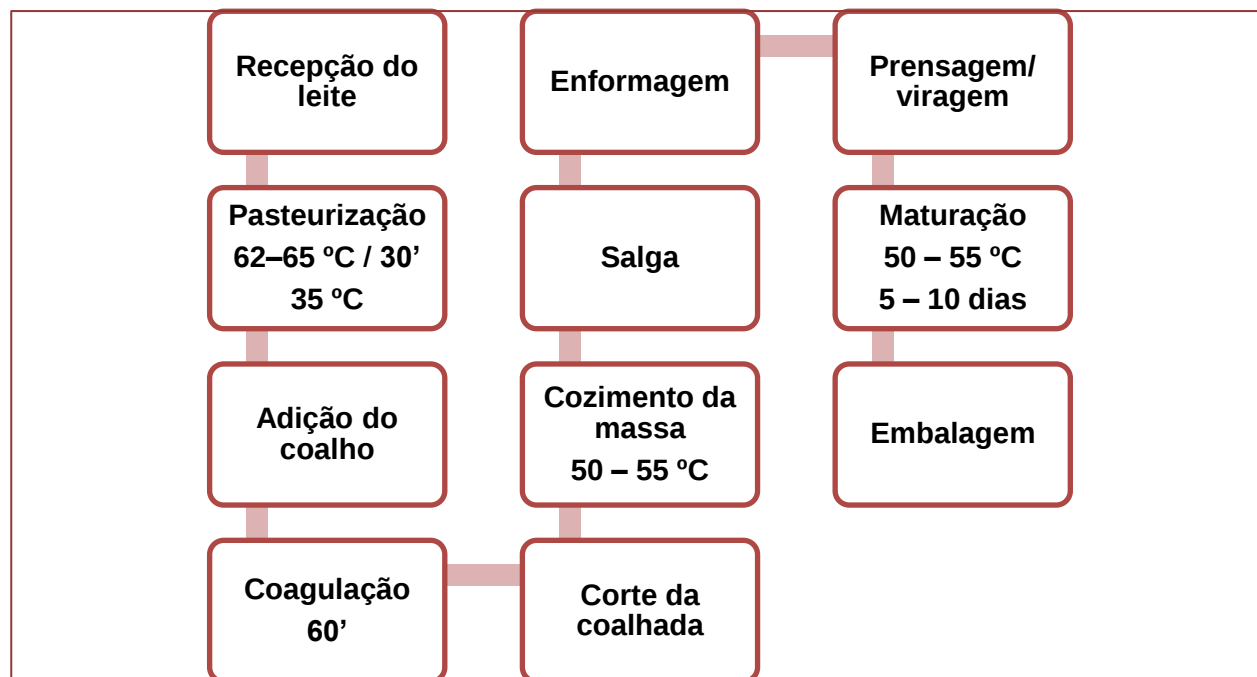
Fonte: Tabela II da Lei municipal N° 1.141. Nossa Senhora da Glória(SE) 06 de Junho de 2022.

### 3.1.3. CARACTERIZAÇÃO DA PRODUÇÃO

No tocante aos indivíduos da mão de obra familiar, nenhum deles desenvolve atividades fora do estabelecimento, sendo assim, dedicam-se exclusivamente para uma maior produção de queijos nos meses de maio, junho, novembro e dezembro, além da venda direta como destinação do produto final.

Para o beneficiamento, a fabriqueta utiliza leite fresco comprado como matéria prima para a obtenção de queijo. O leite é submetido ao processo de desnatação, sendo na forma *in natura* e refrigerado, à 4 °C, sendo armazenado em tanques de inox por um período máximo de 10 horas após a ordenha. E amostras de leite são colocadas para análises de rotina do leite cru com equipamentos como pistola para álcool alizarol, acidímetro, termo lacto densímetro, termômetro em um laboratório na propriedade.

Após as análises, o leite é submetido à pasteurização, que consiste no aquecimento entre 62 e 65 °C durante 30 minutos, seguido da diminuição até 35°C. Na sequência é adicionado o coalho para prosseguir com a coagulação, durante 60 minutos para prosseguir com o corte da coalhada. Em seguida, existe o cozimento da massa com a temperatura entre 50 e 55°C, prosseguindo com a salga e a enformagem, para o processo de prensagem e viragem do queijo e, finalizando o processo de produção, tem-se a maturação, submetendo o produto final a temperatura entre 50 e 55°C, durante 05 a 10 dias, o qual será embalado para a comercialização (Figura 3).

**Figura 3:** Fluxograma de produção do queijo coalho

Adaptado de Araujo et al., (2012)

Conforme a Lei municipal nº 1.141, de 06 de junho de 2022, Artigo 23, a apuração de suspeita de contaminação, adulteração, falsificação ou fraude do produto, matéria-prima, insumo ou qualquer substância que integre a composição do produto acabado, far-se-á mediante a apreensão de amostras para a realização de análise fiscal, e de interdição do produto ou substância em questão, se for o caso.

### 3.1.4. ARMAZENAMENTO E QUALIDADE DA ÁGUA

Quanto aos insumos e a água utilizada na produção, foi relatado que a água utilizada no processo é comprada e transportada em carros pipas (Figura 4). Ao chegar, a água é armazenada em recipientes plásticos que ficam tampados, sendo higienizados semestralmente ou quando necessário.

**Figura 4:** Abastecimento de água na fabriqueta feita pelo carro pipa



A qualidade da água destinada à higienização de instalações, equipamentos e utensílios é muito importante para que esteja em consonância com o artigo supracitado, e não ocorra a interdição do produto e da fabriqueta, visto que a água é da rede canalizada originda de outro local, porém não foi mencionado de ocorre análise de potabilidade.

Conforme a Portaria n. 2.914/2011, a água utilizada na produção dos queijos artesanais deverá ser, potável; proveniente de nascente, de cisterna revestida e protegida do meio exterior ou de poço artesiano. Recomenda-se a canalização desde a fonte até a caixa d'água da queijaria, tratamento por sistema de filtração e cloração, bem como acondicionamento em caixa d'água tampada, construída com material sanitariamente adequado.

### **3.1.5. CARACTERIZAÇÃO FINAL DO PRODUTO**

Quanto ao armazenamento do produto final, os compartimentos utilizados para a colocação dos queijos são higienizados diariamente, e estes são armazenados em dois dias na câmara fria (Figura 5) para serem conduzidos ao comércio. São utilizados vasilhames de material atóxico, reaproveitados de alimentos industrializados, sendo transportados em recipientes plásticos.

Os queijos são embalados e transportados até o comércio em veículos refrigerados e fechados. E estes produtos possuem certificação de serviço de inspeção municipal (SIF). Para manter essa certificação, a queijaria segue o manual de boas práticas de ordenha e fabricação dos queijos, e recebe assistência técnica do poder público, porém não foi esclarecida qual esfera administrativa fornece essa assistência.

**Figura 5:** Câmara fria para armazenar os queijos produzidos pela fabriqueta

Conforme Monteiro e Matta (2018), o manual de boas práticas contribui para reduzir o risco de contaminações dos alimentos por microrganismos; reduzir o risco de contaminações por produtos químicos usados durante a higienização das instalações, equipamentos e utensílios; prolongar o prazo de validade dos alimentos; proporcionar um ambiente de trabalho mais eficiente, otimizando a produção; possibilitar a padronização da produção; oferecer alimentos mais seguros e de melhor qualidade aos consumidores.

### 3.1.6. RESÍDUOS PRODUZIDOS

Em muitas fábricas de queijo, são produzidos três tipos de resíduos: orgânicos, as águas de limpeza, proveniente do soro de leite oriundos da fabricação dos queijos (De Resende Gonçalves, 2017). Com base em todos os tipos de resíduos gerados nas indústrias de laticínios, faz-se necessário a elaboração e execução de um projeto com o tratamento e o controle rígido dos lançamentos de tais efluentes no meio ambiente (Von Sperling, 2015).

Conforme as prescrições estabelecidas pelo órgão competente, como por exemplo, a resolução do CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) nº 357 de 2005, e Resolução CONAMA nº 430 de 2011, que descrevem alguns padrões que devem ser seguidos em relação aos resíduos líquidos gerados pelas indústrias de laticínios. (Von Sperling, 2015).

Os resíduos orgânicos não tem conexão direta com as instalações da produção. Esses resíduos são do tipo biológicos, ou de animal, e são utilizados na nutrição de outros animais, mesmo não sendo relatados. Entretanto, os resíduos liberados pelos trabalhadores são armazenados temporariamente por separação residual em caixas sépticas.

Entretanto, conforme a resolução 357 (2005), os efluentes provenientes de qualquer fonte poluidora devem passar por tratamentos que os enquadrem nos padrões de níveis máximos de carga poluidora, previstos na resolução, para que sejam lançados ao meio ambiente. Os resíduos orgânicos e os derivados da fabricação do queijo são drenados para separação líquido – sólido (Figura 6). Foi relatado que não ocorre o reaproveitamento em

processos como compostagem ou uso de um biodigestor.

Quando os resíduos ficam nas superfícies de equipamentos e utensílios, pode ocorrer a formação de um filme biológico difícil de ser removido, que pode ser composto por bactérias decompositoras. Portanto, os utensílios e equipamentos devem ser de material lavável para que todos os resíduos possam ser removidos (Da Luz, 2019).

Fraga, *et al.*, (2016), analisou a produção do queijo coalho em fabriquetas do Alto Sertão Sergipano e verificou que os funcionários responderam que não realizam tratamento aos rejeitos gerados pelas mesmas. Porém, concordam em investir no processo produtivo no intuito de minimizar possíveis problemas ambientais pertinentes ao mesmo, desde que sejam dadas as condições econômicas necessárias.

**Figura 6:** Caixas de drenagem de resíduo orgânico



Fraga, *et al.*, (2008) constataram que os produtores não se preocupam com os danos causados pelos resíduos na cadeia produtiva do produto. Situação esta apontada por Petrus (2000) que assevera que “o soro apresenta uma carga orgânica superior a do esgoto doméstico, responsável por causar um grande impacto ambiental”. É fundamental que a organização conheça os tipos de resíduos que são gerados, suas características e fontes, desse modo o processo de gerenciamento terá êxito (Silva, 2011).

### **3.1.7. IMPLEMENTAÇÃO DO CONCEITO TÉCNICO-CIENTÍFICO EM FABRIQUETAS DE QUEIJO**

A fabriqueta buscou financiamento junto aos órgãos de fomento para investir em melhorias nos equipamentos. Entretanto, foi relatado que foram encontradas dificuldades para implementar os avanços técnicos, no tocante a poucas fontes de financiamento destinada a produção de queijos.

Para que a produção de leite e a fabricação de queijos artesanais possa ter crescimento de forma significativa não pode existir redução de incentivos governamentais (assistência técnica, créditos, financiamento etc.) para as famílias produtoras (Belik, 2017) e um maior estímulo a outros setores do agronegócio que se destacam como as *comodities* no contexto nacional (Pompeia, 2021).

Torna-se imprescindível destacar que as pequenas e médias propriedades rurais, existem para suprir a necessidade básica na alimentação (Nair, 1985), encontrado-se em comercialização, onde se utiliza da mão de obra familiar, em algumas situações, contratando terceiros para auxiliarem na produção e manutenção (Atangana *et al.*, 2014).

Deste modo, exercem importante papel social de geração de emprego e renda no campo, pois representam uma fonte adicional de renda, caracterizada como uma atividade potencial para obtenção de alimentos e para suprir algumas das necessidades da família (Rodrigues, 2015).

## **3.2. RESPOSTAS OBTIDAS PELO FUNCIONÁRIO**

### **3.2.1. CARACTERIZAÇÃO DA ESTRUTURA FÍSICA**

Foi observada uma tela milimétrica nas entradas e saídas de ar como forma de proteção contra a entrada de insetos. Já, os equipamentos de limpeza encontravam-se alocados de forma a facilitar o processo de higienização da estrutura física. No ambiente de produção, a climatização é feita sob dois exaustores de parede.

A alvenaria das paredes da fabriqueta estavam em bom estado, sendo rebocadas e azulejadas. Além dessa parte, o teto era constituído de telha de fibro-cimento com os ambientes forrados, mantendo boas condições de higiene. Também foram observados cantos de paredes sujos com tubulação aberta e o piso com uma mangueira exposta que é utilizada para higienização. A tubulação aberta contribui para a entrada e circulação de insetos vetores e ratos. Além disso, a mangueira pode contaminar os produtos (Figura 7).

As paredes internas devem possuir um revestimento impermeável com acabamento liso e de cores claras que permita fácil lavagem, sem apresentar locais de difícil acesso para limpeza. As paredes devem ser limpas semanalmente, incluindo a limpeza e manutenção dos rejuntas, se forem azulejadas. Devem preferencialmente, possuir acabamento arredondado em quaisquer junções com pisos, outras paredes ou lajes de teto, evitando-se cantos mortos (Nascimento Neto, 2006).

**Figura 7:** Condições das paredes e dos pisos da fabriqueta



No tocante a parte elétrica dos ambientes, foi relatado que a energia utilizada é do tipo elétrica fornecida pela concessionária Energisa, sendo um gasto médio mensal de aproximadamente R\$ 4.000,00. Foram visualizadas a presença de quatro a cinco lâmpadas do tipo fluorescentes na fabriqueta (Figura 8).

**Figura 8:** Visão do teto da câmara fria dos queijos produzidos



Como situação real, o projeto elétrico deve ser dimensionado de acordo com a capacidade demandada pelos equipamentos e redes elétricas da queijaria. Recomenda-se que a mesma seja disposta externamente nas paredes e tetos em dutos rígidos para facilitar manutenção, limpeza e possíveis alterações no projeto elétrico da queijaria. As tomadas de energia devem ter tampas isolantes com mola e estar em posição média ou alta

(Monteiro; Matta, 2018).

Outro detalhe é que foram observados motores de resfriamento totalmente expostos ao ambiente de produção, o que torna um risco de choques elétricos aos funcionários, além de acumular impurezas abaixo do motor; umidade e corrosão, que podem ocasionar danos nos motores, que podem contaminar o produto (Figura 9).

**Figura 9:** Motores elétricos para refrigeração do leite (9a) espaço interno (9b) espaço externo



Foram encontrados equipamentos e tubulação de água bem próximos aos quadros de força (Figura 10). É fundamental determinar o local mais adequado para a caixa, levando em consideração fatores como a distância dos pontos de energia e a facilidade de acesso.

**Figura 10:** Quadro de força da parte elétrica da fabriqueta de queijo



### 3.2.2. CARACTERIZAÇÃO DA HIGIENIZAÇÃO

Quanto à higienização dos trabalhadores da queijaria durante a produção, foram relatadas boas condições de limpeza de equipamentos de proteção individual (EPI) como as botas, boas condições de sanitização das mãos, sem feridas expostas, limpeza das unhas.

Além das luvas e das botas, são utilizadas vestimentas ou uniformes apropriados e em boas condições de uso, máscaras e toucas. Estas últimas, são descartadas após o uso. Entretanto, as botas e as luvas são higienizadas com uma solução ácida. E também foi relatado que não são utilizados objetos de adorno nas mãos

A lavagem das mãos é feita com o uso do sabão líquido inodoro e a secagem é realizada com papel toalha. Já a higienização da fabriqueta é feita diariamente, sendo que não há consumo de alimentos no local de produção dos queijos. A fabriqueta atende esse critério, mesmo existindo equipamento disposto de forma a não permitir o fácil acesso e higienização adequada, como por exemplo, próximo ao quadro de força (Figura 8). A fabriqueta não é contígua a residências e também foi relatado que os produtos não são lavados e sim, embalados, o que evita a proliferação de animais como formigas, baratas e até ratos.

É recomendado que o lixo da queijaria deve ser separado em orgânico e seco e retirado diariamente. lixeira deve estar sempre tapada para evitar a proliferação de insetos. O lixo seco deverá ser separado do lixo orgânico que pode ser utilizado para fazer compostagem que servirá de adubo para utilização na horta doméstica da propriedade (Da Luz, 2019).

### 3.2.3. RESÍDUOS PRODUZIDOS

Os resíduos liberados pelos trabalhadores e provenientes da produção de queijos são armazenados temporariamente por separação residual em caixas sépticas. Já em relação as condições hidrossanitárias do ambiente, o funcionário afirmou que a bacia do banheiro não tem conexão direta com as instalações de produção.

Não foi relatado nenhum outro tipo de criação animal, entretanto a presença de resíduos de leite ou soro no piso da queijaria, além de causar corrosão dos rejuntas, também propicia o desenvolvimento de microrganismos semelhantes aos vírus, que causam defeitos no queijo (Sousa Santos et al., 2017).

### 3.2.4. AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES HIGIÊNICO SANITÁRIAS DA PRODUÇÃO

#### a) Edificação e instalação

O acesso direto aos ambientes de forma direta e independente, não comum a outros usos como habitação não se encontravam em conformidade, pois foi possível observar outras áreas de circulação sem relação com os ambientes de produção, além de vias de acesso sem pavimento, o que prevalece a formação de lama em dias chuvosos, conforme mostra a figura 11a. Além disso, não foi observado um sistema de drenagem adequado sem acúmulo de resíduos.

Observou-se que o forro do teto, as paredes e as portas estavam com manchas e sujeiras (figura 11b). Também não foram encontradas proteção contra insetos e roedores por meio da aplicação de telas, portas com molas e proteção inferior, ralos com sifão e proteção.

**Figura 11:** (11a) Via de acesso a entrada principal. (11b) Porta do ambiente de produção

Os demais critérios avaliados foram observados em conformidade como a localização em área livre de focos de contaminação, objetos em desuso, pisos de material liso, resistente, impermeável, fácil limpeza e bom estado de conservação.

Outros itens avaliados em conformidade foram as instalações sanitárias separadas por gênero, com vasos sanitários, mictórios e lavatórios, servidos de água corrente e conectados à rede de esgotos ou fossa aprovada, sem comunicação direta com áreas de trabalho e de refeições, em condições adequadas de limpeza e higiene (dotadas de produtos adequados à higienização pessoal),

No caso dos resíduos sólidos, presença de lixeiras com tampas e com acionamento não manual e coleta frequente do lixo, com destino adequado; lixo doméstico no interior do estabelecimento em recipientes tampados, limpos e higienizados constantemente.

Outros resíduos adequadamente tratados e lançados sem causar incômodo à vizinhança e ao meio ambiente. além de avisos com os procedimentos para lavagem das mãos, vestiários separados por gênero, com chuveiros em número suficiente, existência de lavatórios na área de manipulação com abastecimento de água, em condições adequadas de limpeza e higiene (dotados de produtos adequados à higiene das mãos).

O abastecimento de água potável da fabriqueta é originado da rede pública com caixa d'água e instalações hidráulicas: dotada de tampa e em perfeitas condições de uso (livre de vazamento, infiltração e descascamentos). Em condições adequadas de higiene, limpeza e execução de limpeza periódica (6 meses).

#### b) Equipamentos e utensílios

Não foram encontrados em conformidade, os equipamentos em higienização adequada, como por exemplo, alguns utensílios expostos ao banho-maria (Figura 12), porém, os demais critérios como equipamentos dotados de superfície lisa, impermeável, de fácil limpeza e desinfecção e de material não contaminante, em bom estado de conservação e funcionamento, em condições adequadas de limpeza, além de utensílios de superfície lisa, em material não contaminante, de tamanho e forma que permitam fácil limpeza. No tocante ao armazenamento de utensílios e equipamentos em local apropriado, a forma

ordenada e a proteção contra contaminação estavam em conformidade.

**Figura 12:** Recipiente de limpeza de utensílios em banho-maria



#### c) Higienização dos equipamentos e instalações

Outro aspecto fundamental para garantir a qualidade dos queijos é a higienização das instalações e dos equipamentos. Para isso, é importante que toda a equipe envolvida na produção dos queijos conheçam alguns conceitos básicos estabelecidos pela ANVISA/MS nº 275, de 21 de outubro de 2002, como a limpeza que consiste na operação de remoção de resíduos de alimentos, sujidades e ou outras substâncias indesejáveis; desinfecção que significa a operação de redução, por método físico e/ou agente químico, do número de microrganismos a um nível que não comprometa a segurança do alimento e higienização que é a operação que se divide em duas etapas, limpeza e desinfecção.

O local designado para limpeza e desinfecção de equipamentos e utensílios não está isolados das áreas de processamento, mesmo existindo higienização adequada, a disponibilidade e adequação de utensílios (escovas, esponjas etc.) necessários à higienização, a disponibilidade de produtos de higienização regularizados e necessários à realização da operação estavam coerentes com o ambiente.

#### d) Pessoal na área de produção / manipulação

Não foi possível verificar afecções cutâneas, feridas, supurações, ausência de infecções oculares, respiratórias e gastrointestinais no quadro funcional da fabriqueta, portanto foi avaliado como não se aplica. A utilização de uniformes adequados, de cor clara, sapatos fechados e gorros que contenham todo o cabelo; a identificação de uniformes limpos e em bom estado de conservação; o asseio pessoal adequado como a boa apresentação, asseio corporal, unhas curtas, sem esmalte, sem adornos; hábitos higiênicos adequados como a lavagem cuidadosa das mãos sempre que necessário, foram verificados em conformidade.

#### e) Matérias-primas

A realização de análises de controle do leite *in natura*, de acordo com os critérios como pistola para álcool alizarol, acidímetro, termo lacto densímetro, termômetro em um laboratório na propriedade estão em conformidade com as boas práticas de fabricação e

a legislação vigente.

f) Fluxo de produção / manipulação

O destino adequado para os produtos alterados/impróprios para o consumo não se aplica a fabriqueta. Os locais para pré-preparo e preparo estão isolados; a manipulação higiênica; o produto acondicionado em embalagem adequada e protegido; e a temperatura de armazenamento adequada estão conformidade com o BPF e a legislação vigente para a produção.

g) Controle de pragas e registros

Não foram identificados ninhos e resíduos orgânicos de animais vetores de doenças, e a existência de controle para prevenir/eliminar o acesso/proliferação de pragas não se encontravam sem a aplicação de telas protetoras. Não foi possível ter acesso as planilhas de registro de controle de insetos vetores.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foi feito um estudo de caso de uma fabriqueta de queijo do município de Nossa Senhora da Glória-SE e foram identificadas as boas práticas desenvolvidas nesse ambiente de produção, como por exemplo, em relação a caracterização final do produto, os queijos são armazenados na câmara fria. Os produtos são colocados sobre um *pallet* fino e em caixas transportadoras até o comércio por meio de veículos refrigerados e fechados.

Quanto aos resíduos produzidos são do tipo orgânico e, estes são armazenados temporariamente por separação residual em caixas sépticas, e as condições hidrossanitárias não tem conexão direta com as instalações de produção. Não foi relatado nenhum outro tipo de criação animal.

Na estrutura física da fabriqueta, os cantos das paredes estavam sujas e com tubulação aberta, além de uma mangueira exposta no piso, além de motores de resfriamento totalmente expostos ao ambiente, o que torna um risco de choques elétricos aos funcionários, além de acumular impurezas abaixo do motor; umidade e corrosão, que podem ocasionar danos nos motores.

Os queijos da fabriqueta em estudo possuem certificação de serviço de inspeção municipal (SIF), e que para continuar com esse selo, a queijaria mantém disponível, para fins de comercialização, um manual de boas práticas de fabricação dos queijos, e recebe assistência técnica do poder público.

Algumas condições higiênico-sanitárias como edificação, no tocante as vias de acesso sem pavimento; utensílios, referente a alguns utensílios que são higienizados de forma exposta ao banho-maria, o que torna importante na aplicação de boas práticas de fabricação, para ter produtos com qualidade e níveis adequados de segurança.

Considerando-se a importância econômica e cultural das fabriquetas de queijo para o estado de Sergipe e para a preservação das tradições locais, espera-se fornecer subsídios para a implementação de boas práticas de fabricação, promovendo o equilíbrio entre a preservação do patrimônio cultural e a garantia da saúde pública.

Com base nisso, este estudo pretende contribuir para a discussão sobre a necessidade de regulamentação e fiscalização das pequenas unidades produtoras, a fim de garantir que os queijos artesanais produzidos em Sergipe possam oferecer um alimento seguro e nutritivo para seus consumidores.

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Sergipe, pelo suporte necessário à realização da pesquisa.

Ao Sr. Dijalcir Ferreira de Aragão, Secretário Municipal de Agricultura e Pecuária de Nossa Senhora da Glória/SE, pelo apoio, fornecendo-nos informações relevantes e intermediando o acesso à Fabriqueta de Queijo para a realização desse trabalho.

## REFERÊNCIAS

- [1] ASCOM PARLAMENTAR. 2019. Linha de crédito do Banese será criada para apoiar fabriquetas de queijo de Sergipe. Assembleia Legislativa do Estado de Sergipe. Disponível em: <https://al.se.leg.br/linha-de-credito-do-banese-sera-criada-para-apoiar-fabriquetas-de-queijo-de-sergipe/>. Acesso: 27/12/2019.
- [2] ANVISA. Resolução anvisa rdc nº 275, de 21 de outubro de 2002. D.O.U. de 06/11/02. Disponível em <https://www.ibama.gov.br/>. Acesso em 08 de outubro de 2024.
- [3] ATANGANA, A.; KHASA, D., CHANG, S.; DEGRANDE, A. Definitions and Classification of Agroforestry Systems. In: Tropical Agroforestry. Springer, Dordrecht, 2014. Disponível em: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-007-7723-1\\_3](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-007-7723-1_3). Acesso em: 27 jan. 2020.
- [4] BELIK, Walter. Circuitos de Agricultura Familiar no Brasil: Notas para discussão. In: DELGADO, G.C.; BERGAMASCO, S.M.P. (Org.). Agricultura Familiar Brasileira: Desafios e Perspectivas de Futuro. Brasília: Secretaria Especial de Agricultura e do Desenvolvimento Agrário, 2017. p. 223-244.
- [5] BRASIL. Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005.
- [6] BRASIL. Resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011. Publicada no Diário Oficial nº 92 em 16 de maio de 2011.
- [7] BRASIL. Instrução Normativa n. 5 – 14 fev. 2017. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Brasília, DF, 2017.
- [8] BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria n. 2.914, de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Disponível em: <http://bvsms.saude.gov.br> Acesso em: 15 dez. 2017.
- [9] DA LUZ, J.C.S. Cartilha: boas práticas de fabricação na produção de queijo artesanal serrano. EMATER. Rio Grande do Sul/ASCAR. Porto Alegre, RS, 2019. 38 p.
- [10] DA SILVA, F. O. Diagnostico da importância da comercialização e distribuição dos produtos artesanais derivados do leite no alto Sertão Sergipano. Trabalho de conclusão de curso. Universidade Federal de Sergipe. Nossa Senhora da Glória, 2019.
- [11] DANTAS, I. O. Análise da estrutura e das condições do ambiente de trabalho nas fabriquetas de queijos nos municípios de Monte Alegre/se, Nossa Senhora da Glória/se e Porto da Folha/SE. Trabalho de conclusão de curso. Universidade Federal de Sergipe. São Cristóvão, 2020.
- [12] DOS REIS, E. O. A agricultura familiar e a transformação de sua produção como contribuição ao desenvolvimento local: o caso de um município do noroeste colonial do RS. Editora Dialética, 2024.
- [13] EMATER-MG. 2009. Queijo Minas Artesanal: Guia Técnico para implantação de Boas Práticas de fabricação em Unidades de Produção do Queijo Minas Artesanal. Belo Horizonte. Disponível em: <http://www.emater.mg.gov.br/doc/f>
- [14] EMDAGRO, 2023. Bovinocultura de leite: informações estatísticas de 2016 a 2022. Disponível em <https://emdagro.se.gov.br/>. Acesso em 08/10/2024.
- [15] EMDAGRO. 2020. Em Glória, Emdagro discute processo de regularização das queijarias. Sergipe. Disponível em: <https://www.emdagro.se.gov.br/>
- [16] Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Empraba). Disponível em <https://www.infomoney.com.br/business/queijo-artesanal-cai-no-gosto-do-consumidor-e-ja-representa-20-do-mercado-nacional/>. Acesso em 10 de outubro de 2024.
- [17] FRAGA, É. E. A., RODRIGUES, S. M. D. S., VASCONCELOS, C. R. D., SANTANA, J. R. D., SANTOS, M. J. C.

D., & SILVA, D. P. D. Análise do descarte ambientalmente correto da produção do queijo coalho em fabriquetas do Sertão Sergipano. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, Fev, Mar, Abr, Mai 2016 - v.7 - n.2, 2016.

- [18] GARCIA, J. R.; SCHLICHTING, A. P.; NETO, S. P.; JESUS, N.N. Boas práticas agropecuárias para produção de Queijo Artesanal Serrano. Florianópolis: Epagri, 2023. 47p. (Epagri.Boletim Didático, 173).
- [19] DE RESENDE GONÇALVES, N. Processos Químicos na Indústria de Produção de Queijo. Trabalho de conclusão de curso. São João Del Rey, 2017.
- [20] IBGE 2023. Censo Agropecuário. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/> Acesso: 08/10/2024.
- [21] INSTRUÇÃO NORMATIVA SMAP-SIM Nº 002/2022. Prefeitura Municipal de Nossa Senhora da Glória. 08 de Agosto de 2022. Disponível em <https://gloria.se.gov.br/>. Acesso em 07 de outubro de 2023.
- [22] LEI MUNICIPAL Nº 1.141. Prefeitura Municipal de Nossa Senhora da Glória. 06 de Junho de 2022. Disponível em <https://camaradeglória.se.gov.br/>. Acesso em 07 de outubro de 2023.
- [23] LOPES, T.H.C.R.; SANTANA, G.U.S.; SANTANA, J.R.; Dos SANTOS, G.T. Potencialidades setoriais em sergipe entre 2010 e 2020. *Revista de Desenvolvimento Econômico*, N. 54 - Jan./Dez. 2023.
- [24] MAPA. Governo regulamenta o Selo Arte, que vai permitir a venda interestadual de alimentos artesanais. 2019. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/>. Acesso em 13 out. 2021.
- [25] MENEZES, S. De S. M.. A força dos laços de proximidade na tradição e inovação no/do território sergipano das fabriquetas de queijo. Tese (Doutorado em Geografia) – Núcleo de Pós-Graduação em Geografia Pró-Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, SE, 2009, 359 f.
- [26] MONTEIRO, R. P.; MATTA, V. M. da (Ed.). Queijo Minas artesanal: valorizando a agroindústria familiar. Brasília, DF: Embrapa, 2018. cap. 6, p. 82-95.
- [27] NAIR, P. K. R.; VISWANATH, S.; LUBINA, P. A. Cinderella agroforestry systems. *Agroforestry Systems*, v. 91, n. 5, p. 901-917, 2017. Disponível em: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2Fs10457-016-9966-3.pdf>. Acesso em: 04 novembro de 2024.
- [28] NASCIMENTO NETO, F. do (Org.). Recomendações básicas para a aplicação das boas práticas agropecuárias e de fabricação na agricultura familiar. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2006. 243 p. (Programa de Agroindustrialização da Agricultura Familiar).
- [29] PESSANHA, P. A. M. R., JÚNIOR, M. E., & PÓVOA, C. L. R. Economic feasibility for the development of agribusiness: milk production or Minas frescal cheese manufacturing. *Informe Gepec*, 28(2), 226-249, 2024.
- [30] POMPEIA, C. Formação Política do Agronegócio. São Paulo: Editora Elefante, 2021.
- [31] PPA, plano plurianual 2020-2023 programa temático: Desenvolvimento e Rural Inclusão Produtiva. O Planejamento Estratégico e ao Orçamento – i-Gesp. Em 06/09/2019, Disponível em <https://www.emdagro.se.gov.br/>. Acesso em 08/10/2024.
- [32] RODRIGUES, S.A.S. A inserção da agricultura familiar na constituição Da cadeia produtiva do leite no município de Nossa Senhora da Glória/SE. Dissertação de Mestrado. Programa de pós-graduação em geografia, 2015.116f.
- [33] ROSA, V. P. da; PORTO, E.; SPOTO, M. H. F. Avaliação Microbiológica e Sensorial de Queijos Minas Frescal Embalados sob Atmosfera Modificada. *Revista Higiene Alimentar*. Sao Paulo, v. 19, n. 132, p. 58-64, jun. 2005.
- [34] SANTANA, M.M.S. A mobilidade do trabalho em comunidade camponesa do Movimento dos Pequenos Agricultores (MPA) no alto sertão sergipano. 2018. 139 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, SE, 2018.
- [35] SERGIPE. Norma Estadual, Lei nº 8523 de 29 de abril de 2019. Governo de Sergipe. Publicado no DOE em 23 mai 2019.
- [36] SILVA, D. J. P. DA. Resíduos na Indústria de Laticínios. Série Sistema de Gestão Ambiental. Viçosa-MG. 2011.

- [37] SOUSA SANTOS, R.M.; DOS SANTOS, J.O.; DA COSTA, L.M.; DE ANDRADE, J.R.; CUNHA, D.S.; DANTAS, J. Cap.I - Uma abordagem sobre os problemas ambientais gerados pelos resíduos de uma queijaria. In SANTOS, J. O. Meio ambiente & sustentabilidade. Patos - PB, Grupo de Estudos Avançados em Desenvolvimento Sustentável do Semiárido – GEADES, 2017. 116p.
- [38] VON SPERLING, M. Princípios de Tratamento Biológico de Águas Residuárias, 1ª ed.; DESA-UFMG: Belo Horizonte, Minas Gerais, 2005.
- [39] VILELA, D. De RESENDE, J.C.; LEITE, J.B.; ALVES, E. A evolução do leite no Brasil em cinco décadas. Revista de Política Agrícola, v. 26, n. 1, p. 5-24, 2017.

# Capítulo 3

## *Valorização e aplicação dos subprodutos do leite – soro do leite e leitelho: a review*

*Caroline Crivelaro de Oliveira*

*Emilly Brito Ferreira*

*Kethleen Brito Ferreira*

*Julie Suzan da Silva*

*Tayane Siqueira Garcia Alves*

*Elayne dos Santos Araújo*

*Mirya Bezerra Viana Marinho*

*Alaiana Marinho Franco*

*Pither Jhoel Javier Sucari*

*Yesenia Milagros Turpo Mamani*

*Angelica Marquetotti Salcedo Vieira*

**Resumo:** A utilização dos resíduos industriais gerados no processamento de derivados lácteos ocorre a muito tempo e isto se deve a sua qualidade nutricional e ao fato de que a indústria busca cada vez mais minimizar as perdas durante a produção. Consequentemente tem-se aumentado a aplicabilidade desse subproduto através de novas tecnologias e desenvolvimento de novos produtos resultando em agregação de valor a esses resíduos. A posse de domínio dessa tendência de mercado é de extrema importância tanto para a geração de novos produtos, como também uma ferramenta estratégica de concorrência no mercado de lácteos. A maioria dos produtos desenvolvidos com o subproduto do leite tem como principal função redução ou troca de um ingrediente da sua composição que seja prejudicial à saúde, aumento da ingestão de proteínas e a redução do impacto ambiental. Desta maneira este artigo de revisão tem como objetivo demonstrar com fundamentação em artigos científicos e pesquisas realizadas até o momento, a capacidade de utilização dos principais subprodutos do leite como matéria prima para a utilização na indústria de produtos alimentícios.

**Palavras-Chave:** Soro do leite, proteínas, leitelho, subprodutos.

## 1. INTRODUÇÃO

No Brasil a produção de leite e o tratamento de leite e seus derivados têm considerável efeito na atividade econômica do país, sendo de suma importância o entendimento de que o desenvolvimento de novos produtos é um dos métodos mais importantes na estratégia de concorrência no mercado dos lácteos. São obtidos através do processamento do leite três subprodutos lácteos principais, sendo eles: o leitelho, soro do leite e as proteínas do leite, estas sendo utilizados como constituintes essenciais no desenvolvimento de novos produtos.

O leitelho na indústria de alimentos é um dos principais subprodutos, sendo gerado no processo de produção de manteiga na mesma proporção (Boylston, 2019; Ali, 2019). Sua composição é similar à do leite desnatado, com exceção da quantidade de proteínas e fosfolipídios que são resultantes da membrana do glóbulo de gordura (Lambert et al., 2016), tornando-o um ingrediente com excelente valor nutricional e de alta funcionalidade na indústria de alimentos (Boylston, 2019). Consequentemente há um aumento exponencial na utilização do leitelho, uma vez que ele possui capacidade de substituição do leite, resultando assim na redução do custo de produção, aumentando o valor nutritivo dos produtos e enriquecendo as propriedades funcionais, podendo ser utilizado no processo de produção de bebidas lácteas (Teixeira et al., 2020).

Os ácidos graxos araquidônico e DHA (Ômega-3), que apresentam função estrutural do tecido nervoso, com estudos na área a indícios de que por meio da sua suplementação a melhora das disfunções cognitivas acarretadas pela doença de Alzheimer, devido a composição do leitelho possuir esses componentes (Soinien et al., 2021). O leitelho pode ser utilizado em diversas formulações dentre elas a produção de sorvetes, queijos, doces de leite e bebidas lácteas. (Rosa et al., 2021)

Sendo o principal subproduto utilizado a indústria láctea o soro do leite possui uma extensa demanda como componente na indústria de alimentos. O soro de leite vem sendo introduzido devido as rigorosas leis ambientais que proíbem o descarte de produtos com alta DBO (demanda bioquímica de oxigênio), com tudo a evidência do alto valor nutricional dos constituintes do soro de leite e com o desenvolvimento de novos métodos para o seu fracionamento (Gernigon et al., 2010). Também estão presentes no soro do leite as proteínas que possuem diversos benefícios para os seres humanos, dentre elas as de construção e reparo dos músculos e osso, respiração celular, além de fornecer energia ao corpo. Muitos outros benefícios estão relacionados ao processo metabólico, como a proteção do sistema cardiovascular e as atividades antimicrobiana, imunoestimulante e antiviral (Sgarbieri, 2005; Haraguchi et al., 2006).

Com o crescimento da utilização de componentes lácteos proteicos com interesse na utilização na produção de alimentos funcionais (Almeida et al., 2014), tendo em vista que o soro do leite é produzido como um resíduo do processamento de queijos, atualmente não há produção em grande escala para atender a demanda nacional desse subproduto, conforme os dados apurados junto ao MAPA (2017), uma vez que o Brasil tem importado um número considerável de soro em pó (MDIC/SECEX, 2017). No ano de 2021 as importações feitas pelo país foram de aproximadamente 14,6 mil toneladas apenas no mês de fevereiro, dentre essas importações estão o soro de leite, leite em pó desnatado e integral, queijos, manteigas e iogurtes (Revista-FI, 2021).

A fim de reduzir o desperdício de subprodutos, que acarretam a perda de valor nutricional e financeiro além de gerar impacto ambiental significativo, há uma enorme preocupação na processamentos de novos produtos utilizando o soro de leite e outros subprodutos.

O objetivo do presente trabalho é evidenciar a capacidade de aplicação dos inúmeros subprodutos de derivados lácteos e suas tendências.

## 2. METODOLOGIA

O presente trabalho consistiu em realizar uma pesquisa a partir de um levantamento bibliográfico referente aos anos 2004 até 2024. Primeiramente foi realizada uma busca geral na base de dados do Google Acadêmico, Science Direct, Lilacs e Scielo nos idiomas português, espanhol e inglês. Os estudos foram eleitos através da verificação dos títulos obtidos através do uso das palavras chaves: subproduto do leite, aplicação do soro do leite e aplicação do leiteiro. Após a escolha dos artigos, eles foram analisados por completo.

Para a resolução deste trabalho foram considerados os artigos que abordaram o cenário da utilização do soro de leite e leiteiro na indústria de alimentos. Os estudos foram analisados e em caso de duplicata se excluiu uma delas.

A Tabela 1 apresenta as publicações relacionadas às palavras chaves para a pesquisa dos artigos em um período entre 2004 até 2024. O termo geral pesquisado primeiro foi subproduto do leite resultando em 131.493 artigos nas bases de dados, ao pesquisar sobre aplicação do soro de leite houve uma grande redução apresentando 48.876 respostas e para aplicação do leiteiro também houve redução significativa em 2.393 artigos. Como o objetivo do trabalho era avaliar estudos da utilização dos subprodutos do leite, ainda foi analisado os dois principais subprodutos sendo eles o soro do leite e o leiteiro ocorreu um afunilamento da quantidade de artigos relacionados. Entretanto, pelo número grande de artigos foi realizada a leitura dos títulos e resumo para identificar se tinham relação ao trabalho proposto e então chegamos ao número definitivo dos artigos utilizados para a elaboração do trabalho.

**Tabela 1** - Artigos relacionados às palavras chaves pesquisadas nas bases de dados

| Palavra-chave              | Google Acadêmico | Science Direct | Lilacs |
|----------------------------|------------------|----------------|--------|
| Subproduto do leite        | 16.000           | 115.435        | 58     |
| Aplicação do soro do leite | 15.800           | 33.065         | 11     |
| Aplicação do leiteiro      | 477              | 1.916          | 0      |

Fonte: Autoria própria (2024).

## 3. REVISÃO DE LITERATURA

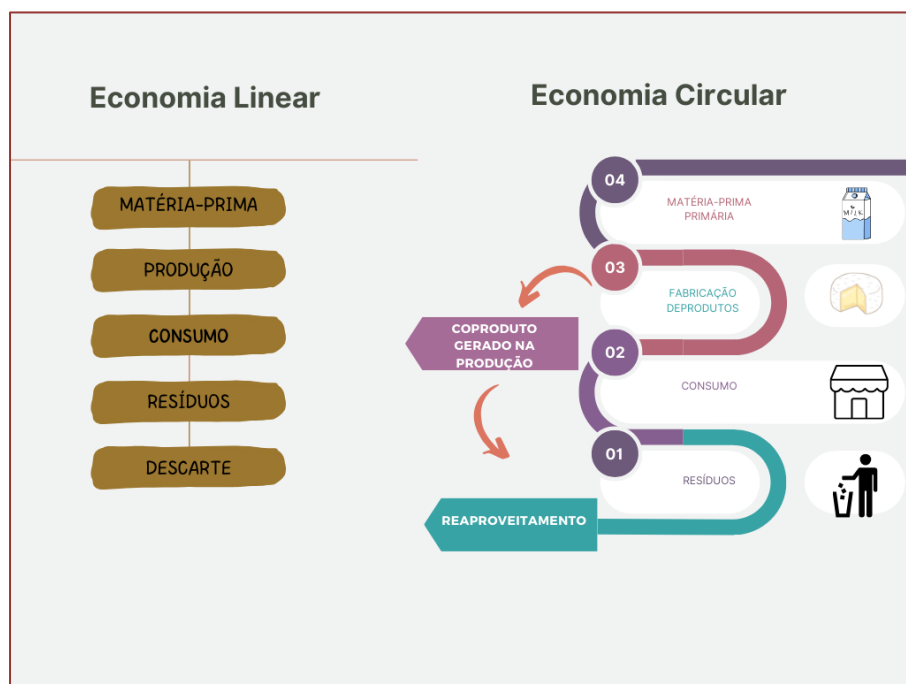
Uma quantidade significativa de resíduos sólidos e líquidos e gases poluentes são emitidos e produzido pelas indústrias de laticínios afetando de maneira significativa o meio ambiente. Sabe-se que a cada kg de leite processado na indústria, aproximadamente 2,3 L são de água residual, contendo compostos químicos, gordura entre outros componentes poluidores (Rotz et al., 2021). Portanto, a legislação ambiental obriga que todas as empresas, tratem e descartem de forma adequada seus resíduos independentemente do seu potencial de poluição ou porte da empresa (Sivaprakasam; Balaji, 2021).

As indústrias do setor de laticínios possuem um custo ambiental alto decorrente do seu consumo elevado de energia para processos de aquecimento/pasteurização e refrigeração de seus produtos (Akinyemi et al., 2021). Para exemplificar esse consumo de maneira mais prática, para a produção de cada kg de manteiga são necessários cerca de 5.500 L de água e 4 MJ de energia. Para diminuir esse resíduo de água as indústrias costumam utilizar essa água em outras atividades, como na geração de vapor, lavagem de carros, desinfecção de superfícies e uso dos banheiros. Dentro da indústria de laticínios existem duas principais fontes de energias sendo elas a eletricidade e o gás natural, que em conjunto caracterizam cerca de 85% do consumo de energia de industrial (Rad; Lewis, 2014).

O leite e seus derivados são classificados como alimentos de alto valor nutricional, e seu consumo vem aumentando de maneira significativa com o passar dos anos com a finalidade de restauração e preservação a saúde humana; em 2020 o consumo de leite e seus derivados no Brasil cresceu cerca de 5,3% (Siqueira et al., 2021). Estima-se que a demanda por produtos de origem láctea no país para os próximos anos, em consequência do crescimento da demanda das nações em desenvolvimento, estimulado pelo aumento da população e o estilo de vida (FAO, 2021). Sendo assim, a busca pelo consumo e a elevada produção de lácteos para suprir essa demanda podem favorecer o agravamento de problemas ambientais nos anos seguintes (Chalermthai et al., 2021).

Com tudo já exposto, é de elevada importância que as indústrias, principalmente do setor de laticínios, apliquem ferramentas e métodos sustentáveis para aproveitar todos os recursos naturais minimizando ao máximo a geração de resíduos. De maneira estratégica é inteligente que a indústria de laticínios introduza a economia circular expressa na figura 1, para que a produção de lácteos reduza seu impacto ambiental, em especial os que causam impacto na saúde humana e no desenvolvimento social.

**Figura 1:** Economia linear versus Economia Circular na indústria de laticínios



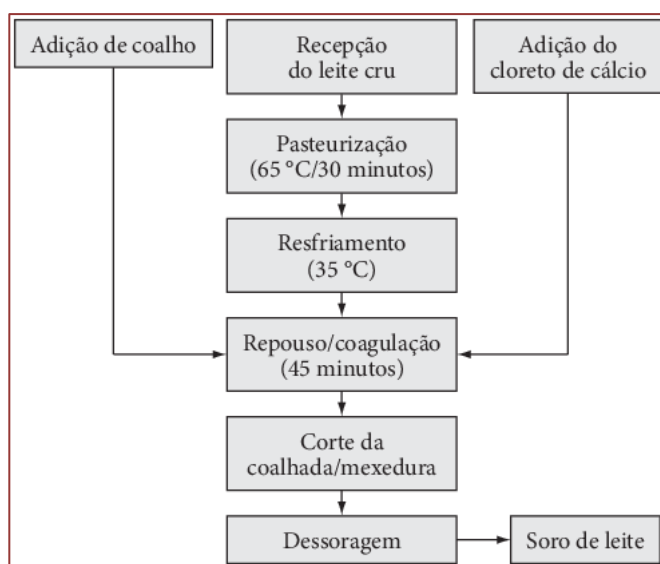
Fonte: Santos, 2024, adaptado.

Portanto é de suma importância implementar ferramentas para que ocorra transformações regenerativas, substituindo os processos industriais lineares, proporcionando, maneiras sustentáveis de produção e consumo (Kirchherr; Reike; Hekkert, 2017).

### 3.1. SORO DO LEITE

O soro do leite é um subproduto da indústria de alimentos do setor de laticínios, ele representa uma parte aquosa do leite que se desprende do coágulo ou da caseína no processo de fabricação do queijo, este pode ser identificado como um líquido opaco e de coloração amarelo-esverdeado, a figura 2 mostra o processo de obtenção do soro do leite através da fabricação do queijo (Giraldo-Zuñiga et al., 2004; Guimarães et al., 2010).

**Figura 2:** Processo de obtenção do soro do leite



**Fonte:** Lira et al., 2009.

A composição do soro e seu sabor, moderadamente ácido ou doce irá depender do tipo de operação realizada para a coagulação do leite como também a fabricação do queijo. O soro ácido é obtido através da coagulação ácida do leite para a produção de caseína ou de queijo do tipo Cottage, o potencial hidrogênio deste soro varia entre 4,3 e 4,6. Na operação de coagulação enzimática do leite é obtido o soro doce, onde ocorre a incorporação da enzima renina, que tem como função coagular a caseína, esse soro é obtido através da produção de queijos do tipo Cheddar ou Emmental (Alves *et al.*, 2014).

A constituição de ambos os soros é similar em comparação a maioria das proteínas já presentes, essas proteínas constituem-se por duas frações principais: as caseínas que representam aproximadamente 80% e as demais proteínas do soro do leite, como  $\beta$ -lactoglobulinas,  $\alpha$ lactoalbuminas, soroalbuminas e imonoglobulinas, com cerca de 20%.

O soro ácido possui maior teor de cálcio e fosforo quando comparado ao soro doce, correlacionado à solubilização do complexo fosfato de cálcio presentes nas micelas de caseína em pH ácido. No soro doce a ação enzimática pela renina não ocasiona a redução

do pH, deste modo os íons de cálcio são retidos e agregados às caseínas, no queijo. Este soro possui maior teor de lactose quando comparado ao soro ácido que possui uma elevada concentração de sais minerais. A concentração de lactose no soro ácido é resultante do processo de fermentação, onde uma pequena fração de lactose é transformada em ácido lático durante o processo de coagulação (Paboeuf et al., 2011).

Os produtos proteicos podem ser aplicados como ingredientes para elevar as propriedades funcionais dos alimentos, como a gelificação, solubilidade, viscosidade, formação de gel de espuma e emulsificação, tudo isso ocorre devido a concentração do soro acarretando o desenvolvimento desses produtos funcionais (Bauman et al., 2006).

Os produtos isolados proteicos são de extrema importância como suplementação alimentar, como por exemplo em bebidas para praticante de esportes de média e alta intensidade, pois fornece fonte de proteína em quantidades semelhantes à de uma refeição diária. Também pode se utilizar na fabricação de produtos assados e em carne processada devido a capacidade dessas proteínas do soro do leite absorver água e por sua característica de gelificação (USDEC, 2014).

De acordo com Lukin (2020) o soro do leite possui a capacidade de suprir parcialmente a proteína da carne, como também pode substituir de maneira integral ou uma parcela da proteína de soja e outros agentes de ligação e hidrocolóides. Seu uso permite a melhora da qualidade de produtos cárneos.

Por fim os concentrados de soro de leite possuem vasta aplicação na produção de molhos para saladas, sopas e bebidas nutricionais devido a sua ação emulsificante (USDEC, 2014).

### **3.1.1. UTILIZAÇÃO DO SORO DO LEITE NA INDÚSTRIA ALIMENTÍCIA**

Segundo estudos o soro do leite pode ser utilizado na produção de doce de leite seguindo a legislação vigente, o trabalho em questão produziu um doce de leite com adição do soro do leite com concentração de 15 e 30%, obtendo como resultado um produto com boa aceitação sensorial, porém indicaram que é necessário maiores estudos, pois os teores de adição impactam em mudanças importantes na composição final especialmente no teor de gordura do produto (Guerra et al., 2020).

Nascimento et al., 2024 desenvolveram um analisado a produção de uma manteiga de soro, onde o soro foi obtido através da produção de um queijo minas frescal. As análises de composição centesimal, acidez, pH, rendimento e índice de peróxido, indicaram que a manteiga de soro possui maior teor de umidade, impactando nos níveis de proteína e acidez menores, os resultados significativos com a adição do soro foram em relação ao índice de peróxido ser mais baixo quando comprado a manteiga de leite acarretando assim em uma vida de prateleira maior, entretanto o seu rendimento se mostrou aproximadamente 5,6 vezes menor que a manteiga de leite, porém como o soro é um subproduto do leite esse método de produção se torna vantajoso para produtores de queijo fresco.

Sabendo que o morango é uma fruta rica em componentes bioativos que trazem benefícios à saúde, SILVA et al., 2022 elaborou a microencapsulação por *spray drying*, com o objetivo de preservar o sabor e proteger essas substâncias de degradação, utilizando proteínas do arroz, ervilha e o soro do leite como agente encapsulante. Quando a concentração do agente encapsulante se manteve fixa em 20%, os resultados se mostraram positivos uma vez que a eficiência de encapsulamento variou de 69,01 a 72,44%, a conservação de características bioativas de até 64% de antocianinas e de 56% em compostos fenólicos, nas análises de antioxidantes os resultados foram 81%, 63% e 29% para os métodos DPPH, ABTS e FRAP, respectivamente. As partículas apresentaram formas esféricas suaves e lisas na análise de MEV. O trabalho conclui que o agente mais adequado para a microencapsulação de polpa de morango foi a proteína de ervilha, porém logo e sequência ficou a proteína do soro do leite com excelentes resultados e passível de maiores estudos.

### 3.1.2. UTILIZAÇÃO DO SORO DO LEITE EM OUTROS RAMOS INDUSTRIAIS

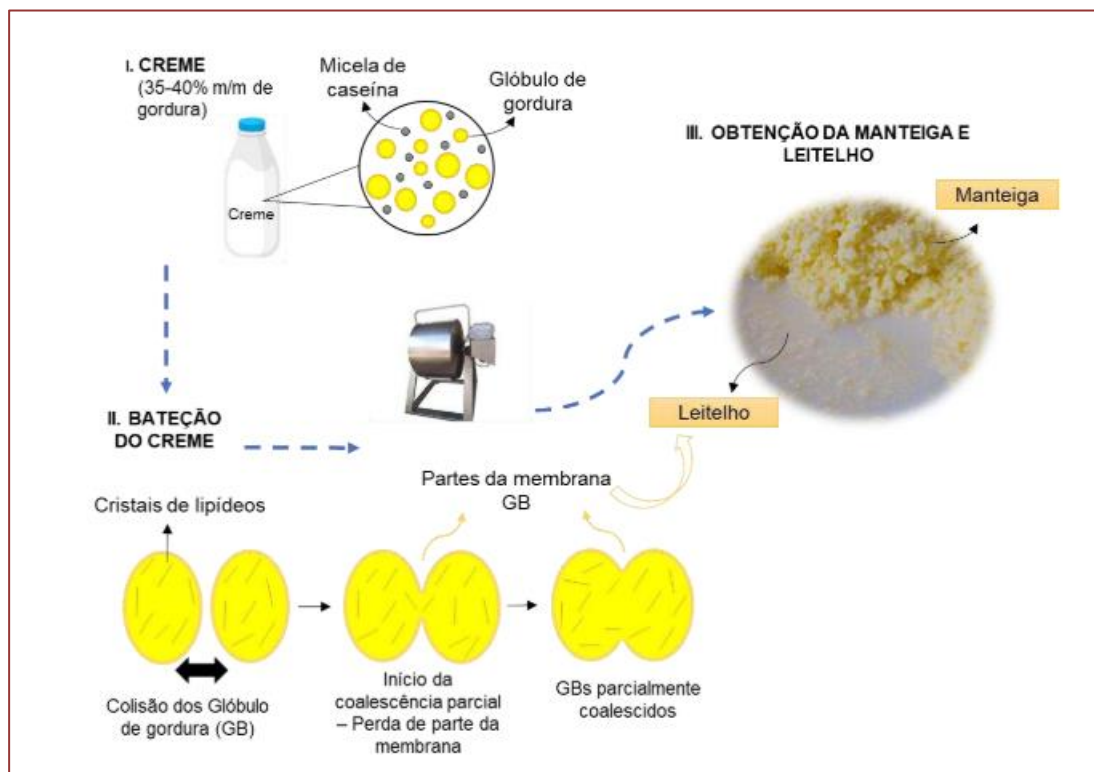
Seguindo lógica das bebidas fermentadas, alguns pesquisadores aplicaram o soro do leite para a produção de etanol, onde a matéria prima passa por fermentação em biorreatores, e o líquido fermentado é destilado resultando em um biocombustível, os resultados mostraram que a eficiência desse processo possui eficiência similar em relação ao processo realizado a partir da cana-de-açúcar, com o benefício de não gerar outro resíduo, como no caso o bagaço (Saraiva et al., 2024).

As indústrias farmacêuticas utilizam o soro em cremes e loções devido as suas propriedades hidratantes e anti-inflamatórias, e as suas proteínas estão sendo estudadas para o tratamento de pacientes com psoríase e dermatite atópica (Dias et al., 2017).

Estudos realizados mostraram que a adição do soro na produção de fertilizantes aumentou a atividade microbiana na compostagem e acelerou o processo de decomposição dos resíduos, resultando em um fertilizante orgânico rico em nutrientes (Berté et al., 2017).

## 3.2. LEITELHO

O leitelho é um subproduto lácteo obtido através da transformação do creme de leite em manteiga. Este processo ocorre ao bater o creme de leite fresco com percentual de gordura em torno de 35-40% m/m em baixa temperatura, cerca de 8 a 12°C, resultando na coalescência parcial de glóbulos de gordura onde se é liberado os triglicerídeos para a formação da manteiga, em consequência ocorre uma separação de fase aquosa chamada leitelho, como podemos ver na figura 3, o processo para a obtenção do leitelho. (Brasil, 2017).

**Figura 3:** Processo de fabricação da manteiga e extração do leitelho

Fonte: SantoS (2023).

Além de conter em grande maioria as proteínas encontradas no leite, o leitelho retém vitaminas, algumas propriedades funcionais em virtude da presença de fosfolipídeos, e por fim minerais, a sua composição centesimal consiste em aproximadamente 30% de proteínas, 45% de lactose, 6% de gordura, 8,5% de cinzas e 3,5% de umidade (USDEC, 2014). Durante a coalescência da membrana de glóbulos de gordura do leite durante a obtenção manteiga os fosfolipídeos são liberados e encontrados no leitelho. O subproduto em questão é de grande importância na indústria de alimentos devido as suas propriedades bioativas e tecnológicas beneficiando a saúde do consumidos (Ali, 2019).

Atualmente a utilização do leitelho é um desafio para a indústria do país, uma vez que na maioria dos casos esse subproduto se torna resíduo em pequenas e médias indústrias, ou é utilizado para a alimentação de animais. Porém ao comparar com o mercado internacional, este subproduto possui valor comercial, sendo consumido pela população de outros países como substituto do leite em pó convencional e em cereais (Lerayer; Brolazo; Taleb, 2001).

Por fim, o subproduto em questão oferece quantidades favoráveis de nutrientes em sua composição, resultando assim em uma alta demanda bioquímica de oxigênio que não deve ser agregado aos efluentes industriais. A valorização do leitelho como subproduto deve ser mais pesquisado, elaborando seu beneficiamento em produtos para o consumidor devido ao seu potencial tecnológico, sustentável, funcional e nutritivos, trazendo benefícios tanto para o consumidor quanto para as indústrias (Pfrimr, 2018).

### 3.2.1. UTILIZAÇÃO DO LEITELHO NA INDÚSTRIA DE ALIMENTOS

O leitelho foi utilizado em diferentes concentrações (0,5%, 1%, 2% e 4%) por Zhao et al., 2018, na produção de iogurte desnatado. Foram avaliadas as propriedades sensoriais e compostos voláteis em comparação com os iogurtes integral e desnatado sem a adição do leitelho, os autores identificaram a melhora do sabor do produto, apresentando atributos semelhantes ao iogurte natural na concentração de 1%, como também aumentou a fração de compostos voláteis, uma vez que no iogurte desnatado esses valores eram pouco.

Examinando a substituição do leite desnatado por leitelho na formulação de sorvete de forma parcial ou total, Ramos et al. (2021) demonstraram que após a substituição total do leite pelo subproduto leitelho, a formulação do sorvete apresentou melhores resultados nas análises de *overrun* e derretimento, em comparação a formulação de sorvete tradicional. As análises sensoriais também apresentaram maior aceitação e intenção de compra.

Assumpção; Paula (2013) produziram ricota com leitelho em substituição ao leite desnatado. O produto apresentou, segundo os autores, valores esperados em relação aos dados encontrados na literatura, não influenciando na preferência dos consumidores. Os autores ainda ressaltam que a substituição é uma alternativa interessante e possível quando analisado os aspectos sensoriais e tecnológico, gerando ganhos para a indústria de alimentos e o consumidor.

O leitelho foi avaliado em substituição do leite na produção do kefir por Monteiro; Gomes (2018), seguindo dois tratamentos distintos, com resultado os aceitáveis nas análises sensoriais semelhantes ao kefir elaborado com leite.

## 4. CONCLUSÃO

A aplicação dos subprodutos do leite que são retirados durante o processamento é favorável para utilização na formulação de novos produtos como substituto de algum é muito vago, coloque algo como ingrediente de corpo, aditivo etc., outros tipos que você já tenha citado no trabalho ingrediente. Em grande maioria a adição desses subprodutos tem como objetivo a redução do uso de aditivos químicos, além de aumentar o consumo de alimentos com maior teor de proteínas e outros componentes benéficos a saúde, como também reduzir o impacto ambiental uma vez que esses subprodutos seriam descartados como resíduo no meio ambiente.

Dito isto, conclui-se que é necessário uma maior investigação e desenvolvimento de pesquisas na formulação de novos produtos utilizando o soro do leite e o leitelho no processamento dos alimentos com a finalidade de melhorar o valor nutricional, aumentar a valorização do produto, como também o aceite por parte dos consumidores.

## REFERÊNCIAS

- [1] AKINYEMI, M. O. et al. A review of microbes and chemical contaminants in dairy products in sub-Saharan Africa. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 20, n. 2, p. 1188–1220, 2021.
- [2] ALMEIDA, D. F. et al. Ingredientes Lácteos proteicos. Anuário 2014. **Leite & Derivados**, São Paulo, ano 21, n. 146. p. 14-16, 2014. Disponível em: Acesso em: 10 Abril. 2024.
- [3] ALI, A. H. Current knowledge of buttermilk: Composition, applications in the food industry, nutritional and beneficial health characteristics. **International Journal of Dairy Technology**, v. 72, n.2, p.

169-182, 2019.

- [4] ALVES, M. P. et al. Soro de leite: tecnologias para o processamento de coprodutos Whey: technologies for coproducts production. **Rev. Inst. Laticínios Cândido Tostes**, Juiz de Fora, v. 69, n. 3, p. 212-226, Mai/Jun, 2014.
- [5] ASSUMPÇÃO, Giovana M.P.; PAULA, Alcimara A. A. De. Utilização do leiteiro na fabricação da ricota em substituição ao leite desnatado, 2013. **RETEC**, Ourinhos, v. 6, n. 2, p. 17-30, jul./dez., 2013.
- [6] BAUMAN, D. E. et al. Major advances associated with the biosynthesis of milk. **Journal of Dairy Science**, v. 89, n. 4, p. 1235- 1243, 2006.
- [7] BERTÉ, L. N., FERREIRA, L. F. R., MANFIO, D. C., LOPES, E. S. N., & FERNANDES, S. A. (2017). Whey addition to agroindustrial residues for composting. **Waste Management & Research**, 35(10), 1051-1056. doi: 10.1177/0734242X17728148
- [8] BOYLSTON, T. D. (2019). Byproducts from butter and cheese processing. In B. K. Simpson, A. N. A. Aryee & F. Toldrá (Eds.), **Byproducts from agriculture and fisheries: Adding value for food, feed, pharma, and fuels** (pp. 107-111). Hoboken: Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/9781119383956.ch5>.
- [9] CHALERMTHAI, B. et al. Life cycle assessment of bioplastic production from whey protein obtained from dairy residues. **Bioresource Technology Reports**, v. 15, p. 100695, 1 set. 2021.
- [10] DIAS, M. F. R. G., SILVA, T. H., REZENDE, C. A., RODRIGUES, M. V. N., & OLIVEIRA, M. B. (2017). Leite e derivados no envelhecimento da pele: benefícios e dúvidas. **Revisões críticas em ciência dos alimentos e nutrição**, 57(6), 1206-1217.
- [11] GERNIGON, G., SCHUCK P., JEANTET, R. Processing of mozzarella cheese wheys and stretchwaters: a preliminary review. **Dairy Science and Technology**, v. 90, n. 1, p. 27- 46, 2010.
- [12] GIRALDO-ZUÑIGA, A. D. Tecnologias aplicadas ao processamento do soro de queijo. **Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes**, v. 59, n. 340, p. 53-66, 2004.
- [13] GUERRA, C. R. A., Marinho, S. D. G. A., Stephani, R., Renhe, I. R. T., de Carvalho, A. F., & Perrone, Í. T. (2020). Utilização de soro de leite e amido na produção de doce de leite pastoso: rendimento, composição, perfil de textura, viscosidade e avaliação sensorial de aceitação. **Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes**, 75(1), 1-9.
- [14] GUIMARÃES, P. M. R., TEIXEIRA, J. A.; DOMINGUES, L. Fermentation of lactose to bio-ethanol by yeasts as part of integrated solutions for the valorisation of cheese whey. **Biotechnology Advances**, v. 28, n. 3, p. 375- 384, 2010.
- [15] HARAGUCHI F.K.; ABREU W.C.; PAULA H. Proteínas do soro do leite: composição, propriedades nutricionais, aplicações no esporte e benefícios para a saúde humana. **Revista Brasileira de Nutrição**, v. 19, p. 479-488, jul./ago., Campinas, 2006.
- [16] KIRCHHERR, J.; REIKE, D.; HEKKERT, M. Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 127, p. 221-232, 1 dez. 2017.
- [17] LAMBERT, S. et al. The lipid content and microstructure of industrial whole buttermilk and butter serum affect the efficiency of skimming. **Food Research International**, v. 83, p. 121-130, 2016.
- [18] LERAYER, A. L. S.; BROLAZO, E.; TALEB, O. Buttermilk: uma alternativa para o setor de leites fermentados e bebidas lácticas. **Indústria de Laticínios**, jan-fev, p.50-53, 2001.
- [19] LIRA, HÉRCULES & SILVA, MARIA & VASCONCELOS, MARIA & LIRA, HELIO & LOPEZ, ANA - MARIA. (2009). Microfiltração do soro de leite de búfala utilizando membranas cerâmicas como alternativa ao processo de pasteurização. **Ciencia E Tecnologia De Alimentos - CIENCIA TECNOL ALIMENT**. 29. 10.1590/S0101-20612009000100006.
- [20] LUKIN, A. Aplicabilidade do soro de leite em pó desmineralizado na produção de embutidos cozidos. **Songklanakarin Journal of Science & Technology**, v. 42, n. 2, 2020.
- [21] MINISTÉRIO DE AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO - MAPA. **Relatórios de produtos por UF. Brasília: MAPA, 2017. Mimeografado.**
- [22] MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR. Secretaria de Comércio Exterior - MDIC/SECEX. **Sistema de análise das informações de comércio exterior (ALICE)**. Brasília: MDIC/SECEX, 2017. Disponível em: <http://siscomex.gov.br/legislacao/secex/>. Acesso em 13 Abril. 2024.

- [23] MONTEIRO, Paulo S.; GOMES, Paôla da S. Produção de kefir como uma alternativa para a utilização de leiteiro. **Rev. Inst. Laticínios Cândido Tostes**, Juiz de Fora, v. 73, n. 3, p. 162- 171, jul/set, 2018.
- [24] MORIN, P. et al. Microfiltration of Buttermilk and Washed Cream Buttermilk for Concentration of Milk Fat Globule Membrane Components. **Journal of Dairy Science**, v. 90, n. 5, p. 2132-2140, 2007.
- [25] NASCIMENTO, H. A., Santos, I. G. R. dos, Cardoso, M. B., & Reis, R. C. dos. (2024). Utilização do soro do leite para a produção de manteiga. **Observatório de la economía latinoamericana**, 22(3), e3643.
- [26] OECD/FAO. **OECD-FAO agricultural outlook 2021–2030**. OECD Publishing Paris, France, 2021.
- [27] PABOEUF, V. et al. Processo de fabricação de ricota por ultrafiltração. **Revista Indústria de Laticínios**, v. 16, n. 92, p. 144-146, 2011.
- [28] PFRIMER, R. T. Desenvolvimento e avaliação de bebida láctea fermentada acrescida de leiteiro e saborizada com polpa de cagaita (*Eugenia dysenterica*). 2018. 91 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2018.
- [29] RAD, S. J.; LEWIS, M. J. Water utilisation, energy utilisation and waste water management in the dairy industry: A review. **International Journal of Dairy Technology**, fev. 2014.
- [30] RAMOS, I. et al. Development of ice cream with added buttermilk. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 24, 2021.
- [31] REVISTA-FI. **Importação de leite perde força nos últimos meses**. Disponível em: <<https://revista-fi.com/noticias/mercado/importacao-de-leite-perde-forca-nos-ultimosmeses>>. Acesso em: 16 Abril. 2024.
- [32] ROSA, L. N. S. et al. Leiteiro: um coproduto versátil. In: **Leiteiro: um coproduto versátil**. VIÇOSA, 2021. Disponível em: <https://www.milkpoint.com.br/colunas/thermaufv/leiteiro-um-coproduto-versatil224170/>. Acesso em: 10 abril. 2024.
- [33] ROTZ, A. et al. Environmental assessment of United States dairy farms. **Journal of Cleaner Production**, v. 315, p. 128153, 15 set. 2021.
- [34] SANTOS, H. C. Bebida fermentada sustentável “tipo iogurte grego” à base de leiteiro. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 57 p. 2023
- [35] SARAIVA, C. B., & Pinto, C. C. (2024). Do descarte ao valor: estratégias inovadoras de reutilização do soro de leite. **Revista Foco**, 17(1), e4292. <https://doi.org/10.54751/revistafoco.v17n1-174>
- [36] SGARBIERI, Valdemiro C., Revisão: Propriedades estruturais e físico-químicas das proteínas do leite. **Brazilian Journal of Food Technology**, v.8, n.1, p. 43-56, jan./mar., 2005.
- [37] SILVA, V. M. A et al. Microencapsulação da polpa de morango por spray drying: utilização das proteínas de ervilha, do soro do leite e do arroz como agente encapsulante. **1º Congresso de Segurança e Qualidade dos Alimentos, [S. l.]**, v. 1, n. 1, 2022. Disponível em: <https://publicacoes.softaliza.com.br/csqa/article/view/2626>. Acesso em: 12 abr. 2024.
- [38] SIQUEIRA, K. B. et al. Consumo de lácteos na pandemia: Principais mudanças no comportamento do consumidor brasileiro de leite e derivados durante a pandemia de Covid-19. 2021.
- [39] SIVAPRAKASAM, S.; BALAJI, K. A review of upflow anaerobic sludge fixed film (UASFF) reactor for treatment of dairy wastewater. **Materials Today: Proceedings**, v. 43, p. 1879–1883, 1 jan. 2021.
- [40] SOINIEN, H. LipiDiDiet clinical study group. 36-month LipiDiDiet multinutrient clinical trial in prodromal Alzheimer's disease. **Alzheimers Dementia**. 2021 Jan;17(1):29-40. doi: 10.1002/alz.12172. Epub 2020 Sep 13. Erratum in: *Alzheimers Dementia*. 2021 May;17(5):909. PMID: 32920957; PMCID: PMC7821311.
- [41] TEIXEIRA, I. M. D. et. al. Elaboração de bebida à base de leiteiro e análise sensorial de bebidas achocolatadas comerciais. **Brazilian Journal of Development**, v.6, n. 6, p. 42010-42022, 2020.
- [42] UNITED STATES DAIRY EXPORT COUNTIL (USDEC). Dairy Ingredients Application Library – WPC &WPI. Disponível em: <<http://www.usdec.org/Library/DIAL.cfm>>. Acesso em: 20 Abr. 2024.
- [43] ZHAO, L. et al. Addition of buttermilk improves the flavor and volatile compound profiles of low-fat yogurt. **LWT**, v. 98, p. 9–17, 1 dez. 2018.

# Capítulo 4

## *Estratégias de rotação de fungicidas para controle de doenças e maximizar a produtividade da soja*

*Guilherme Mosen de Sousa*

*Edson Trindade da Silva Sá*

*Francisco Italo Ferreira Fernandes*

*Camilo José Rodrigues Dalbó*

*João Antonio Barbosa Silva*

*Gleina Costa Silva Alves*

*Melina Korres Raimundi*

*Erica Fernandes Leão Araújo*

*Jakelinny Martins Silva*

*Milton Luiz da Paz-Lima*

**Resumo:** O objetivo deste trabalho foi avaliar a relação de diferentes programas de aplicação de fungicidas na produtividade da soja. Utilizou-se a soja cultivar DM 73i75 com população de 260 mil plantas ha<sup>-1</sup>. Em blocos casualizados, o experimento foi composto de 16 tratamentos com quatro aplicações de fungicidas (1<sup>o</sup>. V6, 2<sup>a</sup>. R1, 3<sup>a</sup>. R1+15 e 4<sup>a</sup>. R1+30). Foi avaliada as curvas temporais da doença com a severidade (S) de sete doenças (curvas de progresso), além da regressão S com produtividade (kg ha<sup>-1</sup>). Os tratamentos que apresentaram as menores % de desfolhas foram T5, T7, T9 e T10, diferindo dos demais. Todos os tratamentos com fungicidas provocaram incrementos de produtividade, diferindo estatisticamente apenas da testemunha (sem aplicação). A aplicação dos diferentes programas de fungicida geraram diferenças de severidade em maior amplitude do que de produtividade, contudo, os quatro programas de aplicação aumentaram a produtividade 1,10 vezes do que a testemunha em todos os tratamentos. Conclui-se através desse trabalho que o uso de diversas moléculas auxiliou no manejo de resistência a fungicidas, e ocasionou incrementos de produtividade.

**Palavras-chave:** curva de progresso, regressão polinomial, estágio fenológico, severidade.

## 1. INTRODUÇÃO

A resistência a fungicidas (Figura 1) é uma preocupação essencial, especialmente diante da diversidade de fitopatógenos como *Phakopsora pachyrhizi*, *Colletotrichum truncatum* e *Phomopsis phaseoli* que apresentam elevada variabilidade genética. A implementação de programas de aplicação de fungicidas diferenciados é fundamental para o manejo da resistência, permitindo que os agricultores maximizem a produtividade a longo prazo e preservem a eficácia dos produtos fitossanitários (Oliveira et al., 2017).

A soja é uma cultura de importância crucial para a agricultura global, constituindo uma das principais fontes de proteína e óleo vegetal. Contudo, sua produtividade pode ser severamente comprometida por diversas doenças, com destaque para fungos como *P. pachyrhizi* (responsável pela ferrugem asiática), *Cercospora sojina* (causadora da mancha-olho-de-rã), *Colletotrichum truncatum* (agente da antracnose) e *Fusarium* spp. (agente causal da morte-súbita), que afetam não apenas o rendimento, mas também a qualidade dos grãos (Hartman et al., 2015).

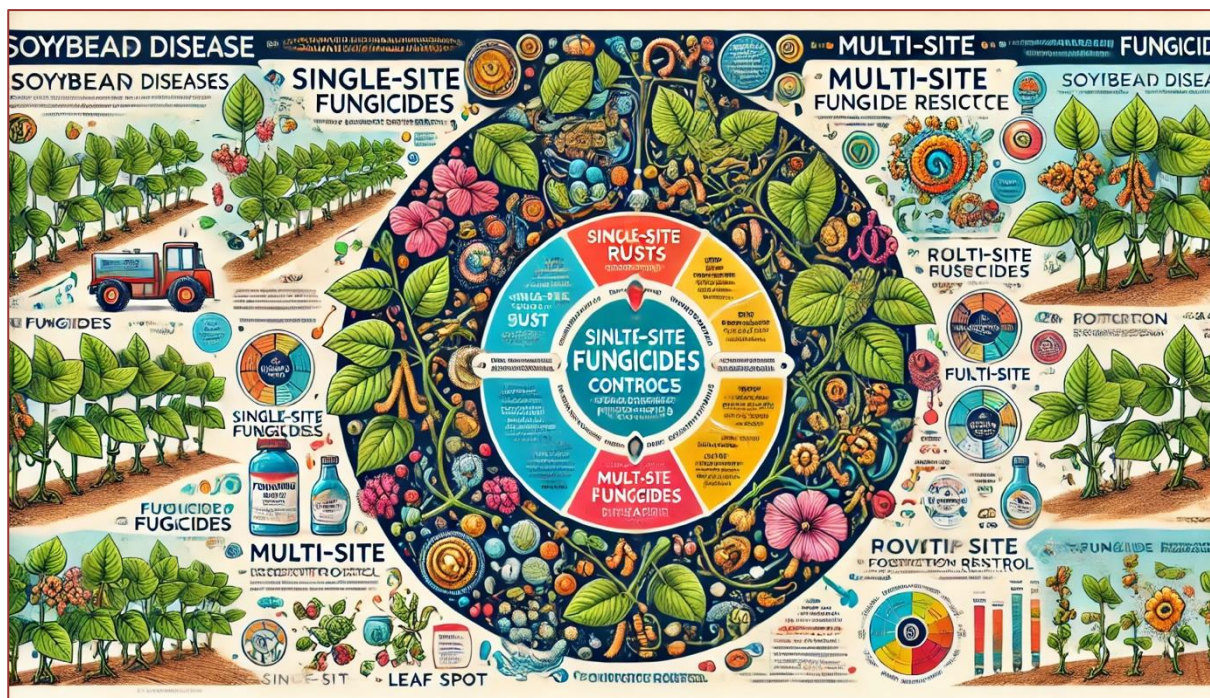
Adicionalmente, a interação entre diferentes fungos, como *Colletotrichum truncatum* e *Fusarium* spp., pode resultar em sinergismo nas infecções, na forma de complexos de doenças, agravando a severidade. Dessa forma, compreender as melhores práticas, momento e estratégias de aplicação de fungicidas torna-se uma prioridade para assegurar a saúde das lavouras de soja e, conseqüentemente, a segurança alimentar global.

Essas doenças, além de comprometerem a produtividade, podem levar à redução da qualidade dos grãos e à perda de valor comercial. O manejo eficaz é imprescindível para garantir elevados índices de produtividade e sustentabilidade da produção agrícola.

Nesse cenário, o uso de fungicidas emerge como uma estratégia (Figura 1) de controle amplamente utilizada e eficaz, desempenhando um papel crucial na redução da severidade das infecções fúngicas e na melhoria geral da produtividade das lavouras (Kumudini et al., 2014). A aplicação de fungicidas em estádios fenológicos críticos do desenvolvimento da soja pode proporcionar benefícios significativos, evidenciando um aumento no rendimento e um controle mais eficaz das fitopatologias (Davis et al., 2017).

O objetivo deste trabalho foi avaliar a relação entre diferentes programas de aplicação de fungicidas (Figura 1) e a produtividade da soja, buscando identificar práticas que potencializem o controle das doenças fúngicas e aumentem o rendimento das culturas. A pesquisa se propõe a analisar variáveis como o momento da aplicação, a dosagem utilizada e a interação entre diferentes produtos, visando estabelecer diretrizes que promovam um manejo integrado e sustentável na cultura da soja.

**Figura 1.** Estratégias de controle de doenças na soja usando fungicidas sítio-específicos e multissítios. Ela inclui seções sobre os dois tipos de fungicidas, com ilustrações de doenças comuns, como ferrugem asiática e manchas foliares, e um diagrama sobre a rotação de fungicidas para evitar resistência. A imagem está colorida e esquemática, adequada para uma apresentação científica



## 2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em uma área de 15 m<sup>2</sup> na Estação Experimental Cerrado Consultoria, utilizando a cultivar de soja DM 73i75, amplamente cultivada devido à sua resistência e adaptabilidade. Para garantir a confiabilidade dos resultados, foi adotado o delineamento experimental em blocos casualizados, com quatro repetições, permitindo um controle rigoroso das variáveis experimentais (Figura 2).

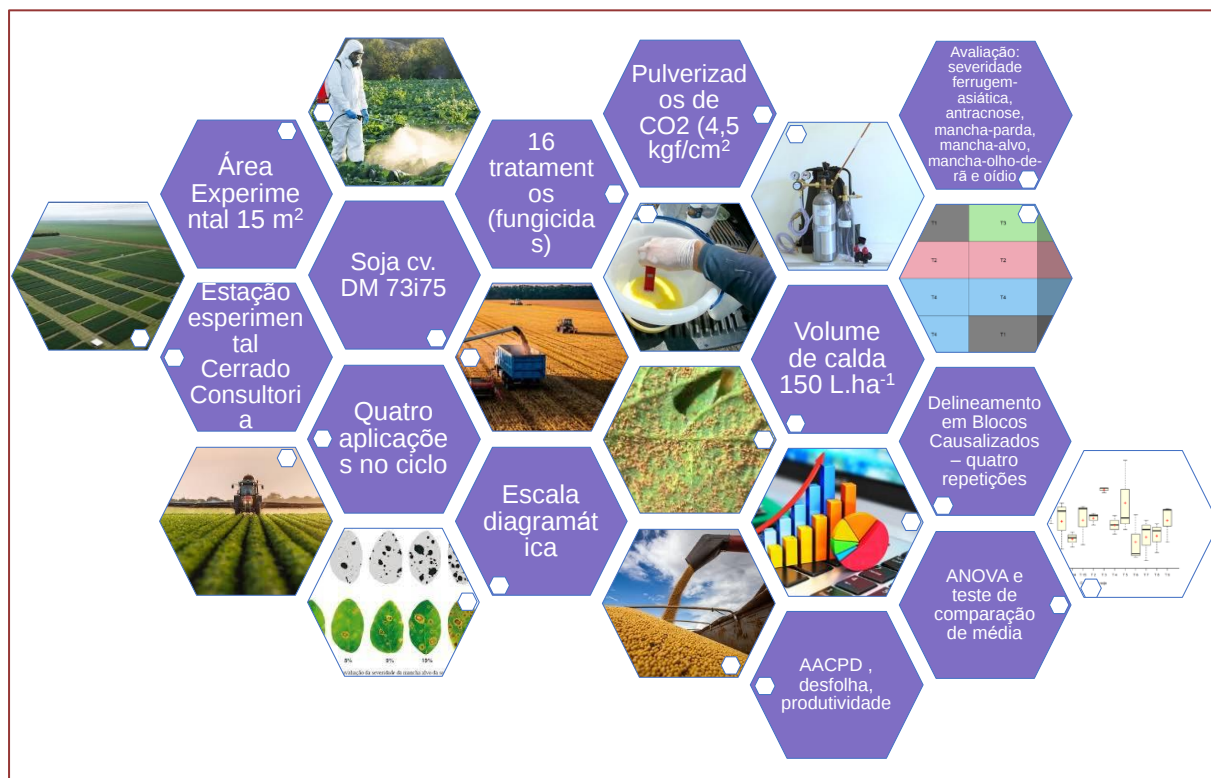
Foram aplicados 16 tratamentos de fungicidas ao longo do ciclo da cultura, distribuídos em quatro aplicações sequenciais (Tabela 1). Utilizou-se o pulverizador pressurizado de CO<sub>2</sub> a uma pressão de 4,5 kgf cm<sup>-2</sup>, uma prática comum na agricultura que assegura uma cobertura uniforme das superfícies foliares. O volume de calda utilizado foi de 150 L ha<sup>-1</sup>, o que é considerado adequado para garantir uma cobertura eficiente.

Foi avaliado a área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD), o índice de desfolha e a produtividade (PR). A AACPD quantificou a intensidade da doença ao longo do tempo, fornecendo uma medida integralizada dos dados temporais da doença. O Índice de Desfolha, por sua vez, avaliou a perda de área foliar, um indicador direto do impacto das doenças sobre a planta. Por fim, a produtividade foi mensurada pela quantidade de grãos colhidos no final do experimento, permitiu uma comparação objetiva do desempenho dos tratamentos aplicados.

A severidade e médias de AACPD foram obtidas para as doenças: Cercosporiose ou mancha-olho-de-rã causada por *Cercospora sojina*, septoriose ou mancha-parda causada

por *Septoria glycines*, mancha-alvo causada por *Corynespora cassiicola*, antracnose causada por *Colletotrichum truncatum*, ferrugem-asiática causada por *Phakopsora pachyrhizi* e oídio causado por *Erysiphe diffusa*. Construiu-se curvas de progresso temporal de cada doença estudada e seus tratamentos, além de uma regressão polinomial entre AACPD (para cada doença) com a produtividade afim de estimar e predizer o impacto dos tratamentos na cultura.

**Figura 2.** Esquema que representa a metodologia do experimento



**Tabela 1.** Listagem de tratamentos (Trat.) das quatro aplicações, em diferentes estádios fenológicos (V6, R1, R1 + 15 dias e R1 mais 30 dias) de fungicidas aplicados em soja cv. DM 73i75

| Trat. | 1a. Aplicação (V6)                                 | 2a. Aplicação (R1)                                                                                               | 3a. Aplicação (R1+15)                                                                               | 4a. Aplicação (R1+30)                                                                                  |
|-------|----------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1     | Testemunha                                         |                                                                                                                  |                                                                                                     |                                                                                                        |
| 2     | propiconazol +difenoconazol (Score Flexi 0,2 L/ha) | bixafem+protioconazol+trifloxistrobina (Fox Xpro 0,5 L/ha)                                                       | picoxistrobina+tebuconazol+mancozebe (Blindado 2,0 L/ha)                                            | trifloxistrobina+ciproconazol (Sphere Max 0,2 L/ha) +clorotalonil (Bravonil 1,0 L/ha)                  |
| 3     | propiconazol +difenoconazol (Score Flexi 0,2 L/ha) | bixafem+protioconazol+trifloxistrobina (Fox Xpro 0,5 L/ha)                                                       | benzovindiflupir+protioconazol (Mitrion 0,45 L/ha) + mancozeb (Unizeb Gold 1,5 kg/ha)               | metominostrobina+tebuconazol (Fusão 0,58 L/ha)+clorotalonil (Bravonil 1,0 L/ha)                        |
| 4     | propiconazol +difenoconazol (Score Flexi 0,2 L/ha) | picoxistrobina+tebuconazol+mancozebe (Blindado TOV 2,0 L/ha)                                                     | epoxiconazol+fluxapiroxade+piraclostrobina (Ativum 0,8 L/ha)                                        | picoxistrobina+ciproconazol (Approach Power 0,6 L/ha)+clorotalonil (Bravonil 1,0 L/ha)                 |
| 5     | propiconazol +difenoconazol (Score Flexi 0,2 L/ha) | benzovindiflupir+protioconazol (Mitrion 0,45 L/ha)                                                               | impirfluxam+tebuconazol (Excalia max 0,5 L/ha)+clorotalonil (Bravonil 1,0 L/ha)                     | azoxistrobina+mancozebe+tebuconazol (Tridium 1,75 L/ha)                                                |
| 6     | propiconazol +difenoconazol (Score Flexi 0,2 L/ha) | fluxapiroxade+protioconazol (Blavity 0,25 L/ha)                                                                  | picoxistrobina+benzovindiflupir (Vessarya 0,6 L/ha)                                                 | metominostrobina+tebuconazol (Fusão 0,58 L/ha)+clorotalonil (Bravonil 1,0 L/ha)                        |
| 7     | propiconazol +difenoconazol (Score Flexi 0,2 L/ha) | Benzovindiflupir+protioconazol (Mitrion 0,45 L/ha)                                                               | mefentrifluconazol+piraclostrobina+fluxapirosade (Belyan 0,6 L/ha)                                  | azoxistrobina+clorotalonil+difenoconazol (Across 1,75 L/ha)                                            |
| 8     | trifloxistrobina+protioconazol (Mesic 0,4 L/ha)    | impirfluxam+tebuconazol (Excalia max 0,5 L/ha)                                                                   | impirfluxam+tebuconazol (Excalia max 0,5 L/ha)                                                      | difenoconazol (Difeconazol CCAB 0,2 L/ha)+ clorotalonil (Bravonil 1,0 L/ha)                            |
| 9     | piraclostrobina+epoxiconazol (Abacus 0,3 L/ha)     | mefentrifluconazol+piraclostrobina+fluxapirosade (Belyan 0,6 L/ha)+clorotalonil (Bravonil 1,0 L/ha)              | fluxapiroxade+protioconazol (Blavity 0,25 L/ha)+ mancozeb (Unizeb Gold 1,5 Kg/ha)                   | fenpropimorfe (Versatilis 0,5 L/ha)+clorotalonil (Bravonil 1,0 L/ha)                                   |
| 10    | propiconazol +difenoconazol (Score Flexi 0,2 L/ha) | benzovindiflupir+ciproconazol+difenoconazol (Alade 0,45 L/ha)                                                    | picoxistrobina+protioconazol (Viovan 0,6 L/ha)+mancozeb (Unizeb Gold 1,5 Kg/ha)                     | metominostrobina+tebuconazol (Fusão 0,58 L/ha)+mancozeb (Unizeb Gold 1,5 Kg/ha)                        |
| 11    | propiconazol +difenoconazol (Score Flexi 0,2 L/ha) | metominostrobina+tebuconazol (Fusão 0,58 L/ha)+clorotalonil (Absoluto Fix 1,2 L/ha)+cerezisane (Romeu 0,75 L/ha) | metominostrobina (Sugoy 1,75 L/ha)+cerezisane (Romeu 0,75 L/ha)                                     | metominostrobina+tebuconazol (Fusão 0,58 L/ha)+ clorotalonil (Absoluto Fix 1,2 L/ha)                   |
| 12    | propiconazol +difenoconazol (Score Flexi 0,2 L/ha) | fluxapiroxade+mancozeb+protioconazol+NAFTA (Almada 2,0 L/ha)                                                     | picoxistrobina+benzovindiflupir (Vessarya 0,6 L/ha)+clorotalonil (Bravonil 1,0 L/ha)                | picoxistrobina+ciproconazol (Approach Power 0,6 L/ha)+ mancozeb (Unizeb Gold 1,5 Kg/ha)                |
| 13    | piraclostrobina+epoxiconazol (Abacus 0,3 L/ha)     | fluxapiroxade+protioconazol (Blavity 0,25 L/ha)+mancozeb (Unizeb Gold 1,5 Kg/ha)                                 | mefentrifluconazol+piraclostrobina+fluxapirosade (Belyan 0,6 L/ha)+clorotalonil (Bravonil 1,0 L/ha) | fenpropimorfe (Versatilis 0,5 L/ha)+clorotalonil (Bravonil 1,0 L/ha)                                   |
| 14    | propiconazol +difenoconazol (Score Flexi 0,2 L/ha) | impirfluxam+protioconazol (Fox Supra 0,35 L/ha)                                                                  | azoxistrobina+mancozebe+protioconazol (Evolution 2,0 Kg/ha)                                         | benzovindiflupir+ciproconazol+difenoconazol (Alade 0,45 L/ha) + clorotalonil (Bravonil 1,0 L/ha)       |
| 15    | propiconazol +difenoconazol (Score Flexi 0,2 L/ha) | azoxistrobina+mancozebe+protioconazol (Evolution 2,0 Kg/ha)                                                      | benzovindiflupir+protioconazol (Mitrion 0,45L/ha) + mancozeb (Unizeb Gold 1,5 kg/ha)                | picoxistrobina+ciproconazol (Approach Power 0,6 L/ha) + clorotalonil (Bravonil 1,0 L/ha)               |
| 16    | propiconazol +difenoconazol (Score Flexi 0,2 L/ha) | bixafem+protioconazol+trifloxistrobina (Fox Xpro 0,5 L/ha)                                                       | fluxapiroxade+mancozeb+protioconazol+NAFTA (Almada 2,0 L/ha) + mancozeb (Unizeb Gold 1,5 Kg/ha)     | mefentrifluconazol+piraclostrobina+fluxapirosade (Belyan 0,6 L/ha) + mancozebe (Unizeb Gold 1,5 Kg/ha) |

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

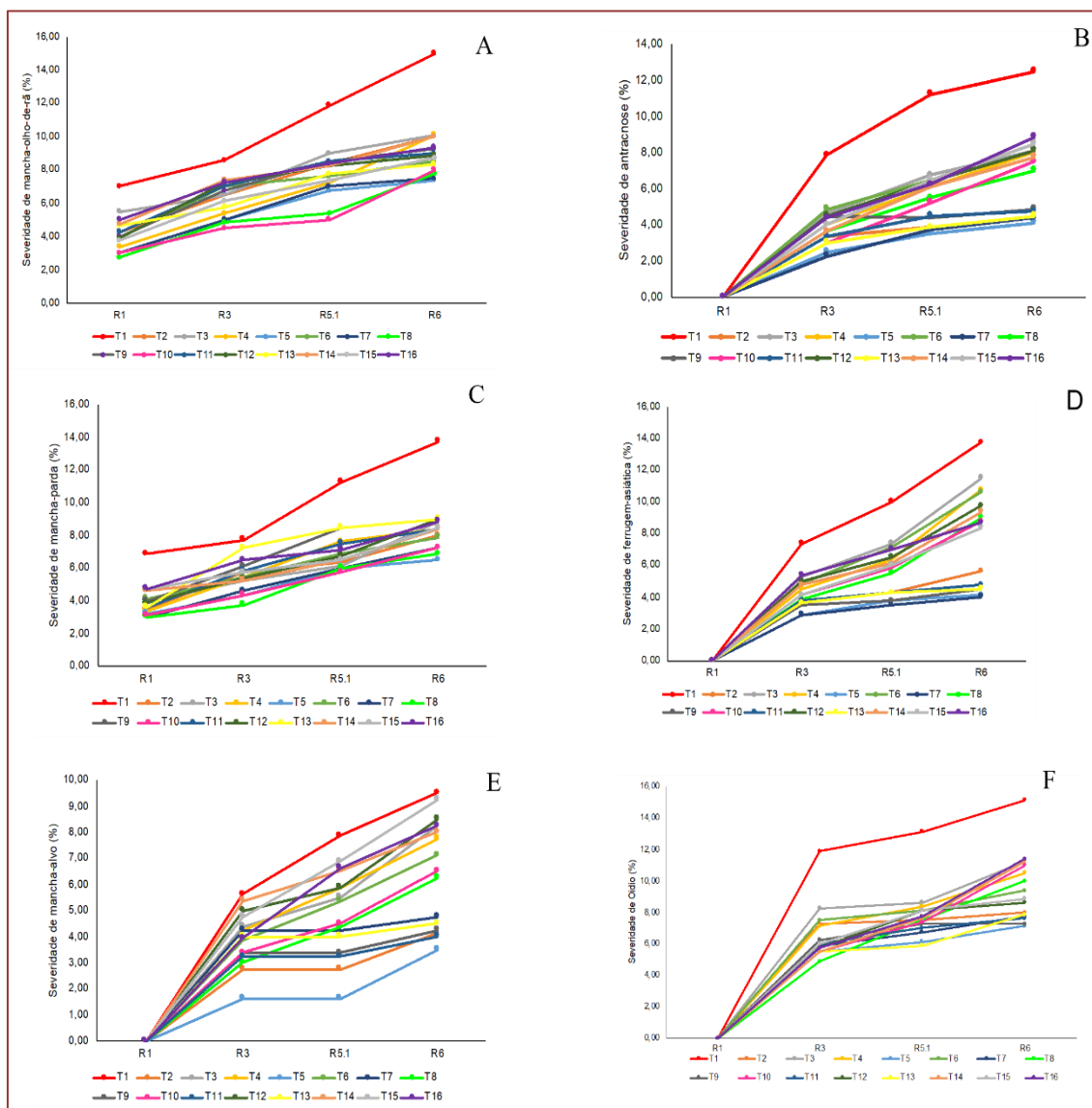
O T1 (sem aplicação de fungicidas), foi considerado o tratamento com maior severidade da mancha-olho-de-rã, antracnose, mancha-parda, ferrugem-asiática, mancha-alvo e oídio (Fig. 3), permitindo avaliar a porcentagem de perda (avaliado pela comparação dos tratamentos com a testemunha) e a importância da aplicação do princípio de proteção e terapia no manejo integrado de doenças (Kimati, 1995).

Ao analisar a curva de progresso, a partir do estágio R3 a média de severidade cresceu progressivamente para todas as doenças avaliadas (Figura 2).

Os tratamentos T2, T7 e T8, mostraram a menores médias de severidades da doença, ou seja, os fungicidas melhor reduziram os ciclos secundários da mancha-olho-de-rã (Fig. 2A). Os tratamentos T4, T11, T12 e T14, mostraram menores médias de severidades, ou seja, os tratamentos apresentam curvas mais moderadas, indicando um controle mais eficaz da antracnose (Figura 2B). Os tratamentos T5, T8 e T10, mostraram menores severidades, ou seja, os tratamentos apresentaram curvas mais moderadas, indicando um controle mais eficaz da mancha-parda (Figura 2C). Os tratamentos T5, T7, T11 e T13, mostraram menores severidades, ou seja, os tratamentos apresentaram curvas mais moderadas, indicando um controle mais eficaz da ferrugem-asiática (Figura 2D). Os tratamentos T2, T5 e T7, mostraram as menores severidades, ou seja, os tratamentos apresentam curvas mais moderadas, indicando um controle mais eficaz da mancha-alvo (Figura 2E). Os tratamentos T5, T7, T11, mostram menores severidades, com curvas mais próximas do eixo X. Os tratamentos apresentam curvas mais moderadas, indicando um controle mais eficaz do oídio (Figura 2F).

Os tratamentos como T9, T11, T12, T13, T14 e T16 apareceram no tempo de avaliação ser mais eficazes, com curvas de severidade mais suaves ou próximas do eixo X.

**Figura 3.** Curvas de progresso de diferentes epidemias sobre soja cv. DM 73i75 submetidas a combinações de fungicidas para controle. A. cercosporiose ou mancha olho-de-rã causada por *Cercospora sojina*, B. antracnose causada por *Colletotrichum truncatum*, C. septoriose ou mancha-parda causada por *Septoria glycines*, D. ferrugem-asiática causada por *Phakopsora pachyrhizi*, E. mancha-alvo causada por *Corynespora cassicola*, F. oídio causado por *Erysiphe diffusa*



A análise de regressão polinomial entre a AACPD e a PR da soja cultivar DM 73i75, submetida a diferentes aplicações de fungicidas indicou para todas as doenças avaliadas que à medida que aumento aumenta a quantidade de doença (AACPD) a produtividade reduz (correlação negativa) em diferentes magnitudes (Figura 3).

O impacto da mancha-olho-de-rã (*C. sojina*) na produtividade mostrou que os tratamentos com fungicidas T10 e T8 promoveram as menores reduções da doença, contudo o tratamento T5, além de reduzir a severidade permitiu que a planta respondesse aumentando a sua produtividade. Os tratamentos à medida que aumentam a AACPD da mancha-olho-de-rã reduziram a produtividade em 74,23 %. O coeficiente de

determinação ( $R_2$ ) apresentou uma equação polinomial que permitiu prever medidas de produtividade com base nos fungicidas utilizados e AACPD (Figura 3A).

O impacto da mancha-parda ou septoriose (*S. glycines*) na produtividade mostrou que os tratamentos com fungicidas T7, T8 e T10, promoveram as menores reduções da doença, contudo o tratamento T5, além de reduzir a severidade permitiu que a planta apresentasse a melhor resposta de incremento de produtividade. Os tratamentos à medida que aumentam a AACPD da mancha-parda reduziram a produtividade em 80,32 %. O coeficiente de determinação ( $R_2$ ) apresentou uma equação polinomial que permitiu prever medidas de produtividade com base nos fungicidas utilizados e AACPD (Figura 3B).

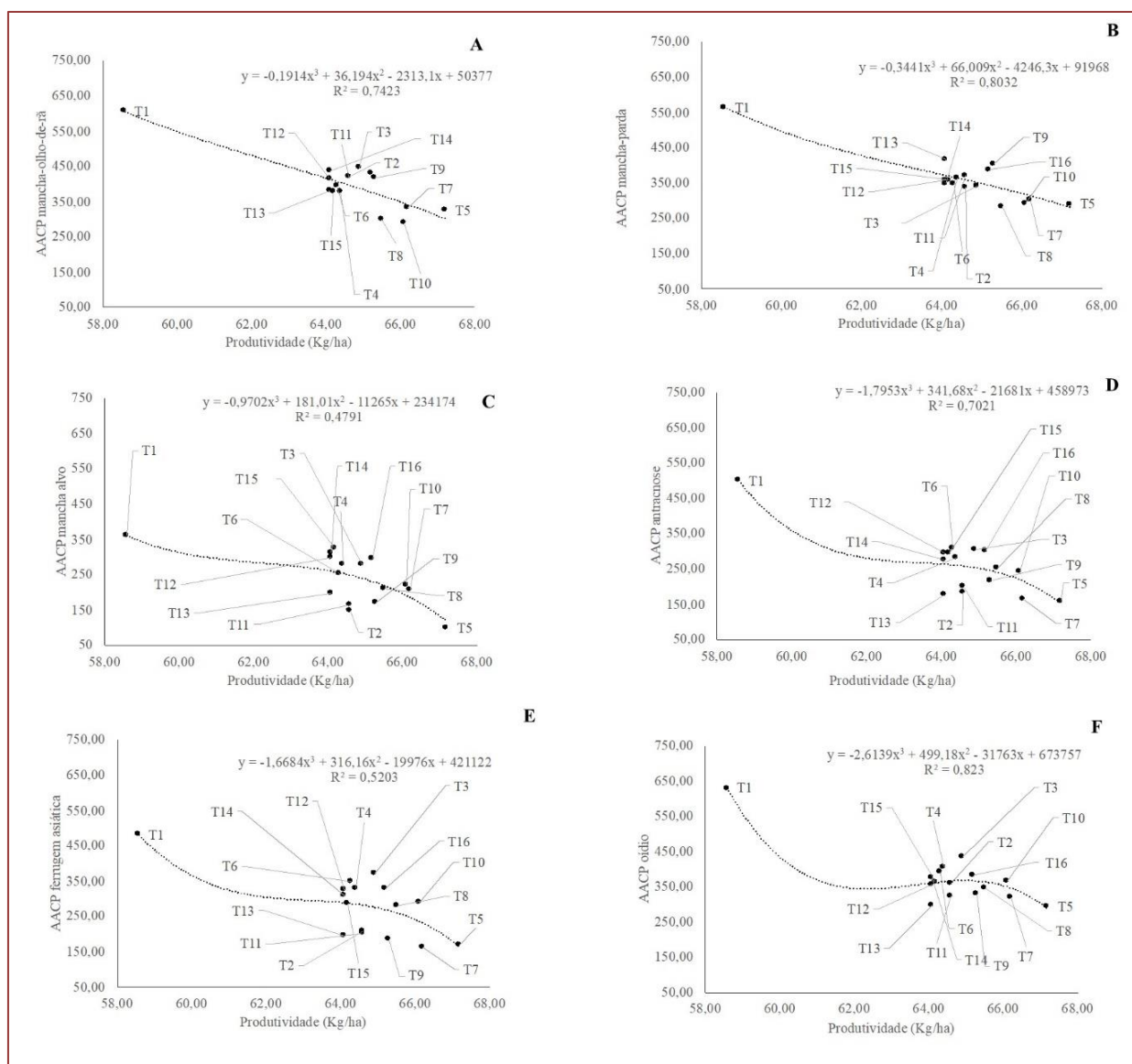
O impacto da mancha-alvo (*C. cassicola*) na produtividade mostrou que os tratamentos com fungicidas T2, T9 e T11, promoveram as menores reduções da doença, contudo o tratamento T5, além de reduzir a severidade permitiu que a planta apresentasse a melhor resposta de incremento de produtividade. Os tratamentos à medida que aumentam a AACPD da mancha-alvo reduziram a produtividade em 47,91 %. O coeficiente de determinação ( $R_2$ ) apresentou uma equação polinomial que não permitiu prever medidas de produtividade com base nos fungicidas utilizados e AACPD. Provavelmente outros fatores explicaram a redução de produtividade da soja (Figura 3C).

O impacto da antracnose (*C. truncatum*) na produtividade mostrou que os tratamentos com os fungicidas T2, T7 e T13, promoveram as menores reduções da doença, contudo o tratamento T5, além de reduzir a severidade permitiu que a planta apresentasse a melhor resposta de incremento de produtividade. Os tratamentos à medida que aumentam a AACPD da antracnose reduziram a produtividade em 70,21 %. O coeficiente de determinação ( $R_2$ ) apresentou uma equação polinomial que permitiu prever medidas de produtividade com base nos fungicidas utilizados e AACPD (Figura 3D).

O impacto da ferrugem-asiática (*P. pachyrhizi*) na produtividade mostrou que os tratamentos com fungicidas T2, T5, T7, T9, T11 e T15, promoveram as menores reduções da doença, contudo o tratamento T5, além de reduzir a severidade permitiu que a planta apresentasse a melhor resposta de incremento de produtividade. Os tratamentos à medida que aumentam a AACPD da ferrugem-asiática reduziram a produtividade em 52,03 %. O coeficiente de determinação ( $R_2$ ) embora limiar, apresentou uma equação polinomial que permite prever medidas de produtividade com base nos fungicidas utilizados e AACPD (Figura 3E).

O impacto da oídio (*Erysiphe diffusa*) na produtividade mostrou que os tratamentos com fungicidas T7, T11 e T13, promoveram as menores reduções da doença, contudo o tratamento T5, além de reduzir a severidade permitiu que a planta apresentasse a melhor resposta de incremento de produtividade. Os tratamentos à medida que aumentam a AACPD do oídio reduziram a produtividade em 82,30 %. O coeficiente de determinação ( $R_2$ ) embora limiar, apresentou uma equação polinomial que permite prever medidas de produtividade com base nos fungicidas utilizados e AACPD (Figura 3E).

**Figura 3.** Regressão polinomial de área abaixo da curva de progresso (AACPD) de diferentes doenças com a produtividade ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) de soja cv. DM 73i75 submetida a diferentes aplicações de fungicidas. **A.** relacionamento da Cercosporiose ou mancha-olho-de-rã causada por *Cercospora soja*, **B.** relacionamento da septoriose ou mancha-parda causada por *Septoria glycines*, **C.** relacionamento da mancha-alvo causada por *Corynespora cassiicola*, **D.** relacionamento da antracnose causada por *Colletotrichum truncatum*, **E.** relacionamento da ferrugem-asiática causada por *Phakopsora pachyrhizi*, **F.** relacionamento do oídio causado por *Erysiphe difusa*



#### 4. CONCLUSÕES

Os tratamentos como T9, T11, T12, T13, T14 e T16 apareceram no tempo de avaliação ser mais eficazes, com curvas de severidade mais suaves ou próximas do eixo X. Com base nos testes os tratamentos que foram mais eficazes foram no controle de doenças da soja foram T5 (cinco vezes) e T7 (quatro vezes). O Estádio R3 é crítico para elevação da curva de progresso da doença.

Casa tipo de doença avaliada na soja apresentou conjuntos de aplicações de fungicidas diferentes para redução de sua severidade.

A equação polinomial da mancha alvo não permitiu fazer previsões de perdas de produtividade.

O melhor tratamento que permitiu maiores respostas de produtividade foi o tratamento T5.

A metodologia de previsão envolvendo produtividade e AACPD é um método inovador de determinar a importância do emprego de métodos eficazes de controle de doenças da cultura da soja.

## AGRADECIMENTOS

Agradecimentos ao IF Goiano - Campus Urutaí, por conceder a bolsa de iniciação científica.

## REFERÊNCIAS

- [1] HARTMAN, G. L., SINCLAIR, J. B., RUPE, J.C. Compendium of Soybean Diseases and Pests. The American Phytopathological Society. 2015.
- [2] KUMUDINI, S., DORRANCE, A. E., MCCREE, K. J. Impact of soybean rust on yield. Journal of Plant Pathology, 96(3), 513-521. 2014.
- [3] DAVIS, A. S., Sisson, A. J., CLOUGH, S. B. Fungicide efficacy and application timing for management of soybean diseases. Field Crops Research, 204, 25-34. 2017.
- [4] OLIVEIRA, R. S., SILVA, F. R., & ANDRADE, J. S. Efeito de programas de aplicação de fungicidas na produtividade da soja. Revista Brasileira de Agricultura, 12(3), 45-60. 2017.
- [5] GODOY, C. V., MEYER, M. C. Resistência de patógenos a fungicidas na cultura da soja. Summa Phytopathologica, v. 43, n. 1, p. 15-24, 2017.
- [6] KIMATI, H. Controle químico. In: BERGAMIN FILHO, A.; KIMATI, H.; AMORIM, L. ed. Manual de Fitopatologia: princípios e conceitos. v.1, p.761-784, 1995.
- [7] RIBEIRO, L.M. Produtividade da soja e atributos químicos e físicos do solo em plantio direto após cultivos de outono-inverno. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal da Grande Dourados, PPG Agronomia – Produção Vegetal, Dourados, MS, 2016. 69 p.
- [8] SEDDIYAMA, T., SILVA, F., BORÉM, A. Soja do plantio a colheita. Editora UFV: Viçosa, MG, p. 333, 2015.

# Capítulo 5

## *Resposta da *Brachiaria ruziziensis* cultivadas em colunas de solo arenoso sob diferentes doses de manipueira*

*Edmilson Cesar Bortoletto*

*Daniele de Souza Terassi*

*Daniela D'Orazio Bortoluzzi*

**Resumo:** A manipueira, um subproduto líquido do processamento da mandioca, apresenta alto teor de macro e micronutrientes, o que lhe confere potencial para uso como fertilizante. Este estudo teve como objetivo avaliar os efeitos da aplicação de manipueira no crescimento da gramínea *Brachiaria ruziziensis* cultivada em solo arenoso. O experimento foi realizado em ambiente protegido no campus do Arenito da Universidade Estadual de Maringá (UEM), utilizando colunas de PVC com 0,10 m de diâmetro e 0,60 m de altura, preenchidas com solo disposto em camadas, simulando os horizontes naturais até 0,50 m de profundidade. O delineamento experimental adotado foi inteiramente casualizado, com cinco tratamentos correspondentes a doses de 0, 45, 90, 135 e 180 kg ha<sup>-1</sup> de manipueira, e quatro repetições por tratamento. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e análise de regressão, revelando diferenças significativas em todos os parâmetros avaliados. A aplicação de manipueira promoveu um crescimento expressivo da parte aérea da gramínea, sendo que o tratamento com a maior dose (180 kg ha<sup>-1</sup>) resultou nas maiores massas tanto da parte aérea quanto das raízes.

**Palavras-chave:** efluente, fertirrigação, produção.

## 1. INTRODUÇÃO

O setor agroindustrial contribui significativamente para o crescimento econômico do país, ampliando a oferta de alimentos e gerando empregos. Contudo, esse setor também gera impactos ambientais negativos, especialmente pela produção de resíduos sólidos e efluentes líquidos durante o processamento de matérias-primas (Oliveira, 2010).

A manipueira é um subproduto líquido do processamento da mandioca, com aspecto leitoso e amarelo-claro, obtido durante a produção de fécula ou farinha. Cerca de 600 L de manipueira são gerados por tonelada de mandioca processada. Esse efluente tem pH abaixo de 4,0 e alta carga de DBO e DQO, o que o torna corrosivo e poluente, podendo contaminar águas superficiais se descartado sem tratamento (Matos, 2011). No entanto, devido seu alto teor de macro e micronutrientes proporciona efeitos benéficos quando usado na agricultura como adubo orgânico.

Na literatura é possível encontrar trabalhos com efeitos benéficos da aplicação de manipueira correlacionando com a resposta produtiva das mais diversas culturas. SILVA Junior et al. (2012) encontraram aumento da produtividade da banana com doses de até 4 L/planta/mês. A produção do milho “Potiguar” fertirrigado com manipueira foi estudada por Araújo et al. (2019), que concluíram que a utilização da manipueira via fertirrigação apresenta potencial para substituir a adubação mineral de potássio requerida pela cultura do milho. Elias et al. (2021) avaliaram a influência da manipueira como substrato no solo e no desenvolvimento vegetativo das plantas de tomate via fertirrigação subsuperficial e concluíram que a concentração de 10.000 mg L<sup>-1</sup> influenciou positivamente a composição química do solo e o desenvolvimento dos tomateiros. Além disso, a fertirrigação com manipueira em todas as concentrações ajudou a manter os níveis de pH e matéria orgânica do solo.

No contexto da produção de gramíneas fertirrigadas com água residuária, a literatura apresenta resultados significativos, como os estudos de Lozano et al. (2015), Bortoluzzi et al. (2018) e Carvalho et al. (2021), que utilizaram cultivares de *Panicum maximum*. Todos esses estudos demonstraram aumento na produção de capim, indicando que a fertirrigação com água residuária pode ser uma alternativa viável para o descarte de efluentes.

Desta forma, este trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos da aplicação de manipueira sobre o crescimento do capim *Brachiaria ruziziensis* cultivado em solo arenoso.

## 2. METODOLOGIA

O experimento foi conduzido em ambiente protegido no Campus do Arenito da Universidade Estadual de Maringá, localizado em Cidade Gaúcha – PR, onde o clima é classificado como subtropical úmido mesotérmico, segundo Köppen. O solo da área experimental é um Latossolo Vermelho distrófico de textura arenosa (Prado et al., 2024).

O solo foi coletado nas profundidades de 0,0 – 0,25 m e 0,25 – 0,50 m. Esse solo foi seco ao ar livre, peneirado e acondicionado em colunas de PVC com 0,10 m de diâmetro e 0,60 m de altura, simulando a sequência natural dos horizontes. Internamente, os tubos foram lixados para criar ranhuras, melhorando a aderência do solo às paredes e prevenindo a formação de caminhos preferenciais para o escoamento da água. As colunas de solo foram

dispostas verticalmente a uma altura de 0,20 m do solo. Na base de cada coluna, telas de nylon com malha de 1 mm e papel filtro foram adicionados para evitar a perda de material.

Utilizou-se a gramínea *Brachiaria ruziziensis*, semeada manualmente. Após a semeadura, água destilada foi aplicada até a germinação. Cerca de 20 dias após a emergência das plantas, realizou-se o desbaste, mantendo-se três plantas por coluna. Iniciou-se então a aplicação da manipueira, coletada em uma fecularia da região Noroeste do Paraná, dividindo o volume total em quatro aplicações com intervalos de dois dias.

A partir do teor total de nitrogênio contido no efluente determinado pelo método Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK), metodologia descrita por APHA (1998), foi definido o volume a ser aplicado na coluna de solo para cada dose de nitrogênio total estabelecida.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com cinco tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos consistiram em T0 (controle com água destilada) e T1, T2, T3 e T4, que corresponderam a doses de nitrogênio total de 45, 90, 135 e 180 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente, aplicadas 22 dias após a semeadura da gramínea. A água residuária correspondente a cada dose foi fracionada em quatro aplicações, completada com água destilada para atingir 250 mL, conforme metodologia descrita por Bortoluzzi et al. (2018). Durante o experimento, quando necessário, foram efetuadas aplicações de água visando suprir a necessidade hídrica da planta.

A colheita da parte aérea ocorreu 48 dias após a primeira aplicação do efluente, cortando-se a planta rente ao solo. As raízes foram separadas do solo, lavadas e isoladas dos colmos. Para determinar a massa fresca, as plantas foram pesadas imediatamente após a colheita e, em seguida, secas em estufa a 65 °C até peso constante para obtenção da massa seca.

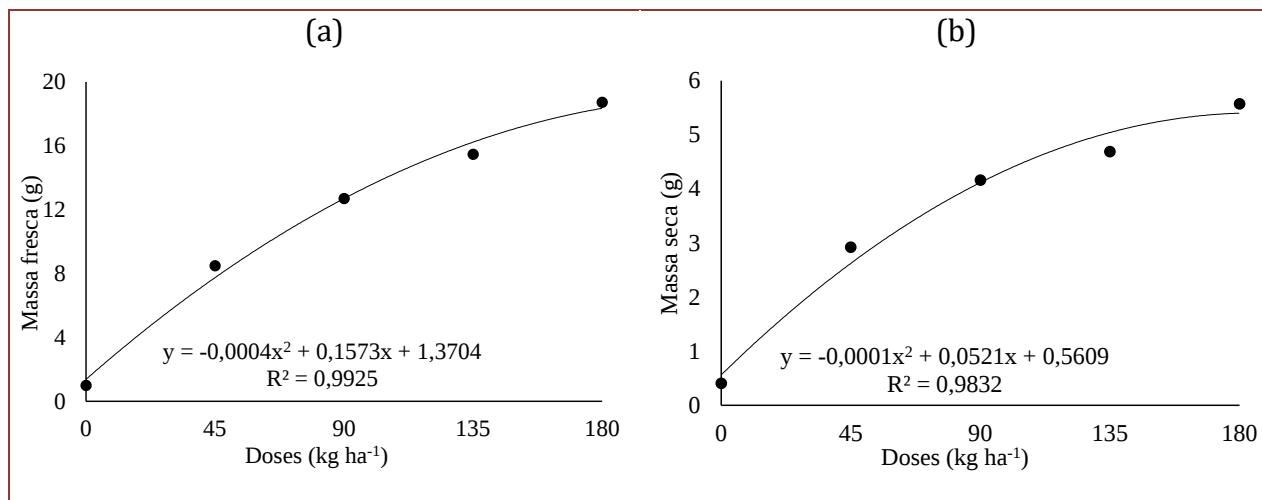
Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) com nível de significância de 5%, e posteriormente à análise de regressão para os dados de crescimento da planta, utilizando o software estatístico SISVAR (Ferreira, 2014).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A massa fresca e seca da parte aérea e da raiz das plantas apresentaram diferença significativa na análise de variância pelo teste F ao nível de 5%.

Na Figura 1 está apresentado a produção de massa fresca (a) e seca (b) da parte aérea da cultura em relação à quantidade de nitrogênio total aplicado. Observa-se que o aumento das doses da manipueira acarretou acréscimo polinomial de grau 2 ( $p < 0,05$ ) na massa fresca e seca da parte aérea da planta, sendo o maior valor médio nas plantas que receberam a dosagem maior (180 kg ha<sup>-1</sup>), totalizando incremento expressivo de aproximadamente 95% na massa fresca e 93% na massa seca quando comparada à testemunha (T0).

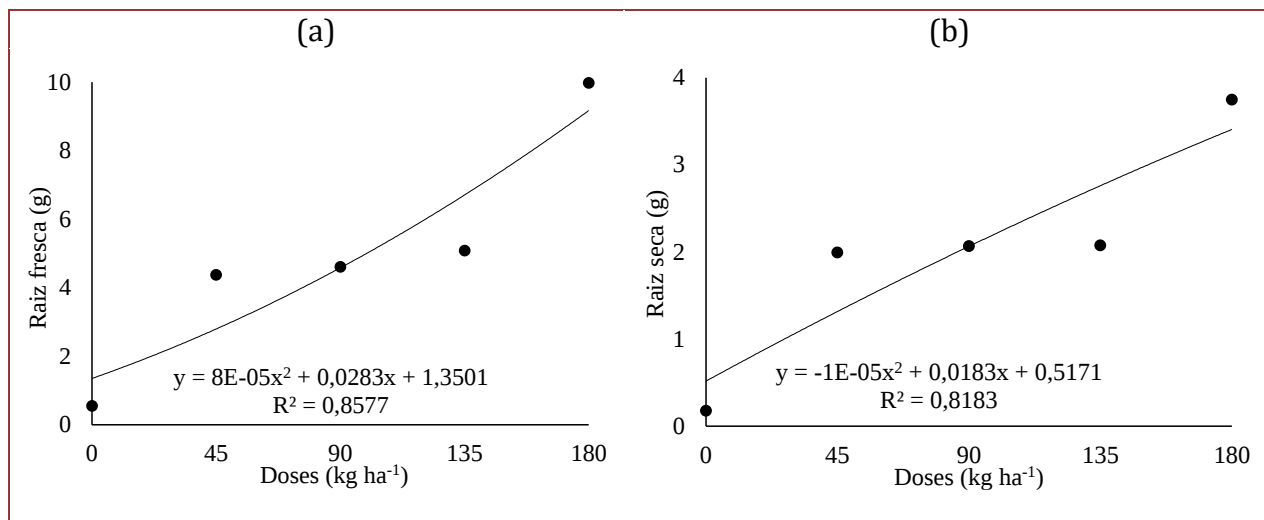
**Figura 1.** Massa fresca (a) e massa seca (b) da parte aérea do capim *brachiaria ruziziensis* em função das doses de nitrogênio total aplicada



Resultados semelhantes foram encontrados por Bortoluzzi et al. (2018) estudando o efeito da manipueira sobre o capim Mombaça em solo arenoso. Os autores encontraram um acréscimo de 86% para a produção de massa fresca da parte aérea e 85% da massa seca, para dose máxima estudada (180 kg ha<sup>-1</sup>) em relação à testemunha que não recebeu manipueira. Bezerra et al. (2017) observaram um crescimento linear na produção de matéria seca do capim *Brachiaria brizantha* cv. Marandu em resposta a doses crescentes de manipueira. O tratamento com 120 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> do efluente apresentou um incremento de 54% no primeiro corte, realizado 60 dias após a semeadura, em comparação com o tratamento controle (dose zero).

Na Figura 2 são apresentados, respectivamente, os valores médios da massa fresca (a) e massa seca (b) da raiz do capim em relação aos tratamentos avaliados. O acréscimo de massa é representado por um polinômio de grau dois ( $p < 0,05$ ). Nota-se que para as doses de 45 a 135 kg ha<sup>-1</sup> a massa possui comportamento praticamente linear. Neste intervalo, o acréscimo produzido de massa fresca foi de 13% e de massa seca foi de 4%, indicando que o aumento de doses de manipueira não proporcionaria aumento de massa de raiz. Entretanto, ao analisar a dose máxima (180 kg ha<sup>-1</sup>) nota-se que houve um incremento de 56% e 47 % de massa fresca e seca, respectivamente, em relação a menor dose utilizada (45 kg ha<sup>-1</sup>) e de aproximadamente 95% em relação ao tratamento controle, que não recebeu dose de manipueira. Segundo Lozano et al. (2015) a massa das raízes é um indicador na eficiência de absorção de água e nutrientes.

**Figura 2.** Massa fresca (a) e massa seca (b) da raiz do capim *brachiaria ruziziensis* em função das doses de nitrogênio total aplicada



Os resultados massa de raiz seguiram o mesmo comportamento da massa da parte aérea da cultura, ou seja, um aumento nas doses de manipueira proporciona um incremento na produção de massa. Resultados semelhantes foram encontrados por Lozano et al. (2015) trabalhando em solo arenoso com capim Mombaça (*Panicum maximum*) fertirrigado, observando um aumento significativo no desenvolvimento das raízes frescas e secas do capim em resposta a doses crescentes de água residuária proveniente de abatedouro de frango.

Carvalho et al. (2021) avaliando a viabilidade de aplicação de manipueira em diferentes cultivares de *Panicum maximum* observaram que houve um incremento de produtividade das cultivares, entretanto, houve diferença de dosagem máxima recomendada para cada cultivar. Segundo os autores, as cultivares Mombaça e Tanzânia apresentaram dose recomendada de 43 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> enquanto a dose recomendada para o capim Massai foi de 176 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, revelando que as doses são variáveis para cada cultivar. Os autores acrescentam ainda a necessidade de novos estudos a campo e a avaliação dos efeitos ao longo do tempo.

Desta forma, no contexto de escassez hídrica, a utilização de manipueira como fonte de nitrogênio para a produção de gramíneas surge como uma alternativa viável, permitindo o reaproveitamento de efluentes e reduzindo a dependência de recursos hídricos tradicionais. No entanto, é essencial que seu uso seja cauteloso, considerando-se a espécie de gramínea, a dose aplicada e a frequência das aplicações para evitar possíveis contaminações do solo e das águas subterrâneas.

#### 4. CONCLUSÃO

O uso da manipueira como fonte de nitrogênio promoveu expressivo crescimento do capim *Brachiaria ruziziensis* com o aumento da dose de efluente, sendo a dose de 180 kg ha<sup>-1</sup> a que proporcionou maior produtividade de massa fresca e seca da parte aérea do capim e raízes.

A manipueira apresenta potencial para aplicação em solo arenoso cultivado com *Brachiaria ruziziensis*, no entanto outros parâmetros devem ser analisados para evitar danos ao solo, bem como às águas subterrâneas e superficiais.

## REFERÊNCIAS

- [1] APHA. American Public Health Association. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. American Public Health Association, 1998, 1600 p.
- [2] ARAÚJO, N. C.; LIMA, V. L. A.; SENA, L. F.; LIMAS, G. S.; ANDRADE, E. M. G.; CARDOSO, J. A. F.; OLIVEIRA, S. J. C. Produção de milho 'Potiguar' fertirrigado com água amarela e manipueira. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 42, n. 1, p. 166-174, 2019.
- [3] BEZERRA, M. G. S.; SILVA, G. G. C.; EMERENCIANO NETO, J. V.; OLIVEIRA, E. M. M.; OLIVEIRA, L. E. C. Cassava wastewater as organic fertilizer in 'Marandu' grasspasture. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.21, n.6, p. 404-409, 2017.
- [4] BORTOLUZZI, D. D.; TERASSI, D. S.; SILVA, F. S.; BORTOLETTO, E. C. Qualidade do percolado e resposta do capim mombaça submetido a diferentes doses de manipueira. **Journal of Agronomic Sciences**, Umuarama, v.7, n.2, p. 115-122, 2018.
- [5] CARVALHO, A. C. C.; NOBRE, R. S.; ARAÚJO, V. S.; SANTOS, C. M.; MONTE, L. I. S. M.; MOURA, G. A. MOURA, W. N. S.; REZENDE, J. S.; AZAR, G. S. Quantitative responses of forage grasses to manipueira application as natural fertilizer. **Ciência Agrícola**, Rio Largo, v. 19, n. 3, p. 183-192, 2021.
- [6] ELIAS, N. S.; MENDONÇA, V. C. M.; ALVES, R. J. F.; GUTERRES, G. R.; BERNARDES, R. H.; BIANCHI, V. L. D. Use of the handler in the sustainable production of tomatoes. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v.7, n.7, p.75657-75676, 2021.
- [7] FERREIRA, D. F. Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência eCIS Agrotecnologia** (UFLA), v. 38, n.2, p. 109-112, 2014.
- [8] LOZANO, C. L.; TONELLO, T. U.; BORTOLETTO, E. C.; ARAÚJO, M. A.; TONELLO, A. P. Resposta do capim mombaça (*Panicum maximum* cv. Mombaça) submetido à aplicação de água residuária de abatedouro de aves. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v.11, n.22, p. 3796-3805, 2015.
- [9] MATOS, A. T. **Poluição Ambiental – Impactos no meio físico**. Editora UFV, 2011. 206p.
- [10] OLIVEIRA, P.R. **Aplicação de crômio via água residuária de curtume em solo cultivado com capim mombaça (*panicum maximum* CV.)**. 2010. 76 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2010.
- [11] PRADO, G.; TINOS, A. C.; MAHL, D.; BORTOLUZZI, D. D.; OLIVEIRA, T. G. R. M.; SCHIAVON, R. A. Resposta da soja a lâminas de irrigação em solo arenoso da região noroeste do paraná. **Enciclopédia Biosfera**, v.21, n.47, p.162-176, 2024.
- [12] SILVA JUNIOR, J. J.; COELHO, E. F.; SANT'ANA, A. V.; SANTANA JUNIOR, E. B.; PAMPONET, A. J. M. Uso da manipueira na bananeira 'terra maranhão' e seus efeitos no solo e na produtividade. **Irriga**, Botucatu, v. 17, n. 3, p. 353 - 363, 2012.

# Capítulo 6

## *Preferência alimentar da *Rhyzopertha dominica* (coleoptera: bostrichidae) por arroz e subprodutos*

*Enrique Irala Lopes*

*Thais Viana Fonseca*

*Marcos Speroni Ceron*

*Bruno Neutzling Fraga*

**Resumo:** O objetivo nesse trabalho foi avaliar a preferência alimentar da *Rhyzopertha dominica* (Coleoptera: Bostrychidae) por arroz com casca e seus subprodutos. O trabalho foi conduzido no Laboratório de Bromatologia e Nutrição Animal na Universidade Federal do Pampa – Campus Itaqui; no período de 16 a 20 de março de 2019. A metodologia utilizada foi de bioensaios de preferência alimentar em teste de livre escolha da *R. dominica* em fase adulta por arroz e os subprodutos do seu beneficiamento. As amostras dos produtos de arroz e os coleópteros em fase adulta foram coletadas em uma agroindústria do município de Itaqui. O delineamento utilizado foi inteiramente casualizado (DIC) com 6 tratamentos e 4 repetições. Os tratamentos foram constituídos por produtos sadios (sem infestação), sendo: Arroz com Casca (AC), Canjição (Ca), Casca de Arroz (CA), Farelo de Arroz (FA), Quirera de Arroz (Q) e Testemunha. A exposição da *R. dominica* a partir do ponto de soltura nos tratamentos ofertados indica a preferência, com maior número de insetos pela média geral, pelo farelo de arroz. Na Arena Modular, o número de insetos foi similar entre o farelo de arroz e canjição. Nos demais compartimentos de tratamentos houve pouca incidência de insetos e a grande parte dos insetos permaneceram no Ponto de origem. Isto pode estar relacionado ao modo que os insetos se adaptaram no ambiente e com o número maior de insetos no tratamento com farelo de arroz pode ser que, com a resistência a abertura de galerias no grão, o besouro fez a localização do alimento adequado. *R. dominica* possui preferência alimentar pelo farelo de arroz em detrimento ao Arroz com Casca, Canjição, Casca de Arroz e Quirera de Arroz.

**Palavras-chave:** Arena, bioensaios, grãos armazenados.

## 1. INTRODUÇÃO

O arroz (*Oryza sativa*) é um dos cereais mais importantes para a cadeia alimentar humana (Walter; Marchezan; Avila, 2008). O Brasil é o nono maior produtor de arroz do mundo e o maior da América Latina ao produzir 11,75 milhões de toneladas na safra 2020 (FAO, 2020).

A produção de arroz sofre com perdas totais e de qualidade nutricional dos grãos desde a maturação fisiológica no campo até a mesa do consumidor o que, invariavelmente, causa perdas econômicas. Entre as causas estão os manejos inadequados durante a colheita, transporte, recebimento, secagem, armazenamento e processamento dos grãos que se agravam pelas condições ambientais propícias para o ataque de fungos e insetos (Villela, 2004).

A infestação de insetos no armazenamento de grãos de arroz gera efeitos negativos, tanto qualitativos quanto quantitativos (Bassinelo, 2006), que são definitivos e irreversíveis. Dos insetos-praga que afetam o arroz armazenado a *Rhyzopertha dominica* (Fabricius, 1792) (Coleoptera: Bostrichidae) possui alto impacto por provocar a deterioração física, fisiológica e sanitária (Lorini, 2008; Waongo et al., 2015).

A *R. dominica* em sua fase adulta, popularmente designada de besouro, é considerada a fase com maior potencial destrutivo ao arroz (Lorini, 2008). A grande incidência na armazenagem é promovida pelo transporte de produtos infestados e a dificuldade de controle da praga (Rajan et al., 2018).

O caruncho se alimenta de sementes e de diferentes plantas, mas prefere grãos de arroz e trigo (Ahmad et al., 2013). O conhecimento da biologia e do comportamento ingestivo de *R. dominica* pode auxiliar no monitoramento e, principalmente, na definição de estratégias de manejo para o controle durante o armazenamento dos grãos e seus derivados.

O objetivo neste trabalho foi avaliar a preferência alimentar da *Rhyzopertha dominica* por arroz com casca e seus subprodutos.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido no Laboratório de Bromatologia e Nutrição Animal na Universidade Federal do Pampa – Campus Itaqui; no período de 16 a 20 de março de 2019. A metodologia utilizada foi de bioensaios de preferência alimentar em teste de livre escolha da *Rhyzopertha dominica* em fase adulta por arroz e os subprodutos do seu beneficiamento. As amostras dos produtos de arroz e os coleópteros em fase adulta foram coletadas em uma agroindústria do município de Itaqui.

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado (DIC) com 6 tratamentos e 4 repetições. Os tratamentos foram constituídos por produtos sadios (sem infestação), sendo: Arroz com Casca (AC), Canjição (Ca), Casca de Arroz (CA), Farelo de Arroz (FA), Quirera de Arroz (Q) e Testemunha. Cada um dos seis recipientes, distribuídos em forma circular, recebeu 5 gramas de um dos produtos testados (arroz com casca, canjição, casca de arroz, farelo de arroz, quirera de arroz) e o sexto recipiente permaneceu vazio (de testemunha).

A Arena Modular seguiu a metodologia proposta por Girão Filho et al (2014). Essa foi construída com seis recipientes de 7 cm de diâmetro e 6 cm de altura distribuídos de forma circular e simétrica conectados a um recipiente central (7 cm de diâmetro) por

tubos (5mm de diâmetro e 4,5cm de comprimento) encaixados no rodapé dos recipientes. O piso dos recipientes foi modelado em gesso (sulfato de cálcio di-hidratado –  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) a fim de evitar desníveis para o livre deslocamento dos insetos entre os recipientes. Este conjunto de módulos foi sobreposto a uma bandeja de 30cm de diâmetro, sendo que os recipientes utilizados eram compostos de Polietileno de Baixa Densidade Linear. O recipiente central, que conectava todos demais recipientes, permaneceu vazio de produtos e foi designado de ponto de origem de soltura dos insetos (Figura 1).

A Arena Aberta seguiu a metodologia proposta por Girão Filho et al (2014) com adaptações. Ela consistiu de uma bandeja (30cm de diâmetro 12 cm de altura) de Polietileno de Baixa Densidade Linear. O piso da arena foi modelado em gesso (sulfato de cálcio di-hidratado –  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) a fim de evitar desníveis para o deslocamento dos insetos entre os produtos. Para verificar os deslocamentos dos insetos foram demarcados, com caneta hidrocor preta, 6 círculos (7 cm de diâmetro) distribuídos de forma circular e simétrica e um círculo central (7 cm de diâmetro). Esta demarcação foi realizada para reproduzir a formatação da Arena Modular e possibilitar a identificação da localização dos insetos. Cada um dos seis círculos, distribuídos em forma circular, recebeu 5 gramas de um dos produtos testados (arroz com casca, canjicão, casca de arroz, farelo de arroz, quirera de arroz), o sexto círculo permaneceu vazio (de testemunha). O círculo central permaneceu vazio de produtos e foi designado de ponto de origem de soltura dos insetos (Figura 1).

**Figura 1** - Vista superior da Arena Modular (A) e da Arena Aberta (B)



A



B

Fonte: Autoria própria (2022).

A preferência alimentar dos insetos em ambas arenas foi avaliada pelo teste de livre escolha de forma separada e ao longo do tempo. Os insetos já adultos, foram separados e deixados por 24 horas em jejum. Os experimentos iniciaram pela liberação dos insetos em cada arena no Ponto de origem. Foram liberados 50 indivíduos de *R. dominica* em fase adulta no centro de cada arena ou Ponto de origem. As mensurações foram realizadas entre as 7 horas e 19 horas, totalizando 12 horas diárias de observação. No primeiro dia foram contabilizados os insetos encontrados em cada tratamento (recipiente ou círculos) em intervalos de 15 minutos ou 49 observações. No dia dois foram contabilizados os insetos encontrados em cada tratamento a cada 30 minutos ou 25 observações. A partir do 3º dia ao 5º dia foram contabilizados os insetos encontrados em cada tratamento a cada 60 minutos ou 25 observações.

Durante os períodos experimentais houve o registro da temperatura e umidade relativa do ar. A média dos períodos experimentais foram de  $23,6 \pm 1,3^\circ\text{C}$  e 61,8 para Arena Modular e  $24,0 \pm 0,8^\circ\text{C}$  e 63,5 para Arena Aberta.

Os dados numéricos do registro da escolha dos insetos em cada tempo foram submetidos a análise de variância e posterior comparação de médias. Além de testes de ajustamento de curvas foi considerado o tempo de exposição às fontes alimentares.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados do teste de preferência alimentar da *Rhyzopertha dominica* quando expostos aos tratamentos com grãos de arroz e seus subprodutos nas Arenas, Modular e Aberta, são apresentados na (Tabela 1).

**Tabela 1** – Médias ao final de 84 horas de exposição de indivíduos de *Rhyzopertha dominica* a partir do ponto de soltura (n = 50) até diferentes fontes de alimentos e condições de escolha

| Tratamentos      | Arena    |          | Média Geral |
|------------------|----------|----------|-------------|
|                  | Modular  | Aberta   |             |
| Arroz em casca   | 3,7 b A  | 5,0 bc A | 4,3 bc      |
| Canjição         | 7,7 b A  | 8,9 b A  | 8,3 b       |
| Casca de arroz   | 1,8 b A  | 4,1 bc A | 2,9 c       |
| Farelo de arroz  | 7,7 b B  | 21,3 a A | 14,5 a      |
| Quirera de arroz | 5,3 b A  | 4,7 bc A | 5,0 bc      |
| Testemunha       | 1,3 b A  | 0,8 c A  | 1,1 c       |
| Ponto de Origem  | 22,5 a A | 5,2 bc B | 13,9 a      |
| CV(%)            |          | 53,12    |             |

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p > 0,05$ ).

Fonte: Autoria própria (2022).

A exposição da *R. dominica* a partir do ponto de soltura nos tratamentos ofertados indica que a preferência, com maior número de insetos pela média geral, foi pelo farelo de arroz. Na Arena Modular, o número de insetos foi similar entre todos os tratamentos com amostra. E os demais compartimentos de tratamentos houve pouca incidência de insetos e a grande parte dos insetos permaneceram no Ponto de origem. A maior concentração de insetos no tratamento com farelo de arroz pode estar relacionada ao modo que os insetos se adaptaram no ambiente e a resistência da abertura de galerias nos grãos, o besouro fez a localização do farelo de arroz como o alimento mais adequado. Pelo fato de os grãos de arroz com casca possuírem alta concentração de carboidratos, o inseto pode ovopositar para alimentação das larvas nas primeiras fases. Porém quando ofertado o farelo de arroz, o inseto identifica o melhor alimento para as larvas e adultos do *R. dominica* sem a necessidade de abertura de galerias e opta pelo canjicão por não perfurar a casca de arroz.

Segundo Koehler (1994), os adultos e as larvas da *R. dominica* se alimentam do grão até reduzi-lo a uma casca oca e são capazes de sobreviver e desenvolver no pó gerado pela própria alimentação. A escolha dos alimentos pelos insetos pode ser motivada pela composição nutricional dos grãos. Arnason et al. (1993), diz que a preferência por grãos e farinhas pode ser associada a alguns fatores, como a natureza física ou química da película do grão, resistência do pericarpo, presença de aleloquímicos entre outros. Ainda, salienta que estímulos físicos como cor, dureza e formato não têm qualquer relação com a preferência.

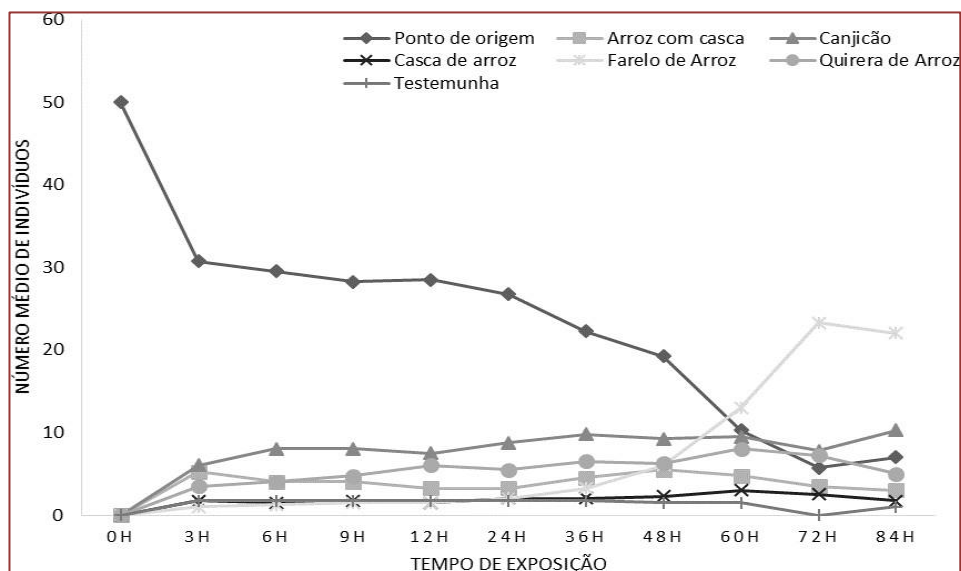
Souza et al (2012), em estudo de preferência alimentar de *R. dominica* em relação a arroz e milho verificaram a preferência por arroz, também relacionada a maiores concentrações de proteína nesse cereal. Altos valores proteicos disponibilizam maiores quantias de aminoácidos que são essenciais para a produção de tecidos e enzimas, além disso o nitrogênio tem função em todos os processos metabólicos e em codificação genética, sendo a quantidade deste um fator que limita o crescimento e fecundidade de insetos (Parra, 1991).

Ao analisar a composição de subprodutos do arroz Castilho et al. (2011) encontraram valores de proteína bruta, extrato etéreo, fibra bruta e matéria mineral no farelo de 13,28%, 13,8%, 5,49% e 9,24%, e na quirera de 7,76%, 0,74%, 0,07% e 0,56%, respectivamente. Estes valores indicam maior qualidade nutricional do farelo quando comparado a quirera, o que pode explicar a preferência deste alimento pelo inseto.

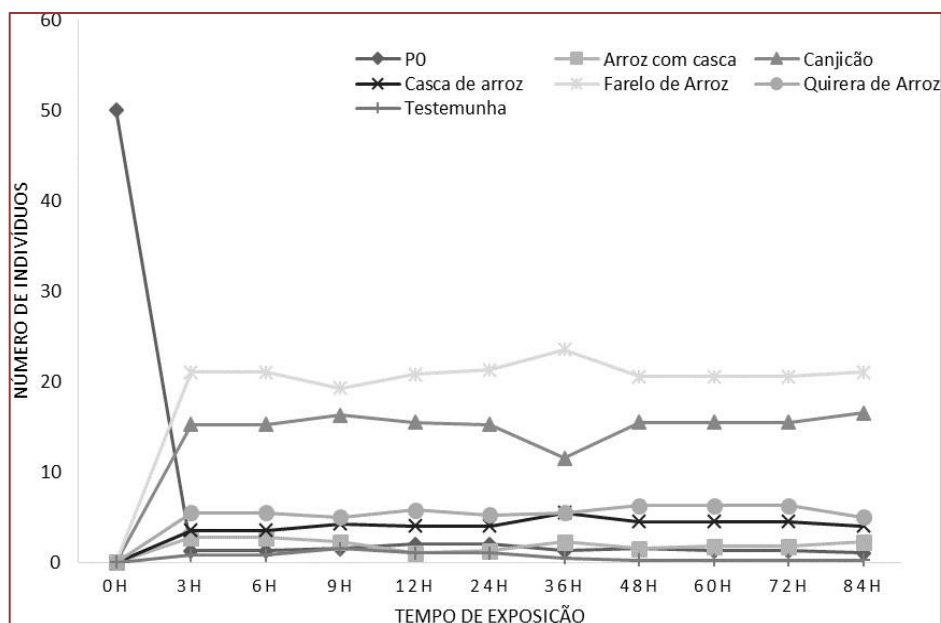
A casca do arroz foi o alimento de menor atratividade e semelhante à testemunha, sem nenhum alimento. A casca apresenta baixo valor nutricional, os valores máximos são de 2,8% proteína bruta, 0,8% de gordura, 43% de celulose, 22% de hemicelulose, 17% de lignina e 11% de cinzas (80 a 90% de SiO<sub>2</sub>) (Fernandes et al., 2015). Na casca de grãos de arroz a disposição de pátela e lema podem ser a causa de não suscetibilidade ao *R. dominica* durante o armazenamento, uma vez que os grãos íntegros são menos atacados quando comparados com aqueles que possuem defeito na casca (Lara, 1991).

**Figura 2** – Variação numérica média de indivíduos de *Rhyzopertha dominica* a partir do ponto de soltura até diferentes fontes de alimentos e condições de escolha em função do tempo de exposição

#### ARENA MODULAR



#### ARENA ABERTA



Fonte: Autoria própria (2022).

Na arena modular, foi observado nas primeiras 48 horas a elevação do número e permanência de insetos no tratamento com canjicão. A rápida concentração dos insetos em tratamento evidencia a preferência alimentar, o que leva a crer que os insetos possuíram um horário para concentração e consequentemente se alimentar. A

preferência pelo farelo de arroz foi maior nas horas finais de exposição. Portanto, na Arena Modular a movimentação dos insetos até os alimentos mais nutritivos ocorreu de forma lenta.

A Arena Aberta, com teste de preferência de livre de escolha, foi observado intensa migração dos insetos do ponto de partida nas primeiras 3 horas em direção a tratamento do farelo de arroz. Nos demais tratamentos a movimentação dos insetos foi de forma lenta.

Antunes e Dionello (2010) afirmam que a temperatura e a umidade influenciam diretamente no ciclo do inseto e no consumo por grãos e farinhas. O besouro na sua fase adulta apresenta uma longevidade em torno 4,3 e 4,9 meses em condições de temperatura de 32,5 a 35°C (Birch, 1953). Como a temperatura do ensaio foi de aproximadamente 25°C, que o houve a de forma linear a movimentação do *R. dominica* nas primeiras horas, nas horas finais observou-se o pico máximo de número de insetos no tratamento com farelo de arroz.

O ajustamento de curvas de variação numéricas dos insetos de *R. dominica* a partir do ponto de origem nas escolhas dos tratamentos ao tempo de exposição em 84 horas são apresentadas na (Tabela 2).

**Tabela 2** - Ajustamento de curvas da variação numérica do número de indivíduos de *Rhyzopertha dominica* (n = 50) a partir do ponto de soltura até diferentes fontes de alimentos e condições de escolha em função do tempo de exposição (t = 84h)

| Arena Modular    |                          |                |          |
|------------------|--------------------------|----------------|----------|
|                  | Equação de melhor ajuste | R <sup>2</sup> | p-valor  |
| Ponto de origem  | $y = 36,01 - 0,38x$      | 82,58          | 0,0001   |
| Arroz em casca   | $y = 2,21x^{0,166}$      | 26,22          | 0,1073   |
| Canjição         | $y = 2,55x^{0,353}$      | 59,37          | 0,0055   |
| Casca de arroz   | $y = 1,15x^{0,165}$      | 66,27          | 0,0023   |
| Farelo de arroz  | $y = -1,86 + 0,27x$      | 86,52          | <0,00001 |
| Quirera de arroz | $y = 1,82x^{0,337}$      | 72,21          | 0,0009   |
| Testemunha       | $y = 1,55 - 0,01x$       | 9,41           | 0,3587   |
| Arena Aberta     |                          |                |          |
| Ponto de origem  | $y = 8,28x^{-0,517}$     | 45,60          | 0,0226   |
| Arroz em casca   | $y = 1,61x^{0,033}$      | 1,65           | 0,7067   |
| Canjição         | $y = 4,18x^{0,368}$      | 41,25          | 0,0330   |
| Casca de arroz   | $y = 1,87x^{0,238}$      | 58,03          | 0,0064   |
| Farelo de arroz  | $y = 4,87x^{0,418}$      | 42,95          | 0,0285   |
| Quirera de arroz | $y = 2,37x^{0,251}$      | 46,67          | 0,0205   |
| Testemunha       | $y = 1,55x^{-0,362}$     | 56,84          | 0,0073   |

Fonte: Autoria propria (2022).

Ao ajustar as curvas para explicar a variação dos indivíduos no tempo de exposição, apenas na Arena Modular no ponto de origem e no tratamento farelo de arroz os modelos de ajuste foram lineares. Sendo assim, com maior concentração de insetos de *R. dominica* no tratamento de farelo de arroz, este comportamento indica que os insetos movimentaram de forma linear e contínua do primeiro para o segundo ponto, porém de

maneira lenta. Nas demais fontes de alimento o modelo que apresentou melhor ajuste foi o geométrico, este modelo é definido por uma função de potência, dentro dos parâmetros  $a$  e  $b$ , obtidos por meio de uma variável.

Em trabalhos sobre ecologia de insetos, Magurran (1988) comenta que este padrão pode ser observado basicamente em estágios temporários de sucessão, em que há uma movimentação grande e transitória de indivíduos. Esta grande movimentação foi verificada na Arena Aberta, onde os insetos tiveram as melhores condições para a escolha de seu alimento.

#### 4. CONCLUSÃO

A *Rhyzopertha dominica* possui preferência alimentar pelo Farelo de Arroz em detrimento ao Arroz com Casca, Canjição, Casca de Arroz e Quirera de Arroz.

#### REFERÊNCIAS

- [1] AHMAD, F.; RIDLEY, A.; DAGLISH, G. J.; BURRILL, P. R.; WALTER, G. H. Resposta de *Tribolium castaneum* e *Rhyzopertha dominica* a vários recursos, perto e longe do armazenamento de grãos. **Journal of Applied Entomology**. 2013.
- [2] ANTUNES, L. E. G.; DIONELLO, R. G. Bioecologia de *Lasioderma serricorne* (Fabricius 1792) (Coleoptera: Anobiidae). **Artigo em hipertexto**. 2010. Disponível em: [http://www.infobibos.com/Artigos/2010\\_2/Lasioderma/index.htm](http://www.infobibos.com/Artigos/2010_2/Lasioderma/index.htm). Acesso em: jan. 2022.
- [3] ARNASON, J. T. B.; BAUN, J.; GALÉ, J.; LAMBERT, J. D. H.; BERGVISON, D.; PHILLOGENE, B. J. R.; SERRATOS, J. A.; MIHN, J.; JOWALL, D. C. Variation in resistance of Mexican landraces of maize weevil *Sitophilus zeamais* in relation to taxonomic and biochemical parameters. **Euphytica**, v. 74, p. 227-236, 1993.
- [4] BASSINELLO, P. Z. Aproveitamento industrial. In: SANTOS, A. B.; STONE, L. F.; VIEIRA, N. R. A. **A cultura do arroz no Brasil**. 2. ed. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão. Cap. 24, p. 1007-1042. 2006.
- [5] CASTILHO, J. O. P.; MULLER, M.; ANÇA, A. G.; PORCIUNCULA, G. C. da; SUÑÉ, R.; FONTOURA, J. C. G. da; GUSMÃO, N. A. da C. Composição dos subprodutos do arroz na alimentação de ruminantes. In: **Mostra de Iniciação Científica**, 9., 2011, Bagé, RS. Anais Congrega URCAMP. Bagé: URCAMP, 2011.
- [6] FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Arroz híbrido para contribuir à segurança alimentar. 2020. Disponível em: <https://www.fao.org/markets-and-trade/commodities/rice/fao-rice-price-update/en/>. Acesso em: out. 2021.
- [7] FERNANDES, I. J.; SANTOS, E. C. A. dos; OLIVEIRA, R.; REIS, J. M.; CALHEIRO, D.; MORAES, C. A. M.; MODOLO, R. C. E. Caracterização do resíduo industrial casca de arroz com vistas à sua utilização como biomassa. In: **Fórum Internacional de Resíduos Sólidos**, 6., 2015, São José dos Campos, SP. Anais. São José dos Campos: Instituto Venturi, 2015.
- [8] GIRÃO FILHO, J. E.; ALCÂNTARA NETO, F.; PÁDUA, L. E. M.; PESSOA, E. F. Repelência e atividade inseticida de pós vegetais sobre *Zabrotes subfasciatus* Boheman em feijão-fava armazenado. **Revista Brasileira de Plantas Medicinais**, v. 16, n. 3, p. 499-504, 2014.
- [9] KOEHLER, P. G. Lesser grain borer, *Rhyzopertha dominica* (Coleoptera: Bostrichidae). **University of Florida, Institute of Food and Agricultural Sciences**, 1994. Disponível em: [http://edis.ifas.ufl.edu/BODY\\_IG117](http://edis.ifas.ufl.edu/BODY_IG117). Acesso em: nov. 2021.
- [10] LORINI, I. Manejo integrado de pragas de grãos de cereais armazenados. Passo Fundo: **Embrapa Trigo**, p. 72. 2008.
- [11] MAGURRAN, A. E. Ecological diversity and its measurement. Princeton, NJ: **Princeton University Press**, p. 179. 1988.
- [12] PARRA, J. R. P. Criação massal de inimigos naturais. In: **PARRA, J. R. P. Controle biológico no Brasil:**

parasitoides e predadores. São Paulo: Manole. Cap. 9, p. 143-164. 2002.

[13] RAJAN, T. S.; MURALITHARAN, V.; DAGLISH, G. J.; MOHANKUMAR, S.; RAFTER, M. A.; CHANDRASEKARAN, S.; MOHAN, S.; VIMAL, D.; SRIVASTAVA, C.; LOGANATHAN, M.; WALTER, G. H. Voo de três principais insetos-praga de grãos armazenados nos trópicos de monção da Índia, por latitude, estação e habitat. **Journal of Stored Products Research**, v. 76, p. 43-50, 2018.

[14] SOUZA, A. R.; SILVA, T. M.; SANTOS, J. F. L.; PREZOTO, F. Seleção e desenvolvimento de *Sitophilus oryzae* (Linné, 1763) em três substratos. **Magistra**, v. 24, n. 2, p. 160-163, 2012.

[15] VILLELA, F. A.; PERES, W. B. Coleta, beneficiamento e armazenamento. In: **Germinação do básico ao aplicado**. Porto Alegre: Artmed. p. 265-281. 2004.

[16] WALTER, M.; MARCHEZAN, E.; AVILA, L. A. Arroz: composição e características nutricionais. **Revista Ciência Rural**, v. 38, n. 4, p. 1184-1192. 2008.

[17] WAONGO, A.; TRAORE, F.; DABIRE-BINSO, C.; MURDOCK, L. L.; BARIBUTSA, D.; SANON, A. Effects of PICS bags on insetos pragas de sorgo durante o armazenamento de longo prazo em Burkina Faso. **Journal of Stored Products Research**, v. 83, p. 261-266, 2019.

# Capítulo 7

## *Sensibilidade de isolados de *Fusarium* spp. causadores da morte-súbita-da-soja a fluxapirroxade + piraclostrobina*

*Debora Janine Silva Gonçalves  
Melina Korres Raimundi  
Francisco Italo Ferreira Fernandes  
Leidy Ximena Figueroa Cossio  
Carlos Gabriel Xavier Dourado  
Paolla Cardoso Borges Frazão  
Ana Luiza da Silva Mendes  
Gleina Costa Silva Alves  
Erica Fernandes Leão Araújo  
Milton Luiz da Paz Lima*

**Resumo:** As estratégias de controle na parte aérea muitas vezes são pouco discutidas sobre seus impactos sobre os patógenos do solo, bem como, o impacto na sensibilidade nesse outro imputante patossistema. O objetivo deste trabalho foi avaliar a sensibilidade de isolados de *Fusarium* spp. à fluxapirroxade+piraclostrobina. Avaliou-se 44 isolados de *Fusarium* spp., coletados em sintomas de morte-súbita-da-soja, oriundos de várias regiões produtoras da cultura. Matrizes puras foram cultivadas em meio de batata-dextrose-água (BDA) para recorte de discos de micélio (10 mm Ø), que foram depositados ao centro de placas de Petri contendo meio BDA dissolvido em diferentes concentrações de fluxapirroxade+piraclostrobina (sem fungicida, 0,1, 1, 10 e 100 µL L<sup>-1</sup>; duas repetições). Avaliou-se o diâmetro da colônia (mm) durante o período de sete dias, sendo calculados à área abaixo da curva de progresso do crescimento micelial (AACPCM), taxa de crescimento micelial (TCM), concentração efetiva capaz de inibir o crescimento micelial em 50 % (EC<sub>50</sub>). Os isolados IF 414 (AACPCM = 229,2) e IF 325 (AACPCM = 219,2) apresentaram as maiores atividades fisiológicas em todas as dosagens de fungicida. O isolado IF 285, um fitopatógeno proveniente de Orizônia (GO), se destacou por apresentar maior EC<sub>50</sub> (28,55 µL L<sup>-1</sup>), ou seja, maior insensibilidade a fluxapirroxade+piraclostrobina (Orkestra®), amplamente utilizado na parte aérea.

**Palavras-chave:** fungicidas, sensibilidade, insensibilidade, fungo de solo, estrobirulina, carboxamida, sítio específico.

## 1. INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* L. - Fabaceae) é uma cultura agrícola de importância global, especialmente no Brasil, onde o Estado de MT e a região Centro-Oeste são os maiores produtores (CONAB, 2024). No entanto, a produção enfrenta desafios crescentes, como variações climáticas, infestação por plantas daninhas e a pressão significativa de pragas e doenças tanto da parte aérea como sistema radicular, ocasionando expressivas reduções de produtividade a produtividade (Micrereff et al., 2005).

A morte-súbita-da-soja (MSS) destaca-se como uma das doenças de solo mais preocupantes, sendo causada por complexos de espécies de *Fusarium* spp., como *F. virguliforme* O'Donnell & T. Aoki (2003) (América do Norte), *F. tucumaniae* T. Aoki, O'Donnell, Yosh. Homma & Lattanzi (2003) (América do Sul especialmente Brasil), *F. brasiliense* T. Aoki & O'Donnell (2005) (América do Sul), *F. cuneirostrum* O'Donnell & T. Aoki (2005) (América do Sul) e *F. crassistipitatum* Scandiani, T. Aoki & O'Donnell (2011) que são fitopatógenos de solo capazes de provocar a murcha, sintoma carijó e morte das plantas de soja. Os sintomas incluem amarelecimento internerval, necrose radicular, avermelhamento de haste, micélio branco avermelhado no colo, e, em casos graves, a morte completa da planta, resultando em perdas consideráveis (ALEIXO, 2003). Esse fitopatógeno habitante do solo, expresso por condições de estresse submetidas a cultura, pode ser introduzido em lavouras tanto por meio de solo contaminado quanto por sementes infectadas, o que torna o seu controle particularmente difícil, exigindo uma abordagem multidisciplinar de controle (Edel et al., 1997).

O uso de fungicidas é uma estratégia eficaz no manejo doenças da parte aérea, sendo o fungicida Orkestra® uma formulação amplamente utilizada para controle de doenças da parte aérea da soja. Ele combina dois ingredientes ativos, o primeiro fluxapiroxade, um inibidor da respiração mitocondrial (inibição da enzima succinato desidrogenase SDHI), e piraclostrobina (inibidoras da quinona oxidase, QoI ou IQo) (Duan et al., 2019), que também atua inibindo a respiração celular fúngica, altamente indutores de insensibilidade com o uso contínuo (Godoy e Canteri, 2004). No entanto, a eficácia desses fungicidas pode ser comprometida pela variabilidade que as populações de *Fusarium* spp. apresentam quanto a sensibilidade a moléculas destes produtos.

Estudos sobre a variabilidade das populações de *Fusarium* spp. quanto à sua sensibilidade ao fungicida fluxapiroxade + piraclostrobina são cruciais para entendimento e emprego eficaz do manejo integrado de doenças. Essa variabilidade pode ocorrer devido a mutações genéticas, recombinação sexual ou a transferência horizontal de genes de resistência, que podem reduzir a eficácia dos fungicidas utilizados. Avaliar a sensibilidade de diferentes populações do patógeno ao fungicidas é, portanto, uma ferramenta essencial para a manutenção da eficácia de fungicidas e evitar o surgimento de resistência (Rekanovic et al., 2010).

O manejo integrado da MSS deve incorporar práticas como: redução de estresses sobre o hospedeiro (compactação de solo e desequilíbrio nutricional), a rotação de culturas, o uso de sementes tratadas com fungicidas e o monitoramento contínuo das lavouras (Aleixo, 2003). Ao observar variações na sensibilidade do patógeno, os produtores podem ajustar suas estratégias de controle da parte aérea para influenciar com menor intensidade sobre patógenos do solo. Portanto, a continuidade de pesquisas sobre a variabilidade das populações de *Fusarium* spp. é essencial para garantir o sucesso na aplicação de medidas de controle e minimizar as perdas econômicas na produção de soja (Meyer et al., 2022).

O objetivo deste trabalho foi avaliar a variabilidade na sensibilidade de diferentes isolados de *Fusarium* spp., causadores da MSS, ao fungicida fluxapirroxade + piraclostrobina, determinando a concentração efetiva para inibir o crescimento micelial em 50 % (EC<sub>50</sub>). Além disso, buscou-se identificar padrões de sensibilidade nas populações de *Fusarium* spp. e fornecer subsídios para o manejo integrado da MSS.

**Figura 1.** Uso do fungicida fluxapirroxade+piraclostrobina e relação da molécula aplicada na parte aérea sobre populações do agente causal da morte súbita da soja



## 2. MATERIAL E MÉTODOS

A partir de 44 isolados de *Fusarium* spp. (Tab. 1), de condição inicialmente fitopatogênica, foram produzidas culturas puras. Para assegurar a pureza dos isolados e minimizar contaminações, a coleta seguiu mediante um rigoroso protocolo de assepsia superficial incluindo a imersão dos fragmentos destacados na região lesionada em solução de etanol [50 %] por 1', seguida pela desinfecção com hipoclorito de sódio (NaClO) a [1 %] por 1' de tríplice lavagem superficial com água destilada (Alfenas e Mafia, 2007).

Após a assepsia, os fragmentos de tecido vegetal foram dispostos sobre papel autoclavado para secagem. Os fragmentos foram transferidos para uma câmara de fluxo laminar, onde foram inoculados em placas contendo meio ágar-água (AA). As placas foram vedadas, devidamente identificadas e incubadas a 25 °C por 48 horas, proporcionando condições ótimas para o crescimento micelial. Após esse período, o micélio emergente foi cuidadosamente coletado e transferido para meio de cultura batata-dextrose-ágar (BDA) para a obtenção e geração de culturas puras.

A partir de discos de micélio de nove mm de diâmetro oriundos de culturas puras de *Fusarium* spp. transferiu-se para três repetições por tratamento das dosagens de fluxapiroxade + piraclostrobina (sem fungicida, 0.1, 1, 10 e 100 ppm ou  $\mu\text{L L}^{-1}$ ) aplicadas em meio BDA (Fig. 2), essa mistura refere-se ao fungicida Orkestra® SC de concentrações de 167 g L<sup>-1</sup> e 333 g L<sup>-1</sup>, respectivamente. As placas foram adequadamente vedadas com filme plástico de PVC, identificadas e incubadas em câmara de crescimento por sete dias, sob condições controladas, a uma temperatura de 27 °C.

A partir de soluções-estoques congeladas, cada concentração do fungicida foi derretida a temperatura ambiente, sendo coletado três mL da solução estoque para 500 mL do meio de cultivo BDA sob temperatura suportável ao toque (45 °C). Aproximadamente 20 mL da mistura do meio BDA com as dosagens dos tratamentos foram depositados em placas de Petri estéreis. Aguardou-se 15' para solidificação, fechamento e guarnição em refrigeração por 24 horas.

O experimento foi realizado em delineamento inteiramente casualizado com fator 1 – isolados (44 tratamentos/isolados), fator 2 – dosagens (cinco tratamentos/dosagens) e três repetições, totalizando 660 unidades experimentais.

As avaliações do crescimento micelial foram realizadas mediante a mensuração do diâmetro da colônia (mm), utilizando régua em intervalos de 24 horas durante sete dias após a inoculação (DAI) permitindo o cálculo da área abaixo da curva de crescimento micelial (AACPCM). Esse parâmetro foi calculado através da integralização das medidas do diâmetro da colônia nos dias de avaliação, onde a variável independente [X] representou o tempo em dias [DAI] e [Y] o diâmetro da colônia [em mm]) (Figura 2).

A taxa de crescimento micelial (TCM, mm dia<sup>-1</sup>) foi calculada a partir da regressão linear para obtenção do bx (coeficiente angular), onde y = diâmetro de colônia e x os dias de avaliação.

A partir das amplitudes dos valores calculados de EC<sub>50</sub>, estabeleceu-se grupos de sensibilidade representados por Sensível, Moderadamente sensível, Intermediário, Moderadamente insensível e Insensível (Tabela 3). Testou-se os pressupostos de normalidade e homogeneidade, seguindo de testes de hipótese e testes de comparação de médias.

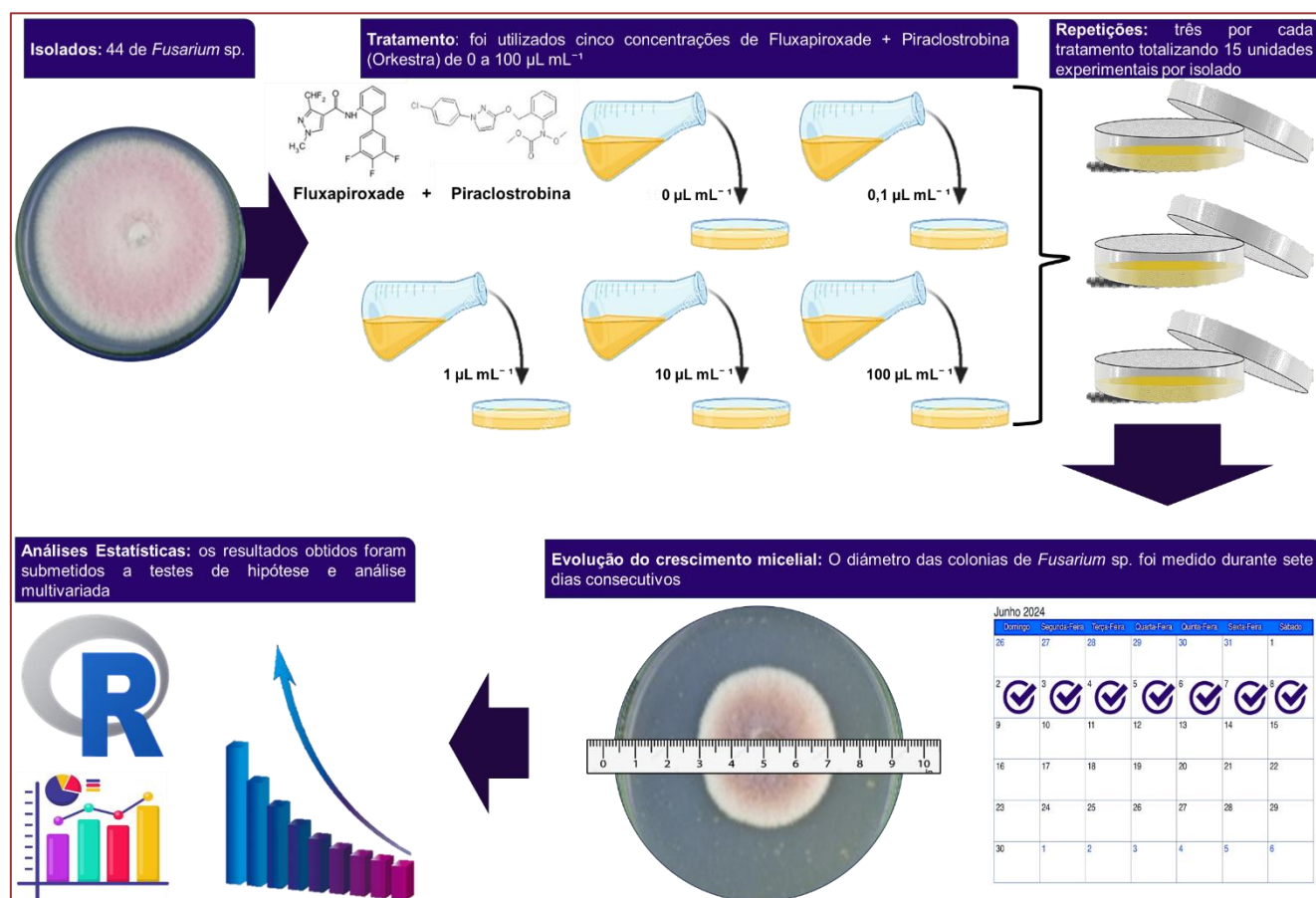
**Tabela 1.** Listagem de isolados de *Fusarium* spp. de acordo com a ordenação (Ord.), o código dos isolados (COD), hospedeiros de origem (HO), identificação do gênero e espécie do fungo (GEN), local de coleta (LC), data de depósito na coleção (DATA)

| Ord. | COD     | HO                            | GEN                                                | LC                              | DATA       |
|------|---------|-------------------------------|----------------------------------------------------|---------------------------------|------------|
| 1    | IF 004  | Cana-de-açúcar [IF4]          | <i>Fusarium</i> sp.                                | Luziânia (GO)                   | 22/05/2024 |
| 2    | IF 048  | Soja Tiguera (C1A2) [IF48]    | <i>Fusarium</i> sp.                                | Vianópolis (GO)                 | 23/05/2022 |
| 3    | IF 068  | Morango cv. San Andres [IF68] | <i>Fusarium</i> sp.                                | Cristalina (GO)                 | 23/05/2022 |
| 4    | IF 086  | Cana [IF 86]                  | <i>Fusarium</i> sp.                                | Luziânia (GO)                   | 07/06/2022 |
| 5    | IF 107  | Tomate (28) [IF 107]          | <i>Fusarium oxysporum</i> f.sp. <i>lycopersici</i> | São Paulo (SP)                  | 08/06/2022 |
| 6    | IF 234  | Chapadinha fruto [IF 234]     | <i>Fusarium</i> sp.                                | Urutaí (GO)                     | 23/09/2022 |
| 7    | IF 265  | Tigueria Soja C8A4 [IF 265]   | <i>Fusarium</i> sp.                                | Vianópolis (GO)                 | 28/09/2022 |
| 8    | IF 277  | Soja Tigueria (1)             | <i>Fusarium</i> sp.                                | Urutaí (GO)                     | 13/10/2023 |
| 9    | IF 278  | Soja Tigueria (2)             | <i>Fusarium</i> sp.                                | Urutaí (GO)                     | 13/10/2023 |
| 10   | IF 279  | Soja Tigueria (3)             | <i>Fusarium</i> sp.                                | Urutaí (GO)                     | 13/10/2023 |
| 11   | IF 280  | Teta de vaca                  | <i>Fusarium</i> sp.                                | Urutaí (GO)                     | 13/10/2023 |
| 12   | IF 282  | Soja Tigueria C5A3            | <i>Fusarium</i> sp.                                | Catalão (GO)                    | 13/10/2023 |
| 13   | IF 283  | Soja Tigueria C6A5            | <i>Fusarium</i> sp.                                | Silvânia (GO)                   | 13/10/2023 |
| 14   | IF 284  | Mamão                         | <i>Fusarium</i> sp.                                | Urutaí (GO)                     | 13/10/2023 |
| 15   | IF 285  | Soja Tigueria Orizona         | <i>Fusarium</i> sp.                                | Orizona (GO)                    | 13/10/2023 |
| 16   | IF 286  | Solo                          | <i>Fusarium</i> sp.                                | Urutaí (GO)                     | 13/10/2023 |
| 17   | IF 287  | Milho espiga                  | <i>Fusarium fujikuroi</i>                          | Urutaí (GO)                     | 13/10/2023 |
| 18   | IF 288  | Girassol BRSG 84 (semente)    | <i>Fusarium</i> sp.                                | Urutaí (GO)                     | 13/10/2023 |
| 19   | IF 289a | Soja Tigueria ST 3.4          | <i>Fusarium</i> sp.                                | Luziânia (GO)                   | 22/05/2024 |
| 20   | IF 289b | Soja Tigueria ST 3.4          | <i>Fusarium</i> sp.                                | Luziânia (GO)                   | 22/05/2024 |
| 21   | IF 290  | Soja Tigueria ST 2.1          | <i>Fusarium</i> sp.                                | Luziânia (GO)                   | 13/10/2023 |
| 22   | IF 291  | Soja Tigueria ST 3.8          | <i>Fusarium</i> sp.                                | Luziânia (GO)                   | 13/10/2023 |
| 23   | IF 294  | Soja Tigueria ST 3.1          | <i>Fusarium</i> sp.                                | Luziânia (GO)                   | 13/10/2023 |
| 24   | IF 296  | Desconhecido                  | <i>Fusarium</i> sp.                                | Urutaí (GO)                     | 13/10/2023 |
| 25   | IF 313  | Sorgo folha Adriana           | <i>Fusarium graminearum</i>                        | Urutaí (GO)                     | 01/03/2024 |
| 26   | IF 314  | Soja Am 2.1                   | <i>Fusarium</i> sp.                                | Piracanjuba (GO)                | 01/03/2024 |
| 27   | IF 315  | Milho                         | <i>Fusarium</i> sp.                                | Urutaí (GO)                     | 01/03/2024 |
| 28   | IF 316  | Soja Am 6 CV. 2               | <i>Fusarium</i> sp.                                | Silvânia (GO)                   | 01/03/2024 |
| 29   | IF 318  | IFC 03 [IF 211]               | <i>Fusarium</i> sp.                                | Passo Fundo (RS)                | 01/03/2024 |
| 30   | IF 319  | Soja Am 6.5                   | <i>Fusarium</i> sp.                                | Silvânia (GO)                   | 01/03/2024 |
| 31   | IF 321  | Soja Am 1.4                   | <i>Fusarium</i> sp.                                | Piracanjuba (GO)                | 13/10/2023 |
| 32   | IF 322  | Soja Am 3.4                   | <i>Fusarium</i> sp.                                | São Miguel do Passa Quatro (GO) | 22/05/2024 |
| 33   | IF 323  | Soja                          | <i>Fusarium</i> sp.                                | Urutaí (GO)                     | 22/05/2024 |
| 34   | IF 324  | Soja                          | <i>Fusarium</i> sp.                                | Urutaí (GO)                     |            |
| 35   | IF 325  | Soja Ipameri                  | <i>Fusarium</i> sp.                                | Ipameri (GO)                    | 16/09/2022 |
| 36   | IF 326  | Soja Am 6 cv.2 AS 3790 i2X    | <i>Fusarium</i> sp.                                | Silvânia (GO)                   | 01/03/2024 |

**Tabela 1.** Listagem de isolados de *Fusarium* spp. de acordo com a ordenação (Ord.), o código dos isolados (COD), hospedeiros de origem (HO), identificação do gênero e espécie do fungo (GEN), local de coleta (LC), data de depósito na coleção (DATA) (continuação)

| Ord. | COD    | HO                                   | GEN                 | LC                              | DATA       |
|------|--------|--------------------------------------|---------------------|---------------------------------|------------|
| 37   | IF 328 | Soja Am 9.5                          | <i>Fusarium</i> sp. | Vianópolis (GO)                 | 01/03/2024 |
| 38   | IF 330 | Soja Am 8.2                          | <i>Fusarium</i> sp. | Vianópolis (GO)                 |            |
| 39   | IF 331 | Soja Am 10.5                         | <i>Fusarium</i> sp. | Orizona (GO)                    | 22/05/2024 |
| 40   | IF 332 | Soja Am 4.4                          | <i>Fusarium</i> sp. | São Miguel do Passa Quatro (GO) | 22/05/2024 |
| 41   | IF 414 | Soja Am 6.1 (cv1) AS 3595 i2X (2024) | <i>Fusarium</i> sp. | Silvânia (GO)                   | 06/05/2024 |
| 42   | IF 415 | Soja Am 6.4 (CV2) AS 3790 i2X        | <i>Fusarium</i> sp. | Silvânia (GO)                   | 22/05/2024 |
| 43   | IF 428 | Soja Am 2.5 (2024)                   | <i>Fusarium</i> sp. | Piracanjuba (GO)                | 06/05/2024 |
| 44   | IF 432 | Soja                                 | <i>Fusarium</i> sp. | Urutai (GO)                     | 15/05/2024 |

**Figura 2.** Representação esquemática da metodologia aplicada no experimento



### 3. RESULTADOS

Todas as variáveis respostas não apresentaram homogeneidade das variâncias e normalidade, sendo necessário a aplicação de testes de hipótese não paramétrico (Friedman Test) (Tabela 2).

Na testemunha foi observada maior atividade fisiológica dos isolados, havendo menor crescimento micelial em meio de cultura BDA à medida que se aumentou a dosagem de fungicida para 100  $\mu\text{L L}^{-1}$  (Tabela 2).

Durante a avaliação temporal, do primeiro ao sétimo dia após a inoculação (DAI) as maiores médias diâmetro da colônia, obtidas em todas as dosagens de fungicidas, foram observadas nos isolados IF 324 [oriundo de soja, coletado no município de Urutaí, GO], IF 325 [isolado oriundo de soja cv. AS 3790, coletada no município de Ipameri, GO] e IF 414 [isolado oriundo de soja cv. 3595 i2X, coletada no município de Silvânia, GO]. Esse comportamento indica que esses isolados são mais insensíveis fisiologicamente a mistura fuxapirroxade+piraclostrobina (Tabela 2).

Já as menores médias do diâmetro da colônia, obtidas em todas as dosagens de fluxapirroxade+piraclostrobina, foram observadas nos isolados IF 284 [isolado oriundo de mamão, coletado no município de Urutaí, GO], IF 285 [isolado oriundo de soja tiguera, coletado no município de Orizona, GO], IF 294 [isolado oriundo de soja tiguera, coletado no município de Luziânia, GO], IF 277 [isolado oriundo de soja tiguera, coletado no município de Urutaí, GO] e IF 068 [isolado oriundo de morango, coletado no município de Cristalina, GO]. Esse comportamento indica os isolados como sendo mais sensíveis fisiologicamente a mistura fuxapirroxade+piraclostrobina (Tabela 2).

No primeiro e quarto dia após a inoculação (DAI), os isolados IF 325 e IF 284 apresentaram respectivamente o maior e menor diâmetro de crescimento micelial quando submetidos a diferentes dosagens de fluxapirroxade+piraclostrobina (Tabela 2).

No segundo DAI, os isolados IF 324 e IF 284 apresentaram respectivamente o maior e menor diâmetro de crescimento micelial quando submetidos a diferentes dosagens de fluxapirroxade+piraclostrobina (Tabela 2).

No terceiro, quinto e sexto DAI, os isolados IF 414 e IF 284 apresentaram respectivamente o maior e menor diâmetro de crescimento micelial quando submetidos a diferentes dosagens de fluxapirroxade+piraclostrobina (Tabela 2).

No sétimo DAI, os isolados IF 325 e IF 414 apresentaram o maior diâmetro de crescimento micelial. O isolado IF 284 apresentou o menor diâmetro de crescimento micelial quando submetidos a diferentes dosagens de fluxapirroxade+piraclostrobina. Na análise temporal do crescimento a sensibilidade (menor quantidade da molécula para inibir o crescimento micelial), a mistura fluxapirroxade+piraclostrobina, por esse método de estudo está representada pelos isolados IF 284 e IF 330 e a maior insensibilidade está representada pelos isolados IF 324, IF 325 e IF 414 (Tabela 2).

A integralização da curva de progresso do crescimento micelial denominada de AACPCM, indicou que os isolados IF 325 [isolado oriundo de soja, coletado em Ipameri, GO] e IF 414 [isolado oriundo de soja cv. 3595 i2X, coletado em Silvânia, GO] apresentaram os maiores crescimentos miceliais, indicando isolados mais insensíveis a mistura fluxapirroxade+piraclostrobina. Já os isolados IF 330 [isolado oriundo de soja, coletado em Vianópolis, GO], IF 294 [isolado oriundo de soja tiguera, coletado em Luziânia, GO], IF 285 [isolado oriundo de soja tiguera, coletado em Orizona, GO] e IF 284 [isolado oriundo de

mamão, coletado em Urutaí, GO] apresentaram os menores crescimentos miceliais, indicando isolados durante o período avaliado, sendo considerados mais sensíveis a mistura fluxapiroxade + piraclostrobina (Tabela 2).

A taxa de crescimento micelial reflete o quanto de mm dia<sup>-1</sup> que os isolados submetidos a diferentes concentrações de fluxapiroxade+piraclostrobina cresceram artificialmente. Esse parâmetro indicou que os isolados que apresentaram os menores diâmetros de colônia aos sete dias, maiores AACPCM foram os isolados com maiores taxas de crescimento micelial, representados por IF 277 [isolado oriundo de soja tiguera, coletados Urutaí, GO], IF 284 [isolado oriundo de mamão, coletados Urutaí, GO], IF 285 [isolado oriundo de soja tiguera, coletados Orizona, GO] e IF 294 [isolado oriundo de soja tiguera, coletados Luziânia, GO]. Já os isolados com menores TCM foram isolados diferentes dos até aqui citados como IF 048 [isolado oriundo de morango cv. San Andrés, coletados Cristalina, GO], IF291 [isolado oriundo de soja tiguera, coletados Luziânia, GO] e IF330 [isolado oriundo de soja, coletados Vianópolis, GO]. A TCM mostrou-se uma variável não correlacionada com as demais estudadas para distinção dos isolados de *Fusarium* spp. causadores da morte-súbita-da-soja (Tabela 2).

**Tabela 2.** Médias do diâmetro de colônia (mm) em diferentes dias após a inoculação, área abaixo da curva de progresso do crescimento micelial (AACPCM) e taxa de crescimento micelial (TCM) de diferentes isolados de *Fusarium* spp. submetidos a dosagens de fluxapiroxade + piraclostrobina

| Ord. | Isolados | Diâmetro da colônia (mm) em diferentes dias após a Inoculação |    |      |    |      |    |      |    |      |    |      |    |      |    | AACPCM |    | TCM (mm dia <sup>-1</sup> ) |    |
|------|----------|---------------------------------------------------------------|----|------|----|------|----|------|----|------|----|------|----|------|----|--------|----|-----------------------------|----|
|      |          | 1                                                             |    | 2    |    | 3    |    | 4    |    | 5    |    | 6    |    | 7    |    |        |    |                             |    |
| 1    | IF 004   | 5,2                                                           | ef | 13,0 | f  | 23,5 | de | 30,8 | gh | 39,4 | de | 45,6 | fg | 53,6 | de | 181,7  | gh | 0,1                         | qr |
| 2    | IF 048   | 3,3                                                           | lm | 4,5  | q  | 26,5 | bc | 33,7 | c  | 42,8 | bc | 50,1 | cd | 59,3 | ab | 203,8  | cd | 0,1                         | wx |
| 3    | IF 068   | 2,0                                                           | rs | 4,5  | qr | 7,6  | tu | 9,7  | zA | 10,6 | tu | 13,0 | xy | 15,5 | vw | 90,5   | uv | 0,5                         | cd |
| 4    | IF 086   | 1,7                                                           | st | 3,8  | st | 8,2  | tu | 10,5 | yz | 12,6 | st | 15,5 | vw | 18,4 | tu | 96,2   | tu | 0,3                         | fg |
| 5    | IF 107   | 3,5                                                           | kl | 10,7 | ij | 16,5 | lm | 24,9 | no | 32,5 | kl | 40,0 | lm | 49,6 | gh | 175,6  | h  | 0,1                         | no |
| 6    | IF 234   | 2,1                                                           | rs | 11,3 | hi | 17,9 | k  | 26,6 | lm | 34,3 | hi | 42,5 | jk | 45,5 | lm | 178,2  | h  | 0,1                         | pq |
| 7    | IF 265   | 5,1                                                           | ef | 13,0 | ef | 21,6 | ef | 31,2 | de | 39,1 | e  | 47,2 | de | 54,5 | cd | 200,4  | de | 0,1                         | rs |
| 8    | IF 277   | 2,2                                                           | qr | 3,6  | st | 4,3  | xy | 4,7  | CD | 5,3  | uv | 5,7  | y  | 7,3  | vw | 68,8   | vw | 1,3                         | a  |
| 9    | IF 278   | 0,7                                                           | vw | 7,3  | no | 16,1 | mn | 25,3 | no | 33,3 | ij | 42,8 | hi | 50,5 | fg | 174,8  | h  | 0,1                         | tu |
| 10   | IF 279   | 0,4                                                           | wx | 2,5  | vw | 5,9  | wx | 9,5  | AB | 13,6 | rs | 16,9 | uv | 20,9 | st | 96,4   | tu | 0,6                         | bc |
| 11   | IF 280   | 3,8                                                           | ij | 12,7 | f  | 21,1 | gf | 28,7 | hi | 35,5 | f  | 43,9 | gh | 47,9 | hi | 187,8  | fg | 0,2                         | ij |
| 12   | IF 282   | 0,3                                                           | xy | 2,9  | uv | 6,3  | vw | 10,3 | zA | 13,3 | st | 20,4 | st | 25,0 | qr | 102,4  | st | 0,5                         | ef |
| 13   | IF 283   | 3,9                                                           | hi | 5,9  | op | 9,9  | rs | 12,3 | wx | 14,8 | rs | 18,1 | tu | 23,6 | rs | 108,7  | rs | 0,4                         | de |
| 14   | IF 284   | 0,0                                                           | y  | 0,93 | x  | 1,4  | z  | 1,9  | D  | 2,3  | v  | 2,7  | y  | 3,8  | w  | 54,5   | x  | 1,1                         | ab |
| 15   | IF 285   | 0,7                                                           | vw | 2,0  | wx | 3,6  | yz | 4,3  | CD | 5,47 | uv | 5,9  | xy | 7,9  | vw | 66,5   | wx | 0,9                         | ab |
| 16   | IF 286   | 0,9                                                           | uv | 4,5  | q  | 7,5  | uv | 13,1 | vw | 16,1 | qr | 21,8 | qr | 25,5 | qr | 110,9  | qr | 0,5                         | ef |
| 17   | IF 287   | 0,3                                                           | xy | 2,3  | tu | 5,4  | wx | 7,9  | BC | 10,8 | tu | 14,5 | wx | 17,1 | uv | 88,9   | uv | 0,7                         | bc |
| 18   | IF 288   | 0,5                                                           | wx | 7,3  | n  | 15,6 | n  | 24,5 | op | 33,1 | ij | 39,1 | mn | 46,1 | kl | 167,9  | i  | 0,1                         | no |
| 19   | IF 289a  | 4,1                                                           | gh | 10,4 | kl | 12,2 | jk | 29,4 | hi | 38,6 | de | 47,8 | de | 55,0 | cd | 175,0  | h  | 0,1                         | uv |
| 20   | IF 289b  | 5,9                                                           | cd | 13,8 | de | 25,9 | cd | 31,2 | de | 42,3 | cd | 50,4 | bc | 57,5 | ab | 193,3  | ef | 0,1                         | vw |
| 21   | IF 290   | 3,3                                                           | lm | 11,4 | gh | 18,9 | k  | 27,1 | kl | 32,5 | jk | 38,1 | kl | 50,5 | ef | 176,9  | h  | 0,1                         | mn |

**Tabela 2.** Médias do diâmetro de colônia (mm) em diferentes dias após a inoculação, área abaixo da curva de progresso do crescimento micelial (AACPCM) e taxa de crescimento micelial (TCM) de diferentes isolados de *Fusarium* spp. submetidos a dosagens de fluxapiroxade + piraclostrobina. (continuação)

| Ord. | Isolados | Diâmetro da colônia (mm) em diferentes dias após a Inoculação |    |                        |    |                        |    |                        |    |                        |    |                        |    |                        |    | AACPCM                 |    | TCM (mm dia <sup>-1</sup> ) |    |
|------|----------|---------------------------------------------------------------|----|------------------------|----|------------------------|----|------------------------|----|------------------------|----|------------------------|----|------------------------|----|------------------------|----|-----------------------------|----|
|      |          | 1                                                             |    | 2                      |    | 3                      |    | 4                      |    | 5                      |    | 6                      |    | 7                      |    |                        |    |                             |    |
| 22   | IF 291   | 2,5                                                           | op | 11,9                   | g  | 21,4                   | ef | 30,5                   | ef | 38,1                   | e  | 49,3                   | de | 56,3                   | bc | 199,7                  | de | 0,1                         | wx |
| 23   | IF 294   | 0,6                                                           | w  | 1,8                    | wx | 3,3                    | yz | 4,3                    | CD | 5,7                    | uv | 6,3                    | xy | 8,2                    | vw | 67,0                   | wx | 1,0                         | ab |
| 24   | IF 296   | 2,2                                                           | qr | 11,3                   | hi | 16,0                   | n  | 22,3                   | rs | 31,1                   | lm | 37,5                   | no | 44,7                   | lm | 167,5                  | i  | 0,2                         | jk |
| 25   | IF 313   | 4,8                                                           | fg | 12,7                   | f  | 20,8                   | gh | 28,8                   | hi | 33,9                   | ij | 40,7                   | kl | 45,3                   | kl | 162,0                  | ij | 0,2                         | kl |
| 26   | IF 314   | 7,3                                                           | b  | 15,9                   | cd | 24,0                   | cd | 32,5                   | cd | 39,4                   | de | 46,8                   | ef | 51,0                   | ef | 187,8                  | fg | 0,1                         | no |
| 27   | IF 315   | 3,1                                                           | mn | 10,6                   | jk | 19,8                   | ij | 27,8                   | jk | 33,9                   | hi | 40,7                   | kl | 46,0                   | jk | 157,4                  | kl | 0,1                         | op |
| 28   | IF 316   | 3,9                                                           | ij | 7,3                    | n  | 11,7                   | qr | 14,0                   | uv | 19,3                   | pq | 22,8                   | rs | 28,1                   | pq | 90,4                   | uv | 0,3                         | fg |
| 29   | IF 318   | 3,3                                                           | lm | 7,6                    | n  | 15,5                   | no | 23,0                   | qr | 27,8                   | op | 34,0                   | pq | 39,6                   | op | 129,4                  | op | 0,2                         | ij |
| 30   | IF 319   | 3,0                                                           | mn | 11,1                   | ij | 21,1                   | g  | 29,9                   | fg | 37,5                   | e  | 45,5                   | fg | 54,2                   | cd | 173,7                  | h  | 0,1                         | uv |
| 31   | IF 321   | 5,4                                                           | ef | 12,9                   | f  | 20,1                   | hi | 27,0                   | kl | 34,5                   | gh | 40,6                   | kl | 46,2                   | jk | 160,9                  | jk | 0,2                         | lm |
| 32   | IF 322   | 4,9                                                           | f  | 10,4                   | kl | 18,3                   | k  | 24,8                   | no | 33,4                   | ij | 39,6                   | kl | 44,7                   | lm | 151,2                  | lm | 0,2                         | lm |
| 33   | IF 323   | 5,6                                                           | de | 15,3                   | cd | 26,8                   | ab | 34,2                   | bc | 43,1                   | bc | 50,8                   | bc | 57,8                   | ab | 201,9                  | de | 0,1                         | vw |
| 34   | IF 324   | 7,7                                                           | ab | 18,2                   | a  | 27,8                   | ab | 37,8                   | ab | 43,8                   | ab | 50,7                   | bc | 56,4                   | bc | 210,3                  | bc | 0,1                         | pq |
| 35   | IF 325   | 8,1                                                           | a  | 18,0                   | ab | 28,0                   | ab | 30,4                   | a  | 44,2                   | ab | 53,5                   | ab | 64,1                   | a  | 219,2                  | ab | 0,1                         | rs |
| 36   | IF 326   | 2,8                                                           | no | 10,1                   | lm | 16,4                   | lm | 26,5                   | kl | 29,3                   | mn | 37,0                   | no | 43,4                   | mn | 142,4                  | mn | 0,2                         | hi |
| 37   | IF 328   | 2,1                                                           | rs | 9,5                    | m  | 19,8                   | ij | 28,4                   | ij | 35,4                   | f  | 42,9                   | gh | 49,9                   | gh | 162,0                  | ij | 0,1                         | st |
| 38   | IF 330   | 1,4                                                           | tu | 4,0                    | rs | 8,9                    | st | 11,2                   | xy | 13,3                   | st | 14,9                   | vw | 17,4                   | uv | 61,5                   | x  | 0,1                         | x  |
| 39   | IF 331   | 0,7                                                           | vw | 5,1                    | pq | 13,1                   | op | 19,1                   | tu | 28,3                   | op | 35,5                   | op | 42,4                   | no | 122,6                  | pq | 0,1                         | mn |
| 40   | IF 332   | 1,4                                                           | tu | 5,6                    | pq | 11,2                   | pq | 15,3                   | uv | 20,2                   | pq | 24,3                   | qr | 28,3                   | pq | 91,57                  | tu | 0,2                         | gh |
| 41   | IF 414   | 6,9                                                           | bc | 17,4                   | bc | 29,5                   | a  | 37,9                   | ab | 50,6                   | a  | 58,1                   | a  | 64,4                   | a  | 229,2                  | ab | 0,1                         | wx |
| 42   | IF 415   | 5,8                                                           | cd | 12,8                   | f  | 21,4                   | ef | 25,5                   | mn | 35,5                   | fg | 40,1                   | kl | 47,2                   | ij | 161,8                  | ij | 0,2                         | ij |
| 43   | IF 428   | 3,6                                                           | jk | 10,3                   | lm | 17,0                   | l  | 20,4                   | st | 28,5                   | no | 37,2                   | no | 43,8                   | mn | 136,8                  | no | 0,2                         | jk |
| 44   | IF 432   | 2,3                                                           | pq | 9,9                    | m  | 16,6                   | lm | 24,1                   | pq | 35,0                   | fg | 42,2                   | ij | 50,4                   | fg | 154,2                  | lm | 0,1                         | rs |
|      | Shapiro  | 0,9323 <sup>ns</sup>                                          |    | 0,9395 <sup>ns</sup>   |    | 0,9429 <sup>ns</sup>   |    | 0,9506 <sup>ns</sup>   |    | 0,9512 <sup>ns</sup>   |    | 0,9542 <sup>ns</sup>   |    | 0,9461 <sup>ns</sup>   |    | 0,9474 <sup>ns</sup>   |    | 0,6455 <sup>ns</sup>        |    |
|      | Bartlet  | 449,1300 <sup>ns</sup>                                        |    | 341,0800 <sup>ns</sup> |    | 377,0900 <sup>ns</sup> |    | 357,9300 <sup>ns</sup> |    | 347,6300 <sup>ns</sup> |    | 332,5900 <sup>ns</sup> |    | 312,1000 <sup>ns</sup> |    | 372,5400 <sup>ns</sup> |    | 1573000 <sup>ns</sup>       |    |
|      | CV (%)   | 71,64                                                         |    | 52,56                  |    | 48,21                  |    | 43,58                  |    | 41,1                   |    | 39,36                  |    | 37,77                  |    | 35,18                  |    | 87,59                       |    |
|      | Teste F  | 145,7134*                                                     |    | 215,5788*              |    | 233,0156*              |    | 298,1691*              |    | 218,8054*              |    | 155,9944*              |    | 154,2670*              |    | 220,1338**             |    | 143,4940**                  |    |
|      | Friedman | 127,2454**                                                    |    | 127,5968**             |    | 127,9419**             |    | 127,5288**             |    | 126,4861**             |    | 125,7477**             |    | 125,1292**             |    | 127,3878**             |    | 125,5455**                  |    |

Das cinco classes enquadradas, que os isolados foram classificados, 79,5% dos isolados foram classificados como sendo sensíveis. A dosagem capaz de inibir o crescimento micelial de 35 isolados da população estudada foi de 0 a 5,7  $\mu\text{L L}^{-1}$ . O fungicida que age sobre o alvo que são fitopatógenos da parte aérea também tem impacto sobre populações de fitopatógenos do solo (Tabela 3).

No entanto, a presença de isolados "moderadamente sensíveis" (13,6 %) e "intermediários" (4,5%) (Tabela 3) levantou preocupações a respeito do efeito das pulverizações aéreas nas populações de fitopatógenos do solo. De cada 100 propágulos de *Fusarium* spp. 13,5 unidades necessitam de 5,8 a 11,4  $\mu\text{L L}^{-1}$  para ocasionar o controle, ou 4,5 unidades necessitam de 11,5 a 17,0  $\mu\text{L L}^{-1}$  para ocasionar a morte dessa classe de *Fusarium* spp. (Tabela 3).

Os isolados com  $\text{EC}_{50}$  entre 5,8 e 22,7  $\mu\text{L L}^{-1}$ , necessitam de concentrações mais altas para que seu metabolismo seja afetado representando um potencial risco para o surgimento de insensibilidade da população do fitopatógeno. Além disso, 2,3 % dos isolados classificados como "insensíveis" apresentaram médias de  $\text{EC}_{50}$  acima de 22,7  $\mu\text{L L}^{-1}$ , demonstrando uma variabilidade e possível ineficácia de fungicidas sitio específicos no tratamento de sementes (Tabela 3).

**Tabela 3.** Amplitudes de classes (AC) de eficiência de controle, número de isolados (NI), nomes das classes de sensibilidade (CS) e porcentagem de isolados em cada amplitude de classe de dosagem de fluxapiroxade + piraclostrobina capaz de inibir o crescimento micelial em 50 % ( $\text{EC}_{50}$ )

| AC de $\text{EC}_{50}$ ( $\mu\text{L L}^{-1}$ ) | NI | CS                       | % de isolados |
|-------------------------------------------------|----|--------------------------|---------------|
| 0 - 5,7                                         | 35 | Sensíveis                | 79,5          |
| 5,8 - 11,4                                      | 6  | Moderadamente sensível   | 13,6          |
| 11,5 - 17,00                                    | 12 | Intermediário            | 4,5           |
| 17,1 - 22,6                                     | 0  | Moderadamente insensível | 0             |
| 22,7 - 28,55                                    | 1  | Insensíveis              | 2,3           |

O cálculo da  $\text{EC}_{50}$  é obtido pela regressão das dosagens do fungicida com o diâmetro da colônia aos 7 dias. Os isolados que apresentaram maior variabilidade do parâmetro foram isolados IF 285 e IF 432 (Tabela 4).

Os isolados com maiores (insensíveis)  $\text{EC}_{50}$  foram IF 285, IF 319, IF 313, IF 315 e IF 322, isolados que fisiologicamente não se relacionaram com o comportamento fisiológico discutido perante as variáveis diâmetro de colônia durante os 7 DAI, AACPCM e TCM, com exceção do isolado IF 285 (Tab. 4). O isolado IF 285, proveniente de Orizona, Goiás, apresentou o maior valor de  $\text{EC}_{50}$ , destacando-se como o isolado mais insensível da população estudada (Tabela 4).

**Tabela 4.** Listagem em ordenada (Ord.), médias de dosagem capaz de inibir o crescimento micelial em 50 % ou eficiência de controle (EC<sub>50</sub>) e erro padrão (EP) de isolados de *Fusarium* spp. submetidos a dosagens de fluxapiroxade + piraclostrobina

| Ord. | Isolado | EC <sub>50</sub> | EP       | Ord. | Isolado | EC <sub>50</sub> | EP       |
|------|---------|------------------|----------|------|---------|------------------|----------|
| 1    | IF 285  | 28,5526          | 112,0576 | 23   | IF 279  | 2,748            | 0,4629   |
| 2    | IF 319  | 15,202           | 22,4880  | 24   | IF 068  | 2,6917           | 0,4448   |
| 3    | IF 313  | 14,596           | 0,0000   | 25   | IF 330  | 2,6383           | 0,1089   |
| 4    | IF 315  | 10,493           | 6,1723   | 26   | IF 284  | 2,6308           | 0,8063   |
| 5    | IF 322  | 9,3775           | 5,8149   | 27   | IF 332  | 2,5396           | 0,4232   |
| 6    | IF 328  | 7,913            | 3,0517   | 28   | IF 296  | 2,3721           | 1,7393   |
| 7    | IF 316  | 7,0894           | 1,8706   | 29   | IF 323  | 2,0367           | 0,9566   |
| 8    | IF 278  | 6,3356           | 1,3867   | 30   | IF 283  | 1,9719           | 0,7090   |
| 9    | IF 277  | 5,9175           | 0,4533   | 31   | IF 290  | 1,935            | 1,0006   |
| 10   | IF 291  | 5,6524           | 0,4967   | 32   | IF 318  | 1,8367           | 0,8855   |
| 11   | IF 414  | 5,0741           | 7,8739   | 33   | IF 325  | 1,6405           | 0,8509   |
| 12   | IF 428  | 4,9766           | 3,0978   | 34   | IF 289b | 1,5312           | 0,0000   |
| 13   | IF 048  | 4,6106           | 1,2915   | 35   | IF 107  | 1,0082           | 0,0000   |
| 14   | IF 321  | 4,3934           | 3,0281   | 36   | IF 324  | 0,919            | 0,7930   |
| 15   | IF 234  | 4,09             | 3,1234   | 37   | IF 280  | 0,805            | 1,0442   |
| 16   | IF 415  | 4,0019           | 1,2161   | 38   | IF 331  | 0,7561           | 0,0000   |
| 17   | IF 314  | 3,9149           | 3,0367   | 39   | IF 286  | 0,6489           | 0,6951   |
| 18   | IF 288  | 3,8697           | 2,3101   | 40   | IF 432  | 0,6419           | 670,0417 |
| 19   | IF 004  | 3,8297           | 0,9287   | 41   | IF 282  | 0,4706           | 0,4269   |
| 20   | IF 265  | 3,6852           | 1,6474   | 42   | IF 326  | 0,1607           | 0,8597   |
| 21   | IF 289a | 3,4283           | 0,8659   | 43   | IF 086  | 0,155            | 1,0291   |
| 22   | IF 287  | 2,8921           | 0,0784   | 44   | IF 294  | 0,1531           | 0,6038   |

#### 4. DISCUSSÃO

A insensibilidade observada entre os isolados oriundos da região Centro-Oeste do Brasil, especialmente do Estado do GO, pode estar associada ao uso frequente e intensivo da mistura de i.a na parte aérea estudada nessa região, dado que Goiás é um dos maiores Estados produtores de soja.

A alta pressão de doenças na soja, combinada com o uso repetido de fungicidas como fluxapiroxade+piraclostrobina, provavelmente contribuiu para a seleção de isolados insensíveis, a exemplo do isolado IF 285, oriundo de Orizona, GO, que apresentou o maior valor de EC<sub>50</sub>, destacando-se como insensível. Essa resistência pode ser atribuída ao manejo intensivo de fungicidas na região, o que pode ter favorecido a seleção de populações mais adaptadas e resistentes. A resistência de *Botrytis cinerea*, ao fluxapiroxade e à piraclostrobina indicou que mutações específicas nos genes da succinato desidrogenase (SDH) são as principais responsáveis por essa resistência, levando a implicações significativas para estratégias de proteção de cultivos (Liu et al., 2022).

Além disso, fatores climáticos e agrícolas também podem influenciar a insensibilidade observada (Ghini et al., 2011). As condições climáticas do Centro-Oeste, caracterizadas

por altas temperaturas e extrema variação de umidade durante o ano, favorecem a rápida proliferação de fitopatógenos como *Fusarium* spp. e podem acelerar o ciclo de vida desses organismos, levando a mutações mais frequentes e à emergência de populações resistentes (Desai et al. 2003; Gupta et al., 2010). A intensificação agrícola na região, com sucessão de culturas e menor intervalo entre safras, também cria condições propícias para a disseminação de fitopatógenos adaptados e o aumento da necessidade de aplicações repetidas de fungicidas.

A variabilidade observada nos valores de EC<sub>50</sub> pode ser explicada pela plasticidade genética de *Fusarium* spp., que engloba mecanismos como mutações pontuais, recombinação sexual e transferência horizontal de genes de resistência (Rekanovic et al., 2010). A pressão seletiva constante de fungicidas como fluxapiroxade e piraclostrobina pode favorecer a seleção de mutações que conferem resistência, o que é uma preocupação importante para o manejo da MSS.

A rotação de fungicidas com diferentes modos de ação é uma estratégia essencial para reduzir a pressão seletiva e evitar a seleção de isolados resistentes. Além disso, a aplicação de doses adequadas de fungicidas e o monitoramento constante das populações de *Fusarium* spp. são fundamentais para ajustar as estratégias de controle conforme necessário. Práticas culturais, como a rotação de culturas, também devem ser integradas ao manejo, diminuindo a pressão de inóculo no solo e reduzindo a dependência de fungicidas (Godoy, 2014).

Em resumo, o estudo sobre a variabilidade da sensibilidade de *Fusarium* spp. ao fungicida fluxapiroxade + piraclostrobina ofereceu informações valiosas para o manejo eficaz da MSS. A variabilidade na sensibilidade, especialmente entre os isolados da região Centro-Oeste, reforçou a necessidade de práticas agrônômicas diversificadas e sustentáveis. Somente através de uma abordagem integrada, como o uso conjunto de bioinsumos poderá garantir a eficácia dos fungicidas na parte aérea e minimizar o impacto sobre fitopatógenos do solo.

## 5. CONCLUSÕES

A maior dosagem do fluxapiroxade+piraclostrobina (100 µl L<sup>-1</sup>) promoveu sempre o menor diâmetro micelial.

Os isolados insensíveis a fluxapiroxade+piraclostrobina foram IF 225, IF 325, IF 324 e IF 414, já os isolados IF 284 e IF 330 foram considerados sensíveis no método de avaliação fenotípico.

O isolado IF 285, proveniente de Orizona - Goiás, apresentou o maior valor de EC<sub>50</sub>, destacando-se como insensível.

## REFERÊNCIAS

- [1] ALEIXO, L.A. **Análise da variabilidade genética e obtenção de protoplastos do fungo *Fusarium solani* f.sp. *glycines*, agente causal da síndrome da morte súbita em soja (*Glycine max* L. Merrill).** Tese de doutorado, Universidade de Viçosa, MG. 2003. 54 p.
- [2] ALFENAS, A.C., MAFIA, R. **Métodos em fitopatologia.** Viçosa, MG: Editora UFV, 2007, 382 p.
- [3] CONAB. **Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira de grãos: safra 2023/24 – Décimo segundo levantamento, 2024.** Disponível em: <http://www.conab.gov.br>.

- [4] DESAI A.G.; DANGE S. R. S.; PATEL D. S.; PATEL D. B. Variability of *Fusarium oxysporum* f. sp. *ricini* causing wilt of castor. **Journal Mycology Plant Pathology**, Udaipur, v. 33, p. 37–41, 2003
- [5] EDEL, V.; STEINBERG, C.; GAUTHERON, N.; ALABOUVETTE, C. Populations of nonpathogenic *Fusarium oxysporum* associated with roots of four plant species compared to Soilborne populations. **Phytopathology**, v. 84, p. 693-697, 1997.
- [6] GHINI, R.; BETTIOL, W.; HAMADA, E. Diseases in tropical and plantation crops as affected by climate changes: current knowledge and perspectives. **Plant Pathology**, London, v.60, p.122–132, 2011.
- [7] GODOY, C. V.; CANTERI, M. G. Efeitos protetor, curativo e erradicante de fungicidas no controle da ferrugem da soja causada por *Phakopsora pachyrhizi*, em casa de vegetação. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v 29, n. 1, p. 97-101. 2004.
- [8] GODOY, C.V. Risk and management of fungicide resistance in the Asian soybean rust fungus *Phakopsora pachyrhizi*. In: THIND, T.S. (Org.). **Fungicide resistance in crop protection: Risk and management**. London, UK: CABI, 2011. p. 87-95.
- [9] GUPTA, V. K.; MISRA, A. K.; GAUR, R. K. Growth characteristics of *Fusarium* spp. causing wilt disease in *Psidium guajava* l. in Índia. **Journal of Plant Protection Research**, v. 50, p. 451-462, 2010.
- [10] LIU, K., WEN, Z., MA, Z., SHAO, W. Biological and molecular characterizations of fluxapyroxad-resistant isolates of *Botrytis cinerea*. **Phytopathology Research**, 4(2):1-11, 2022.
- [11] LU, F.; LI, T.; LI, M.; WU, J.; WANG, J.; ZHOU, M. Benzimidazole- and QoI-resistance in *Corynespora cassiicola* populations from greenhouse-cultivated cucumber: An emerging problem in China. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 153, p. 95-105, 2019.
- [12] MEYER, M.C.; BUENO, A.F.; MAZARO, S.M.; SILVA, J.C. **Bioinsumos na cultura da soja**. Embrapa Soja, Brasília, DF: Embrapa 2022. 550 p.
- [13] MICHEREFF, S.J., ANDRADE, D.E.G.T., MENEZES, M. Ecologia e manejo de patógenos radiculares em solos tropicais. Recife, PE: Imprensa Universitária da UFRPE, 2005. 398 p.
- [14] REKANOVIC, E.; MILICA, M.; POTOCNIK, I. *In vitro* sensitivity of *Fusarium graminearum* (Schwabe) to difenoconazole, prothioconazole and thlophanate-methyl. **Pesticides Phytomedicine**, Belgrade, v. 25, p. 325-333, 2010.

# Capítulo 8

## *Uso do processo wetland com a macrófita Canna indica para tratamento do efluente de parboilização do arroz*

*Edmilson Cesar Bortoletto*

*Eduarda Neves Favarão*

*Daniela D’orazio Bortoluzzi*

**Resumo:** O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito do uso de *wetland* com a macrófita *Canna indica* em alguns parâmetros físico-químicos do efluente da parboilização do arroz. Foi utilizado sistema *wetland* de fluxo subsuperficial, adicionando-se brita e areia para sustentação da planta. Para avaliar a eficiência do processo no tratamento do efluente foram realizadas análises físico-químicas (Fósforo Total, Demanda Química de Oxigênio, Sólidos Totais, pH e Condutividade Elétrica) no efluente bruto e nas amostras coletadas ao longo do tempo. Verificou-se elevada redução de Fósforo Total, Demanda Química de Oxigênio (DQO) e Sólidos Totais no efluente tratado. Os resultados obtidos indicam que este processo pode ser uma alternativa para o tratamento do efluente de parboilização do arroz, contribuindo para a diminuição dos impactos ambientais causados por seu despejo inadequado em corpos hídricos ou no solo.

**Palavras-chave:** efluente, parboilização, *wetland*, *Canna indica*.

## 1. INTRODUÇÃO

Segundo a Companhia Nacional de Abastecimento (Conab), a estimativa para a safra de grãos de arroz na temporada 2024/2025 aponta para uma produção de 322,47 milhões de toneladas, representando crescimento de 9,9% na área semeada (Conab, 2024). O arroz parboilizado ocupa uma faixa de consumo entre 25% e 30% no País (Abiarroz, 2024).

A parboilização do arroz consiste em um processo hidrotérmico em água potável a uma temperatura de 58 °C, no qual ocorre a gelatinização e retrogradação do amido (Balbinoti, 2018). Este processo tem alta demanda de água e gera aproximadamente 2 L de efluente por quilograma de arroz processado (Fehrenbach et al., 2023), apresentando alto teor de matéria orgânica e nutrientes (Lima, 2003).

O despejo de efluentes com elevado teor de matéria orgânica em cursos d'água pode reduzir a concentração de oxigênio dissolvido do meio, uma vez que durante a estabilização da matéria orgânica as bactérias utilizam oxigênio em seu processo respiratório (Von Sperling, 2005). Além disso, o aumento das concentrações de nitrogênio e fósforo são as principais causas da eutrofização em ecossistemas continentais, pelo rápido desenvolvimento de algas e crescimento excessivo de plantas aquáticas (Tundisi, 2003). Sendo assim, os efluentes devem ser tratados de forma a minimizar os impactos ambientais em corpos receptores hídricos.

Os sistemas de Wetlands construídos (WC) são utilizados para tratamento de efluentes de diversas origens, destacando-se os efluentes industriais, agrícolas, domésticos ou pluviais (Sezerino et al., 2018). Dentre as diferentes configurações, no wetland construído de escoamento horizontal subsuperficial, o escoamento predominante do líquido ocorre de forma horizontal, ao longo da seção longitudinal, e o nível do líquido fica abaixo do nível superior do material filtrante (Von Sperling e Sezerino, 2018).

Um parâmetro importante a ser considerado no dimensionamento do sistema de wetlands construídos é o tempo de detenção hidráulica (TDH), ou seja, o tempo que o efluente ficará retido no sistema, o qual está diretamente relacionado com a eficácia do tratamento (Weber et al., 2015). Para leitos superficiais o tempo de detenção recomendado pela literatura varia de 5 a 14 dias, enquanto para leitos subsuperficiais é de 2 a 7 dias de detenção (REED, 1995 citado por Poças, 2015).

No trabalho de Bortoletto e Almeida (2020) foi avaliado o tratamento do efluente gerado na parboilização do arroz por wetland em escala de bancada (TDH de 3 dias) utilizando *Canna indica*, por meio da análise dos parâmetros Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK) e Sólidos Totais (ST). O sistema apresentou elevada eficiência na remoção de NTK, atingindo 79,4% aos 33 dias do início do processo. Na remoção de Sólidos Totais verificou-se tendência de diminuição da eficiência ao longo do tempo de operação do sistema, apresentando uma média de 41,1% de eficiência. Porém, outros parâmetros precisam de análise para avaliar a eficiência do processo, como por exemplo, Fósforo total e indicador de matéria orgânica.

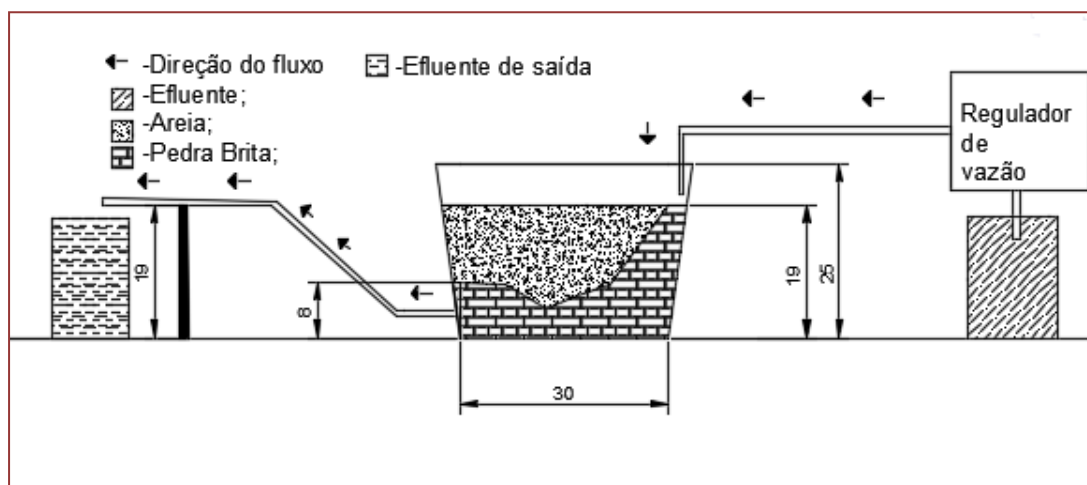
Diante do exposto, este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito do uso de wetland com a macrófita *Canna indica* em alguns parâmetros físico-químicos do efluente da parboilização do arroz.

## 2. METODOLOGIA

Os experimentos de *wetland* em escala de bancada foram realizados no Laboratório de Qualidade de Água do Departamento de Engenharia Agrícola (UEM/Campus do Arenito), localizado no município de Cidade Gaúcha – PR.

Para tratamento do efluente de parboilização do arroz com a macrófita *Canna indica* foi utilizado o sistema de *wetland* subsuperficial horizontal (Figura 1), adicionando-se pedra brita na entrada e saída do reservatório, e areia para sustentação da planta, de acordo com o procedimento de Bortoletto e Almeida (2020). Na Figura 2 pode ser visualizada a macrófita *Canna indica* no reservatório após montagem do sistema.

**Figura 1:** Ilustração do sistema *wetland* para tratamento do efluente de parboilização do arroz



Fonte: Bortoletto e Almeida (2020).

**Figura 2.** Reservatório com a macrófita *Canna indica* após montagem do Sistema *wetland*



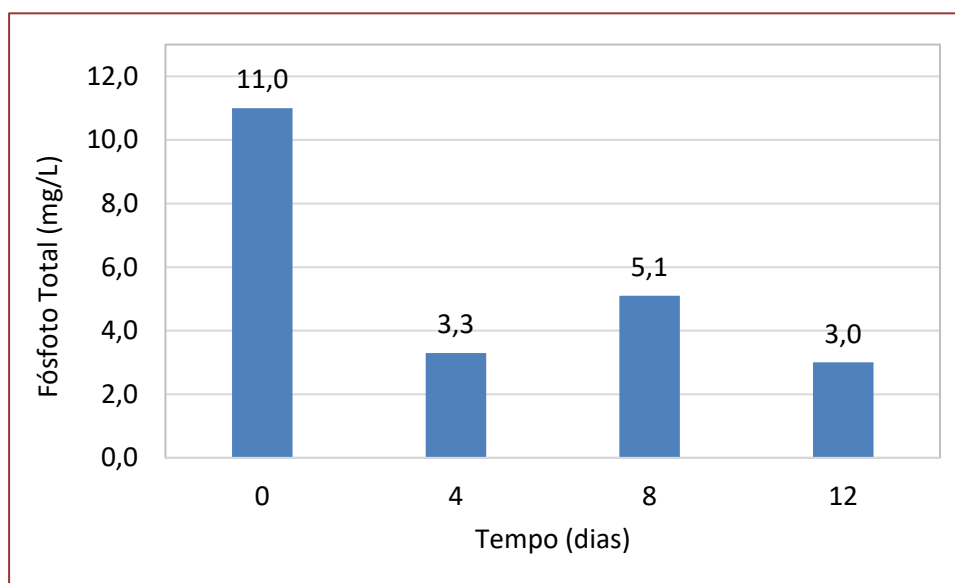
Nos experimentos em wetland de fluxo contínuo com a *macrófita Canna Indica* foi inicialmente adicionado efluente ao reservatório até saturação, sendo o volume aproximadamente de 2,7 Litros do efluente de parboilização do arroz. A partir deste volume e do TDH estabelecido (4 dias) foi calculada a vazão necessária. Para controle da vazão utilizou-se uma bomba peristáltica, de forma a atender o valor de TDH. O experimento foi conduzido por 12 dias, sendo as amostras coletadas em intervalo de 4 dias.

Para avaliar a eficiência do sistema wetland no tratamento do efluente foram realizadas análises físico-químicas no efluente bruto (entrada do sistema) e nas amostras coletadas ao longo do tempo. O parâmetro Fósforo Total foi determinado em fotocolorímetro de bancada, marca Alfakit. As análises de demanda química de oxigênio (DQO) e Sólidos Totais foram realizadas conforme metodologias descritas em Apha (1998). O potencial hidrogeniônico (pH) foi determinado em pHômetro, modelo Tec-3mp, marca Tecnal. A Condutividade elétrica foi determinada em medidor de bancada LUCA-150.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 3 estão apresentados os teores de Fósforo Total determinados no efluente ao longo do tempo, nos ensaios em *Wetland* com a *macrófita Canna indica*.

**Figura 3.** Concentração de Fósforo total no efluente ao longo do ensaio *Wetland* em escala de bancada com a *macrófita Canna Índica*, TDH - 4 dias

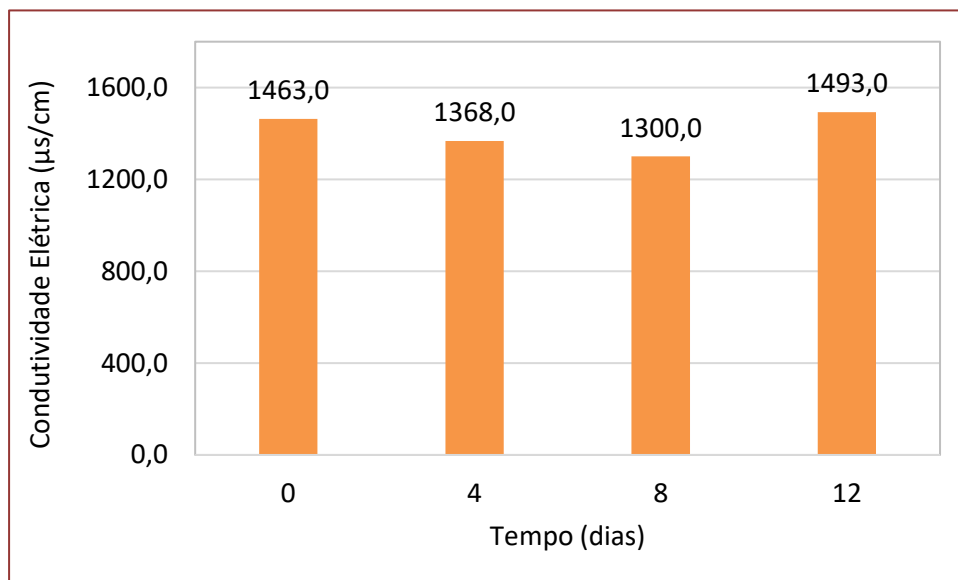


Os resultados obtidos demonstram que este parâmetro sofreu quedas significativas ao longo do tempo, com remoção de 70% após 4 dias, reduzindo de 11,0 para 3,3 mg/L. Ao longo do tempo de processo ocorreu oscilação de sua eficiência. O processo demonstrou potencial para remoção deste nutriente, no entanto devem ser avaliados períodos maiores de processo.

Em relação aos valores de Condutividade elétrica determinados no efluente no decorrer do processo *wetland* (Figura 4), verificou-se variação significativa ao longo do tempo, até 8 dias, porém retornando a um valor próximo ao efluente bruto (entrada) após 12 dias. Este

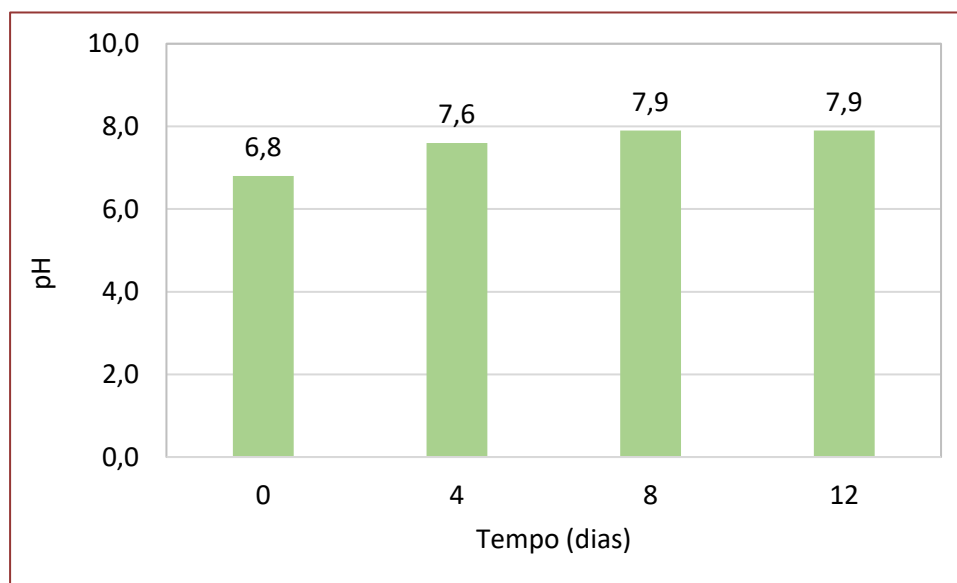
parâmetro está relacionado à presença de sólidos dissolvidos, não sendo possível afirmar se esta oscilação está relacionada apenas aos nutrientes nas amostras.

**Figura 4.** Condutividade no efluente ao longo do ensaio Wetland em escala de bancada com a macrófita *Canna Índica*, TDH - 4 dias



Os teores de pH determinados no efluente ao longo do tempo, nos ensaios em *Wetland* em escala de bancada, podem ser observados na Figura 5.

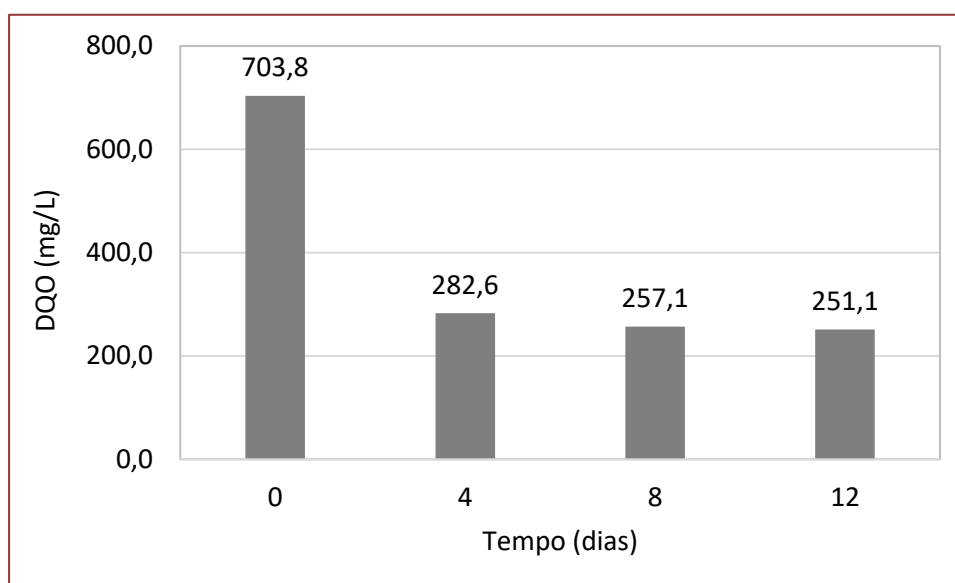
**Figura 5.** pH do efluente ao longo do ensaio *Wetland* em escala de bancada com a macrófita *Canna Índica*, TDH - 4 dias



O parâmetro pH sofreu leve aumento ao longo do tempo, atingindo 7,9 após 8 dias de processo. Este aumento pode estar relacionado à remoção de sólidos dissolvidos do efluente, bem como ao aumento de sólidos suspensos que ficam retidos no reator ao longo do processo. Segundo a resolução nº 430/11 do CONAMA, para lançamento de efluentes em corpos hídricos o limite do pH está entre 6 e 9, sendo assim o efluente tratado por wetland permaneceu com valores dentro destes limites.

Na Figura 6 estão apresentadas as concentrações de DQO determinadas no efluente ao longo do tempo, nos ensaios em *Wetland* em escala de bancada com a macrófita *Canna Indica*.

**Figura 6.** DQO do efluente ao longo do ensaio *Wetland* em escala de bancada com a macrófita *Canna Índica*, TDH - 4 dias

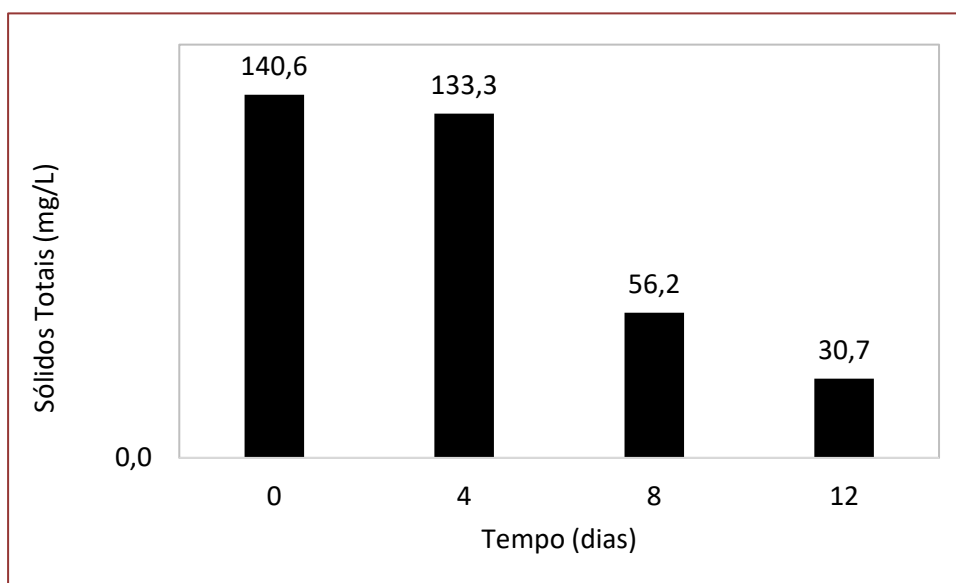


Verificou-se redução significativa da DQO ao longo do tempo, atingindo 64 % após 8 dias de processo. Esse resultado indica boa capacidade desta planta em reduzir o teor de compostos orgânicos e inorgânicos do efluente.

No trabalho de Fabião (2019), para tratamento do efluente de parboilização de arroz por wetland, foram utilizadas duas espécies de macrófitas emergentes, a Taboa (*Typha spp*) e o Junco (*Schoenoplectus californicus*), chegando a 33% de redução da DQO após 72h de processo, para as duas macrófitas. No entanto, o valor de DQO do efluente (4957,93 mg/L) foi bem superior ao valor de DQO do efluente no presente trabalho (703,8 mg/L).

Os teores de Sólidos Totais determinados no efluente ao longo do tempo estão apresentados na Figura 7.

**Figura 7.** Sólidos Totais do efluente ao longo do ensaio *Wetland* em escala de bancada com a macrófita *Canna Índica*, TDH - 4 dias



Nota-se que ao longo do tempo o teor de sólidos totais foi reduzido no efluente tratado, chegando em 78,2 % após 12 dias de processo. Essa eficiência deve-se à remoção de compostos solúveis e suspensos, promovida pelas raízes das plantas e areia utilizada para sustentação dessas plantas.

#### 4. CONCLUSÃO

O sistema *wetland* de fluxo subsuperficial horizontal com a macrófita *Canna Indica* demonstrou elevada redução de Fósforo Total, Demanda Química de Oxigênio (DQO) e Sólidos Totais no efluente tratado.

Os resultados obtidos indicam que este processo pode ser uma alternativa para o tratamento do efluente de parboilização do arroz, contribuindo para a diminuição dos impactos ambientais causados por seu despejo inadequado em corpos hídricos ou no solo.

Recomenda-se a avaliação do processo por períodos mais longos, bem como o acompanhamento de outros parâmetros físico-químicos na análise da qualidade do efluente bruto e tratado

#### REFERÊNCIAS

- [1] ABIARROZ (Associação Brasileira da Indústria do Arroz). Disponível em <https://abiarroz.com.br/tipos-de-arroz>. Acesso em 13/11/2024.
- [2] APHA. American Public Health Association. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. American Public Health Association, 1998, 1600 p.
- [3] BALBINOTI, T. C. V. **Parboilização do arroz: revisão, estudo cinético da hidratação e melhoramento nutricional**. Tese de Doutorado. Programa de Pós-graduação em Engenharia de Alimentos, Setor de Tecnologia. UFPR, 2018.
- [4] BORTOLETTO, E. C. e ALMEIDA, J. V. C. Avaliação do uso de wetland no tratamento do efluente de

parboilização de arroz. **Braz. J. of Develop.** v. 6, n.1, p. 1395 – 1412, 2020.

[5] Conab – Companhia Nacional de Abastecimento. Disponível em <https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/>. Acesso em 13/11/2024

[6] CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente, resolução nº 430, 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357/2005.

[7] FABIÃO, B. R. P. Remoção de fósforo e DQO em efluente do processo de parboilização de arroz utilizando eletrocoagulação e wetlands construídos. Dissertação de Mestrado. Instituto Federal Sul-Riograndense – Campus Pelotas. Programa de Pós-graduação em Engenharia e Ciências Ambientais, 2019.

[8] FEHRENBACH, G. W., SITOWSKI, A., MURPHY, E., MAJOR, I., PEREIRA, C., LEITE, F. P. L. Biorremediação e produção de biomassa por *Chlorella* sp. isolado de estação de tratamento de efluentes de uma indústria de arroz parboilizado. **Natural Resources**, v. 13, n. 2, 2023.

[9] LIMA, E. P. P. **Pós-Tratamento em Reator com Recheio de Pedra Cálcária de Efluentes da Parboilização do Arroz Tratados em reator UASB**. 2003. 42 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Agroindustrial) - DCTA, FAEM, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2003.

[10] POÇAS, C.D. **Utilização da tecnologia de wetlands para tratamento terciário: controle de nutrientes**. Dissertação (Mestrado em ciências)-Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

[11] SEZERINO, P. H., ROUSSO, B. Z., PELISSARI, C., SANTOS, M. O., FREITAS, M. N., FECHINE, V. Y., LOPES, A. M. B. Cartilha Wetlands construídos aplicados no tratamento de esgoto sanitário: recomendações para implantação e boas práticas de operação e manutenção/ Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde. – Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2018.

[12] TUNDISI, J.G. 2003 **A crise da água: eutrofização e suas consequências**. In. TUNDISI, J.G. Água no século XXI: enfrentando a escassez. Rima, IIE, São Carlos. 247p

[13] Von Sperling, M. Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias: Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. Volume 1. 3ª Ed. UFMG. 2005. 452 p.

[14] VON SPERLING, M. e SEZERINO, P. H. Dimensionamento de wetlands construídos no Brasil. Boletim Wetlands Brasil, Edição Especial, 2018, 65 p. Disponível em: <https://gesad.ufsc.br/boletins>.

[15] WEBER, C. F.; PRADO, M. R.; KAICK, T. S. V. **Dimensionamento de wetlands construídos em sistemas individuais de tratamento de esgoto sanitário**. In: Simpósio brasileiro sobre wetlands construídos, 2º, 2015, Curitiba. **Anais...** Curitiba. 9 p.

# Capítulo 9

## *Mineralogia e a adsorção de fósforo no solo: uma revisão*

*José Gabriel Freitas de Lima*

*Washington Luiz Cotrim Duete*

*Rozilda Vieira Oliveira*

*Júlio César Azevedo Nóbrega*

**Resumo:** O elevado consumo de fertilizantes fosfatados, associado ao comportamento complexo do fósforo (P) no solo, torna esse elemento objeto constante de estudos. A intensa sorção de P em solos tropicais e subtropicais se deve, dentre outros, às altas concentrações de oxihidróxidos de Fe e de Al na fração argila. A composição mineralógica do solo interfere no processo de adsorção de fósforo, uma vez que cada mineral apresenta características específicas que influenciam na dinâmica de interação do mesmo com íons fosfato presentes na solução do solo. Diante disso, o trabalho teve como objetivo realizar uma revisão de literatura sobre os efeitos da mineralogia na adsorção de fósforo no solo.

**Palavras-chave:** fertilizantes fosfatados, sorção, argila, mineral, íons.

## 1. INTRODUÇÃO

O fósforo é um elemento essencial para o desenvolvimento dos vegetais, havendo redução ou mesmo inibição do crescimento da planta se ele estiver presente em baixas concentrações citoplasmáticas (Mengel; Kirkby, 1987). Apesar das importantes funções desempenhadas, o fósforo é um dos macroelementos menos exigidos quantitativamente pelas plantas, devendo constituir entre 0,1 e 0,5% da matéria seca, valores que oscilam de acordo com a espécie, estágio fenológico e órgão analisado (Faquin, 2005; Vilar *et al.*, 2010). Entretanto, sua capacidade de limitar a produção vegetal torna esse nutriente o mais utilizado em adubações no Brasil (Ranno *et al.*, 2007; Cessa *et al.*, 2009).

O maior consumo de fertilizantes fosfatados associado ao comportamento complexo no solo torna esse elemento objeto constante de estudos. Nesse meio, o fósforo se caracteriza pela baixa mobilidade, resultante das ligações covalentes com os constituintes da fração sólida do solo. Apesar desse processo reduzir significativamente as perdas por lixiviação, comuns ao nitrogênio, por exemplo, o fósforo pode tornar-se indisponível para a planta devido à rápida passagem do elemento da solução do solo para a superfície do mineral (forma disponível) e posteriormente para o interior desta estrutura (forma não disponível) (Fernandes *et al.*, 2004).

A intensa sorção de P em solos tropicais e subtropicais se deve, dentre outros, às altas concentrações de oxihidróxidos de Fe e de Al na fração argila. A composição mineralógica do solo desempenha um papel crucial no processo de adsorção de fósforo, uma vez que cada mineral presente no solo exibe características físico-químicas únicas que influenciam diretamente a dinâmica de interação desses minerais com os íons presentes na solução do solo (Novais; Smyth, 1999). Essa interação complexa entre os minerais do solo e os íons fosfato governa a disponibilidade de fósforo para as plantas, afetando, consequentemente, a produtividade agrícola. Diante da relevância e complexidade dessa temática, este trabalho se propôs a realizar uma revisão de literatura sobre os efeitos da mineralogia na adsorção de fósforo no solo.

## 2. EFEITOS DA MINERALOGIA SOBRE A ADSORÇÃO DE FÓSFORO

### 2.1. SUPERFÍCIE ESPECÍFICA E TEXTURA

O processo de adsorção do fósforo resulta da interação entre cargas opostas na superfície dos constituintes orgânicos ou inorgânicos do solo. Por meio da razão entre essa superfície de reação e a massa desse componente ativo do solo obtém-se a área superficial específica total, ASET (Carter; Mortland; Kemper, 1986; Souza Junior *et al.*, 2007). A extensão da ASET no solo depende da textura e mineralogia da fração argila e influencia atributos do solo, como a adsorção aniônica (Sambatti *et al.*, 2002) e a capacidade de troca de cátions, CTC (Curtin; Smillie, 1976; Churchman; Burke, 1991).

A maior atividade da fração argila está diretamente relacionada à sua alta ASET e a maior densidade de sítios ácidos de Lewis em superfície (Novais; Smyth, 1999; Valladares; Pereira; Anjos, 2003; Ranno *et al.*, 2007). A ASET pode ser subdividida em superfície externa (ASEe) e interna (ASEi) (Tiller; Smith, 1990). Os argilominerais expansíveis do tipo 2:1 apresentam elevada ASET, devido à exposição da região entrecamadas (Carter; Mortland; Kemper, 1986; Borchardt, 1989), como observado nas montmorilonitas (ASEt entre 700 e 800 m<sup>2</sup> g<sup>-1</sup>) (Sparks, 1995; Juma, 1999) e esmectitas (ASEt superior a 800 m<sup>2</sup> g<sup>-1</sup>) (Borchardt, 1989).

As argilas não silicatadas, apesar de não apresentarem expansividade, possuem menor tamanho de partícula, o que eleva a ASEt da hematita e magnetita a valores entre 100 e 400 m<sup>2</sup> g<sup>-1</sup>, por exemplo (Sparks, 1995; Juma, 1999). Já a caulinita (argilomineral tipo 1:1), embora apresente predomínio da ASEe, possui granulometria superior as não silicatadas, o que reduz a sua ASEt a valores entre 5 e 40 m<sup>2</sup> g<sup>-1</sup> (Dixon, 1989). A ASEt dos colóides orgânicos pode ser superior a 700 m<sup>2</sup> g<sup>-1</sup> (Souza Junior *et al.*, 2007). Entretanto, existem estudos que contestam esses resultados, atribuindo tais valores a uma superestimativa causada pela adsorção química da molécula. Ainda afirmam que a matéria orgânica (MO) apresenta ASEe inferior a 1 m<sup>2</sup> g<sup>-1</sup> e pode recobrir a superfície de um mineral reduzindo sua ASEe (Chiou; Lee; Boyd, 1990; Pennell; Boyd; Abriola, 1995).

Petersen *et al.* (1996) obtiveram correlação significativa e positiva entre a ASEt e conteúdo de argila. De um modo geral, quanto mais argiloso for o solo, maior a área superficial específica disponível para adsorver íons. Contudo, a quantidade e o tipo de material adsorvido dependem das características dos minerais presentes nessa fração, sendo que, segundo Curtin e Smillie (1976), a ASE é uma propriedade útil na predição da CTC do solo.

Em solos com predomínio de argilas silicatadas 2:1 existe balanço de carga negativo, maior retenção de cátions (Ca<sup>+2</sup>, Mg<sup>+2</sup>, K<sup>+</sup>, Al<sup>+3</sup>, H<sup>+</sup>) e CTC. Souza Junior *et al.* (2007) verificaram que os argilominerais do tipo 2:1 concentrados foram os principais responsáveis pela CTC dos solos analisados (média de 1054 mmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>). Por outro lado, observa-se maior adsorção de P (ânion) em argilas não silicatadas (óxidos, hidróxidos e oxihidróxidos) do que nas silicatadas (Gama, 2002) e nos filossilicatos de camada 1:1 do que em 2:1 (Moreira *et al.*, 2006).

Embora a relação entre a fração argila e a adsorção de P seja há muito percebida, é preciso conhecer os constituintes responsáveis por esse processo, dado que estudos demonstram a influência da composição da argila sobre a adsorção de fósforo. Apesar de minerais poderem apresentar ASE próximas, como a hematita e goethita, que oscilam entre 30 e 46 m<sup>2</sup> g<sup>-1</sup> (Schwertmann; Cornell, 2000; Prati, 2000), a atração pelo íon pode variar significativamente. Bahia Filho *et al.* (1983), avaliando a relação entre os componentes mineralógicas da argila de Latossolo do Planalto Central (goethita, gibbsita, caulinita e hematita) e a capacidade máxima de adsorção de fósforo (CMAP), constataram que a goethita (Gt) foi responsável por 86% das variações na CMAP.

Os óxidos de Fe e de Al estão entre os atributos mineralógicos com maior efeito sobre a CMAP (Hernández; Meurer, 1998). Eles podem ser subdivididos em duas classes, os livres ou cristalinos (Fe<sub>d</sub> e Al<sub>d</sub>), quantificados por meio do método do ditionito-citrato-bicarbonato de sódio (DCB), e os pobremente cristalinos, mal cristalizados ou amorfos (Fe<sub>o</sub> e Al<sub>o</sub>), extraídos com oxalato ácido de amônio (OAA) a pH 3 no escuro (Vilar *et al.*, 2010). O processo de organização dos constituintes estruturais no mineral e o grau de cristalinidade alcançado influenciam na capacidade adsortiva desses óxidos (Igwe; Zarei; Stahr, 2010). Frequentemente, Fe<sub>o</sub> e Al<sub>o</sub> apresentam maior correlação com CMAP do que Fe<sub>d</sub> e Al<sub>d</sub> (Hernández; Meurer, 1998), devido a sua maior ASE (Sambatti *et al.*, 2002). Borggaard (1983) relatou em seu estudo que os óxidos de Fe amorfos (Fe<sub>o</sub>) apresentavam 2,9 vezes mais ASE e 3,5 vezes mais capacidade adsortiva de P quando comparado às formas cristalizadas.

**Figura 1:** Classificação dos minerais quanto à capacidade de adsorver fósforo em solos tropicais

|                                       |             |                                           |             |                    |             |                    |             |                          |
|---------------------------------------|-------------|-------------------------------------------|-------------|--------------------|-------------|--------------------|-------------|--------------------------|
| <b>Óxidos de Fe e de Al (amorfos)</b> | <b>&gt;</b> | <b>Óxidos de Fe e de Al (cristalinos)</b> | <b>&gt;</b> | <b>Argilas 1:1</b> | <b>&gt;</b> | <b>Argilas 2:1</b> | <b>&gt;</b> | <b>Quartzo, Al na MO</b> |
|---------------------------------------|-------------|-------------------------------------------|-------------|--------------------|-------------|--------------------|-------------|--------------------------|

Fonte: Adaptada de Fox e Searle (1978).

Solos arenosos (menos intemperizados) tendem a apresentar perdas de P superiores aos argilosos (Piovesan *et al.*, 2009), devido a maior mobilidade do elemento no perfil (McDowell *et al.*, 2002; Anderson; Magdoff, 2005). Esse comportamento resulta de um maior teor de minerais primários e de argilominerais do tipo 2:1, constituintes de maior granulometria, menor porosidade e densidade de cargas positivas, o que reduz a capacidade de retenção de fósforo. Por outro lado, solos mais intemperizados e com maior teor de argila apresentam maior quantidade de fósforo fixado (Souza; Curi; Guedes, 1991; Souza *et al.*, 2006).

## 2.2. COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA

### 2.2.1. ÓXIDOS DE FERRO (Fe) E DE ALUMÍNIO (Al)

A elevada capacidade de sorção de P nos solos brasileiros é comumente explicada pelo alto teor de oxihidróxidos de Fe e de Al na argila (Vilar *et al.*, 2010; Souza, 2013). Apesar da importante contribuição da matéria orgânica, a fração oxídica é considerada em muitos trabalhos como a principal responsável pelo processo adsorptivo (Hernández; Meurer, 1998). Além da quantidade, os tipos de óxidos presentes também exercem importante influência na fixação de P, sendo a disponibilidade desse elemento intimamente relacionada à cristalinidade dos óxidos de Fe e de Al (Igwe; Zarei; Stahr, 2010).

Os efeitos positivos e significativos dos óxidos de Fe e do ferro total sobre a CMAP, descritos por Moreira *et al.* (2006), estão relacionados às capacidades adsorptivas desses constituintes minerais. Pelo fato dos óxidos de Fe possuírem radicais ácidos fracos, Fe-OH ( $PCZ > 7$ ), se encontram protonados ( $Fe-OH_2^+$ ) nas condições de solos ácidos, presentes na maior parte do país (Fontes; Camargo; Sposito, 2001). A geração de cargas positivas na superfície do mineral torna esta região um sítio adsorptivo, atraindo eletrostaticamente íons de carga oposta, como os íons fosfatos ( $H_2PO_4^-$ ,  $HPO_4^{2-}$ ). Corroborando com essa constatação, Vilar *et al.* (2010) obtiveram maiores valores de CMAP nas amostras de solo que continham maiores teores somados de Fe e Al.

Apesar da importante contribuição da matéria orgânica e dos óxidos de ferro para adsorção de P, eles podem reduzir a área superficial específica dos minerais e a capacidade adsorptiva dos demais componentes da fração argila (Karathanasis; Shumaker, 2009), através do recobrimento de estruturas e do efeito cimentante, respectivamente (Souza Junior *et al.*, 2007).

Para avaliação do efeito dos óxidos de Fe sobre a adsorção de P, Vilar *et al.* (2010) compararam a CMAP em argila natural ( $CMAP_n$ ) com a CMAP em argila tratada para remoção dos óxidos de ferro ( $CMAP_d$ ). Em 7 das 20 amostras analisadas  $CMAP_n > CMAP_d$ , indicando a presença de óxidos de Fe com elevada CMAP e/ou demais constituintes

adsortivos com capacidade inferior ao dos referidos óxidos. A amostra do município de Horizonte, por exemplo, obteve uma CMAP de 1563 mg kg<sup>-1</sup> em argila natural e de 895 mg kg<sup>-1</sup> quando desferrificada.

Nas 13 restantes, entretanto, a maior capacidade adsortiva das argilas desferrificadas (CMAP<sub>n</sub> < CMAP<sub>d</sub>) pode indicar que tratam-se de amostras com elevado teor de outros constituintes com capacidade de sorção de P somada superior ao dos óxidos de Fe, como a gibbsita, Al(OH)<sub>3</sub>, caulinita (agilomineral do tipo 1:1), vermiculita e esmectita (argilominerais 2:1 com Al na entrecamada). Neste caso, a remoção dos óxidos de Fe possibilitou maior exposição de grupos funcionais com capacidade de adsorção de P, como o aluminol ([Al-OH]) (Karathanasis; Shumaker, 2009). Na amostra do município de Vila Branca, alcançou-se CMAP<sub>n</sub> de 546 mg kg<sup>-1</sup> e CMAP<sub>d</sub> de 1895 mg kg<sup>-1</sup>.

Os autores relataram que o grau de cristalinidade dos óxidos de Fe e de Al correlacionou-se positivamente com a adsorção de P. Ao comparar os dois municípios supracitados, Horizonte teve maior cristalinidade na goethita, Gt (óxido de ferro) e menor da gibbsita, Gb (hidróxido de alumínio), o que proporcionou maior contribuição dos óxidos de ferro na adsorção e, conseqüentemente, uma maior CMAP na argila natural (CMAP<sub>n</sub>).

Ao comparar as contribuições das formas de Fe e Al para sorção de P, os autores constataram que as estruturas mais livres e cristalinas (Fe<sub>d</sub> e Al<sub>d</sub>) exerceram maior influência sobre a CMAP, conforme observado na análise da fração argila total de amostras com CMAP<sub>n</sub> > CMAP<sub>d</sub> ( $r = 0,49^{ns}$  (Fe<sub>d</sub>) contra  $0,15^{ns}$  (Fe<sub>o</sub>),  $r = 0,83^*$  (Al<sub>d</sub>) contra  $0,08^{ns}$  (Al<sub>o</sub>),  $p > 0,05$ ). O comportamento observado por Vilar *et al.* (2010) contrapõe-se a Fox e Searle (1978) e Fontes e Weed (1996). Camargo *et al.* (2012) relataram maior conteúdo de P disponível (menor adsorção) em amostras de localidades com óxidos de Fe altamente cristalinos.

Borggaard (1983), estudando o efeito da cristalização dos óxidos de ferro sobre a adsorção de P, observou que os amorfos (Fe<sub>o</sub>) apresentavam uma área superficial específica (ASE) 2,9 vezes maior e adsorveram 3,5 vezes mais P que os óxidos de ferro bem cristalizados (Fe<sub>d</sub>). Ratificando as constatações de Borggaard (1983), Strauss, Brümmer e Barrow (1997) relataram que a goethita altamente cristalina possui menor ASE e menos sítios adsortivos do que uma estrutura pobremente cristalina.

Além da elevada variabilidade dos materiais de origem, os baixos teores de Fe<sub>o</sub> e Al<sub>o</sub> podem ter proporcionado maior efeito das formas livres sobre a CMAP. Em solos bem drenados, os teores de óxidos pobremente cristalinos (Fe<sub>o</sub> e Al<sub>o</sub>) são normalmente muito reduzidos, o que proporciona maior correlação entre Fe<sub>d</sub> e Al<sub>d</sub> com a CMAP (Peña; Torrent, 1984; Torrent, 1987). Em Horizonte, os valores das formas livres (Fe<sub>d</sub> e Al<sub>d</sub>) foram 41,67 e 13,37 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente, e 8,76 e 7,25 g kg<sup>-1</sup> para as pobremente cristalinas (Fe<sub>o</sub> e Al<sub>o</sub>). Em Vila Branca, as diferenças foram percentualmente ainda maiores, 31,98 e 13,04 g kg<sup>-1</sup> (Fe<sub>d</sub> e Al<sub>d</sub>) contra 3,30 e 4,37 g kg<sup>-1</sup> (Fe<sub>o</sub> e Al<sub>o</sub>).

Na avaliação do efeito das formas de Fe e Al sobre a adsorção de P, Vilar *et al.* (2010) relataram maior interdependência Al-CMAP do que entre Fe-CMAP. Considerando todas as amostras, as correlações CMAP com Al<sub>d</sub> e Al<sub>o</sub> foram significativas ( $p < 0,05$ ) tanto na argila total, quanto na argila desferrificada, o que, com as formas de Fe, só ocorreu em Fe<sub>d</sub> na argila total. Esses resultados corroboram com Hunt *et al.* (2007) e Pozza *et al.* (2009) que descreveram maior correlação positiva entre CMAP e conteúdo de gibbsita (mineral de hidróxido de alumínio, Al(OH)<sub>3</sub>) do que entre CMAP e goethita (mineral de hidróxido de ferro, FeOOH). Eberhardt *et al.* (2008), todavia, obtiveram equivalência nas correlações dos teores de óxidos de Fe e de Al com a adsorção de P.

Rogeri *et al.* (2016) ao correlacionar as formas oxídicas livres,  $Fe_d$  e  $Al_d$ , com o  $P_{rem}$  encontraram coeficientes de correlação de  $-0,57^{**}$  ( $p < 0,01$ ) e  $-0,75^{**}$ , respectivamente. Apesar da significância obtida em ambos, o valor superior em  $Al_d P_{rem}$  indica maior contribuição do  $Al_d$  para redução do  $P_{rem}$  do que o  $Fe_d$ . A significância encontrada na relação entre  $P_{rem}$  e as formas de  $Fe_d$ ,  $Fe_o$  ( $r = -0,50^{**}$ ) e  $Al_d$ , só foi atingida na correlação com o teor de argila em  $Fe_d$  ( $r = 0,66^{**}$ ). Por meio desse resultado é possível verificar que a elevação da argila no solo não necessariamente promoverá aumento no teor dos óxidos de ferro com maior capacidade adsortiva de P,  $Fe_o$  (Donagemma; Ruiz; Fontes, 2008).

### 2.2.2. GOETHITA E HEMATITA

Ao analisar a capacidade adsortiva dos minerais pertencentes à classe dos oxihidróxidos de ferro, destacam-se a goethita (Gt) e a hematita (Hm), principais constituintes de solos oxídicos (White; Dixon, 2002). Cessa *et al.* (2009) e Camargo *et al.* (2012) obtiveram maior adsorção de P em Gt do que em Hm, comportamento observado na maioria dos trabalhos, devido a menor dimensão do cristal e maior área de superfície específica da Gt (Torrent; Schwertmann; Barrón, 1994).

### 2.2.3. CAULINITA

A caulinita (Ct), argilomineral do tipo 1:1, assim como gibbsita (Gb), hematita (Hm) e goethita (Gt), também está presente em abundância em solos intemperizados (Costa *et al.*, 1999). Camargo *et al.* (2012) não encontraram significância entre o teor de caulinita e o P disponível em amostras coletadas de 20-40cm de Latossolo cultivado com cana-de-açúcar. Vilar *et al.* (2010) não obtiveram correlação significativa ( $p > 0,05$ ) entre  $Ct/(Ct+Gb)$  e CMAP. Semelhantemente, Eberhardt *et al.* (2008) constataram que a Ct não afetou o nível de  $P_{rem}$  em amostras de 0-20cm de Latossolos do Cerrado sob pastagens. A presença de carga negativa permanente de pouca expressão (Smith; Emerson, 1976) e radicais de baixo PCZ (grupo silanol) promovem balanço de carga negativo na Ct e diminuição da atração dos ânions fosfato (Silva *et al.*, 2008). Embora, notadamente, possua menor capacidade sortiva que as argilas não silicatadas (oxihidróxidos de Fe e de Al), o recorrente predomínio de Ct nos solos brasileiros pode afetar a adsorção de P (Rogeri *et al.*, 2016), conforme constatado por Oliveira (2015). O autor obteve correlação significativa, apesar de fraca ( $r = -0,31^*$ ), entre  $P_{rem}$  e área de Ct em análise de 60 solos do Rio Grande do Sul.

## 3. CONCLUSÕES

- I. Compreender os efeitos da mineralogia na adsorção de fósforo é essencial para o desenvolvimento de estratégias eficazes para a fertilização e o manejo do fósforo;
- II. A composição mineralógica da fração argila pode ser mais importante que o teor da mesma para sorção de P;
- III. Os estudos relatam uma maior adsorção de fósforo em argilas não silicatadas (óxidos, hidróxidos e oxihidróxidos) do que nas silicatadas;
- IV. A fração oxídica (óxidos de Fe e de Al) é considerada em muitos trabalhos como a principal responsável pelo processo adsortivo.

## REFERÊNCIAS

- [1] ANDERSON, B. H.; MAGDOFF, F. R. Relative movement and soil fixation of soluble organic and inorganic phosphorus. **Journal of Environmental Quality**, v. 34, p. 2228-2233, 2005.
- [2] BAHIA FILHO, A. F. C.; BRAGA, J. M.; RESENDE, M.; RIBEIRO, A. C. Relação entre adsorção de fósforo e componentes mineralógicos da fração argila de Latossolos do Planalto Central. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 7, n. 3, p. 221-226, 1983.
- [3] BORCHARDT, G. Smectites. In: DIXON, J.B. & WEED, S.B. (eds.). **Minerals in soil environments**. 2.ed. Madison: Soil Science Society of America, 1989. p. 675-727.
- [4] BORGGGAARD, O. K. The influence of iron oxides on phosphate adsorption by soil. **J. Soil Sci.**, v. 34, p. 333-341, 1983.
- [5] CAMARGO, L. A.; MARQUES JUNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; ALLEONI, L. R. F. Spatial correlation between the composition of the clay fraction and contents of available phosphorus of an Oxisol at hillslope scale. **Catena**, v. 100, p. 100-106, 2012.
- [6] CARTER, D. L.; MORTLAND, M. M.; KEMPER, W. D. Specific surface. In: KLUTE, A. (ed.). **Methods of soil analysis: Physical and mineralogical methods**. 2. ed. Madison: Soil Science Society of America, 1986. p. 413-423.
- [7] CESSA, R. M. A.; CELI, L.; VITORINO, A. C. T.; NOVELINO, J. O.; BARBERIS, E. Área superficial específica, porosidade da fração argila e adsorção de fósforo em dois Latossolos Vermelhos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 1153-1162, 2009.
- [8] CHIOU, C. T.; LEE, J. F.; BOYD, S. A. The surface area of soil organic matter. **Environmental Science & Technology Journal**, v. 24, p. 1164-1166, 1990.
- [9] CHURCHMAN, G. J.; BURKE, C. M. Properties of subsoil in relation to various measures of surface area and water content. **European Journal of Soil Science**, v. 42, p. 463-478, 1991.
- [10] COSTA, A. C. S.; BIGHAM, J. M.; RHOTON, F. E.; TRAINA, S. J. Quantification and characterization of maghemite in soils derived from volcanic rocks in southern Brazil. **Clays Clay Miner.**, v. 47, p. 466-473, 1999.
- [11] CURTIN, D.; SMILLIE, G. W. Estimation of components of soil cation exchange capacity from measurements of specific surface and organic matter. **Soil Science Society of America Journal**, v. 40, p. 461-462, 1976.
- [12] DIXON, J. B. Kaolin and serpentine group minerals. In: DIXON, J. B.; WEED, S. B. (ed.). **Minerals in soil environments**. 2. ed. Madison: Soil Science Society of America, 1989. p. 467-525.
- [13] DONAGEMMA, G. K.; RUIZ, H. A.; FONTES, F. Fósforo remanescente em argila e silte retirados de Latossolos após pré-tratamentos na análise textural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 1785-1791, 2008.
- [14] EBERHARDT, D. N.; VENDRAME, P. R. S.; BECQUER, T.; GUIMARÃES, M. F. Influência da granulometria e da mineralogia sobre a retenção do fósforo em Latossolos sob pastagens no Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 1009-1016, 2008.
- [15] FAQUIN, V. **Nutrição Mineral de Plantas**. Lavras: UFLA / FAEPE, 2005. Curso de Pós-Graduação "Lato Sensu" (Especialização) a Distância: Solos e Meio Ambiente.
- [16] FERNANDES, R. B. A.; BARRÓN, V.; TORRENT, J.; FONTES, M. P. F. Quantificação de óxidos de ferro de Latossolos brasileiros por espectroscopia de refletância difusa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 245-257, 2004.
- [17] FONTES, M. P. F.; WEED, S. B. Phosphate adsorption by clays from brazilian Oxisols: Relationships with specific surface area and mineralogy. **Geoderma**, v. 72, p. 37-51, 1996.
- [18] FONTES, M. P. F.; CAMARGO, O. A.; SPOSITO, G. Eletroquímica das partículas coloidais e sua relação com a mineralogia de solos altamente intemperizados. **Scientia Agricola**, v. 58, p. 627-646, 2001.
- [19] FOX, R. L.; SEARLE, P. G. E. Phosphate adsorption by soils of the tropics. In: DROSDOFF, M. **Diversity of soils in the tropics**. Madison: American Society of Agronomy, 1978. p. 97-119.
- [20] GAMA, M. A. P. **Dinâmica do fósforo em solo submetido a sistemas de preparo alternativos**

**ao de corte e queima no nordeste paraense.** 2002. 96 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

- [21] HERNÁNDEZ, J.; MEURER, E. J. Adsorção de fósforo e sua relação com formas de ferro em dez solos do Uruguai. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p. 223-230, 1998.
- [22] HUNT, J.; OHNO, T.; HE, Z.; HONEYCUTT, C.; DAIL, D. B. Inhibition of phosphorus sorption to goethite, gibbsite, and kaolin by fresh and decomposed organic matter. **Biology and Fertility of Soils**, v. 44, p. 277-288, 2007.
- [23] IGWE, C. A.; ZAREI, M.; STAHR, K. Fe and Al oxides distribution in some Ultisols and Inceptisols of southeastern Nigeria in relation to soil total phosphorus. **Environment Earth Science**, v. 60, p. 1103-1111, 2010.
- [24] JUMA, N. G. **The pedosphere and its dynamics: a systems approach to soil science.** Edmonton: Salman Productions, 1999. 315 p.
- [25] KARATHANASIS, A. D.; SHUMAKER, P. D. Organic and inorganic phosphate interactions with soil hydroxylinterlayered minerals. **Soil Landscape Ecology**, v. 9, p. 501-510, 2009.
- [26] McDOWELL, R. W.; CONDRON, L. M.; MAHIEU, N.; BROOKES, P. C.; POULTRON, P. R.; SHARPLEY, A. N. Analysis of potentially mobile phosphorus in arable soils using solid-state nuclear magnetic resonance. **Journal of Environmental Quality**, v. 31, p. 450-456, 2002.
- [27] MENGEL, K.; KIRKBY, E. A. **Principles of plant nutrition.** Bern: International Potash Institute, 1987. 687 p.
- [28] MOREIRA, F. L. M.; MOTA, F. O. B.; CLEMENTE, C. A.; AZEVEDO, B. M.; BOMFIM, G. V. Adsorção de fósforo em solos do estado do Ceará. **Revista Ciência Agronômica**, Ceará, v. 37, n. 1, p. 7-12, 2006.
- [29] NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais.** Viçosa: UFV, 1999. 399 p.
- [30] OLIVEIRA, J. S. **Mineralogia e adsorção de fósforo em solos do Rio Grande do Sul.** 2015. 65 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.
- [31] PEÑA, F.; TORRENT, J. Relationships between phosphate sorption and iron oxides in Alfisols from a river terrace sequence of Mediterranean Spain. **Geoderma**, v. 33, p. 283-296, 1984.
- [32] PENNELL, K. D.; BOYD, S. A.; ABRIOLA, L.M. Surface area of soil organic matter reexamined. **Soil Science Society of America Journal**, v. 59, p. 1012-1018, 1995.
- [33] PETERSEN, L. W.; MOLDRUP, P.; JACOBSEN, O. H.; ROLSTON, D. E. Relations between specific surface area and soil physical and chemical properties. **Soil Science**, v. 161, p. 9-21, 1996.
- [34] PIOVESAN, R. P.; FAVARETTO, N.; PAULETTI, V.; MOTTA, A. C. V.; REISSMANN, C. B. Perdas de nutrientes via subsuperfície em colunas de solo sob fertilização mineral e orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 757-766, 2009.
- [35] POZZA, A. A. A.; CURTI, N.; GUILHERME, L. R. G.; MARQUES, J. J. G. S. M.; COSTA, E. T. S.; ZULIANI, D. Q.; MOTTA, P. E. F.; MARTINS, R. S.; OLIVEIRA, L. C. A. Adsorção e dessorção aniônicas individuais por gibbsite pedogenética. **Química Nova**, v. 32, p. 99-105, 2009.
- [36] PRATI, M. **Adsorbimento di composti contenenti fosforo su ossidi di ferro e di titanio: effetti sulle proprietà, di superficie.** 2000. 92 p. Dissertação (Mestrado) - Università di Torino, Torino, 2000.
- [37] RANNO, S. K.; SILVA, L. S.; GATIBONI, L. C.; RHODEN, A. C. Capacidade de adsorção de fósforo em solos de várzea do estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 21-28, 2007.
- [38] ROGERI, D. A.; GIANELLO, C.; BORTOLON, L.; AMORIM, M. B. Substitution of clay content for P-remaining as an index of the phosphorus buffering capacity for soils of Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 40, e0140535, 2016.
- [39] SAMBATTI, J. A.; COSTA, A. C. S.; MUNIZ, A. S.; SENGIT, E.; SOUZA JUNIOR, I. G.; BIGHAM, J. M. Relações entre a substituição isomórfica de Fe por Al e as características químicas e mineralógicas de hematitas sintéticas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, p. 117-124, 2002.

- [40] SCHWERTMANN, U.; CORNELL, R. M. **Iron oxides in the laboratory: preparation and characterization**. New York: Willey-VCH Publication, 2000. 156 p.
- [41] SILVA, V.; MOTTA, A. C. V.; MELO, V. F.; LIMA, V. C. Variáveis de acidez em função da mineralogia da fração argila do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 551-559, 2008.
- [42] SMITH, B. H.; EMERSON, W. W. Exchangeable aluminum in kaolinite. **Australian Journal of Soil Research**, v. 14, p. 45-53, 1976.
- [43] SOUZA JUNIOR, I. G.; COSTA, A. C. S.; SAMBATTI, J. A.; PETERNELE, W. S.; TORMENA, C. A.; MONTES, C. R.; CLEMENTE, C. A. Contribuição dos constituintes da fração argila de solos subtropicais à área superficial específica e à capacidade de troca catiônica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 1355-1365, 2007.
- [44] SOUZA, J. A.; CURI, N.; GUEDES, G. A. A. Relação entre mineralogia e adsorção de fósforo em alguns Latossolos sob Cerrado do planalto central. **Ciência e Prática**, v. 15, p. 103-111, 1991.
- [45] SOUZA, M. F. **Sorção e dessorção competitiva de fósforo e citrato em solos de textura muito argilosa e média**. 2013. 21 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2013.
- [46] SOUZA, R. F.; FAQUIN, V.; TORRES, P. R. F.; BALIZA, D. P. Calagem e adubação orgânica: influência na adsorção de fósforo em solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n. 6, p. 975-983, 2006.
- [47] SPARKS, D. L. Sorption phenomena on soils. In: SPARKS, D.L. (ed.). **Environmental soil chemistry**. San Diego: John Wiley & Sons, 1995. p. 99-139.
- [48] STRAUSS, R.; BRÜMMER, G. W.; BARROW, N. J. Effects of crystallinity of goethite: II rates of sorption and desorption of phosphate. **European Journal of Soil Science**, v. 48, p. 101-114, 1997.
- [49] TILLER, K. G.; SMITH, L. H. Limitations of EGME retention to estimate the surface area of soils. **Australian Journal of Soil Research**, v. 28, p. 1-26, 1990.
- [50] TORRENT, J. Rapid and slow phosphate sorption by mediterranean soils: effect of iron oxides. **Soil Science Society of America Journal**, v. 51, p. 78-82, 1987.
- [51] TORRENT, J.; SCHWERTMANN, U.; BARRÓN, V. Phosphate sorption by natural hematites. **European Journal of Soil Science**, v. 45, p. 45-51, 1994.
- [52] VALLADARES, G. S.; PEREIRA, M. G.; ANJOS, L. H. C. Phosphate sorption in low activity clay soils. **Bragantia**, v. 62, p. 111-118, 2003.
- [53] VILAR, C. C.; COSTA, A. C. S.; HOEPERS, A.; SOUZA JUNIOR, I. G. Capacidade máxima de adsorção de fósforo relacionada a formas de ferro e alumínio em solos subtropicais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 4, p. 1059-1068, 2010.
- [54] WHITE, G. N.; DIXON, J. B. Kaolin-Serpentine minerals. In: AMONETTE, J. E.; BLEAM, W. F.; SCHULZE, D. G.; DIXON, J. B. (ed.). **Soil mineralogy with environmental applications**. Madison: Soil Science Society of America, 2002. p. 389-414.

# Capítulo 10

## *Adsorção de fósforo no solo e fatores que afetam o processo adsortivo: uma revisão*

*José Gabriel Freitas de Lima*

*Washington Luiz Cotrim Duete*

*Rozilda Vieira Oliveira*

*Júlio César Azevedo Nóbrega*

**Resumo:** O fósforo (P) é um elemento essencial para o crescimento e desenvolvimento vegetal. A complexa dinâmica do P, sua baixa disponibilidade nos solos brasileiros e essencialidade para o desenvolvimento das culturas evidenciam a necessidade de compreensão dos fatores que influenciam a interação entre ânions fosfato, partículas do solo e cátions metálicos, visto que estes afetam a disponibilidade deste nutriente para as culturas. Diante do exposto, o presente trabalho teve como objetivo realizar uma revisão de literatura sobre adsorção de fósforo e fatores que afetam o processo adsortivo em solos brasileiros.

**Palavras-chave:** P, dinâmica, disponibilidade, interação, fosfato.

## 1. INTRODUÇÃO

O fósforo (P) é um elemento fundamental para o desenvolvimento vegetal. Tal importância resulta de sua atuação no controle de várias enzimas, como a ADP-glicose pirofosforilase. Além da função metabólica, o fósforo é constituinte dos fosfolípidos, componentes das membranas biológicas, e dos nucleotídeos responsáveis pelo armazenamento de energia nas células (ATP, UTP e GTP), além de estar envolvido na síntese dos ácidos desoxirribonucleicos (DNA), que contêm as informações genéticas dos organismos, e dos ácidos ribonucleicos (RNA), moléculas que promovem a síntese proteica (Faquin, 2005).

A concentração total de fósforo no solo varia, de um modo geral, entre 200 e 3000 mg kg<sup>-1</sup> (Novais; Smyth, 1999). Embora o teor ideal em solução, para a maioria das plantas, corresponda a 0,2 mg L<sup>-1</sup>, na maior parte dos solos tropicais valores inferiores são encontrados (Chaves *et al.*, 2007).

No solo, o fósforo pode encontrar-se na forma orgânica ou inorgânica. O P orgânico representa de 20 a 80% do P total do solo e é proveniente de resíduos vegetais e animais, material em decomposição e principalmente da biomassa microbiana (Oberson; Joner, 2005; Gatiboni *et al.*, 2008). O P inorgânico solúvel, entretanto, corresponde a menos de 5% do P total e representa a fração de maior atividade e disponibilidade no solo, podendo ser absorvido, adsorvido, precipitado, perdido por erosão e/ou lixiviação (Huang; Chen; Shenker, 2007; Novais; Smyth; Nunes, 2007).

A adsorção é considerada o principal mecanismo de retenção de P no solo (McBride, 1994), sendo definido como um processo espontâneo que promove o deslocamento do íon fosfato da solução do solo para as superfícies de minerais, reduzindo sua mobilidade e as perdas por lixiviação (Sims; Pierzynski, 2005).

De acordo com a intensidade da interação íon-coloide, o fósforo pode estar retido e potencialmente disponível (lábil) ou indisponível (não lábil). O fluxo de transferência do P no sistema solo-solução é controlado pelo fator capacidade tampão de fósforo, propriedade específica de cada solo, que é influenciada por uma série de atributos, como teor de argila, óxidos de Fe e de Al, matéria orgânica (MO), fósforo remanescente (P<sub>rem</sub>), pH e capacidade de troca catiônica (CTC) (Novais; Smyth; Nunes, 2007).

A complexa dinâmica do fósforo, sua baixa disponibilidade nos solos brasileiros e essencialidade para o desenvolvimento das culturas evidenciam a necessidade de compreensão dos fatores que influenciam a interação entre ânions fosfato, partículas do solo e cátions metálicos, visto que estes afetam direta ou indiretamente a disponibilidade deste nutriente para as culturas. Diante do exposto, o presente trabalho teve como objetivo realizar uma revisão de literatura sobre adsorção de fósforo e fatores que afetam o processo adsorptivo em solos brasileiros.

## 2. PERDAS DE FÓSFORO NO SOLO

A redução no teor de fósforo disponível causada pelos processos de sorção torna necessária a aplicação de doses elevadas de adubos fosfatados para satisfazer as necessidades nutricionais das plantas (Santos, 2016). Como consequência, o escoamento superficial (enxurrada e erosão) torna-se a principal forma de remoção de P do solo, representando até 75 a 90% de perdas (Sharpely; Halvorson, 1994; Basso *et al.*, 2005). O período e a forma de aplicação, as condições atmosféricas (intensidade e tempo da chuva),

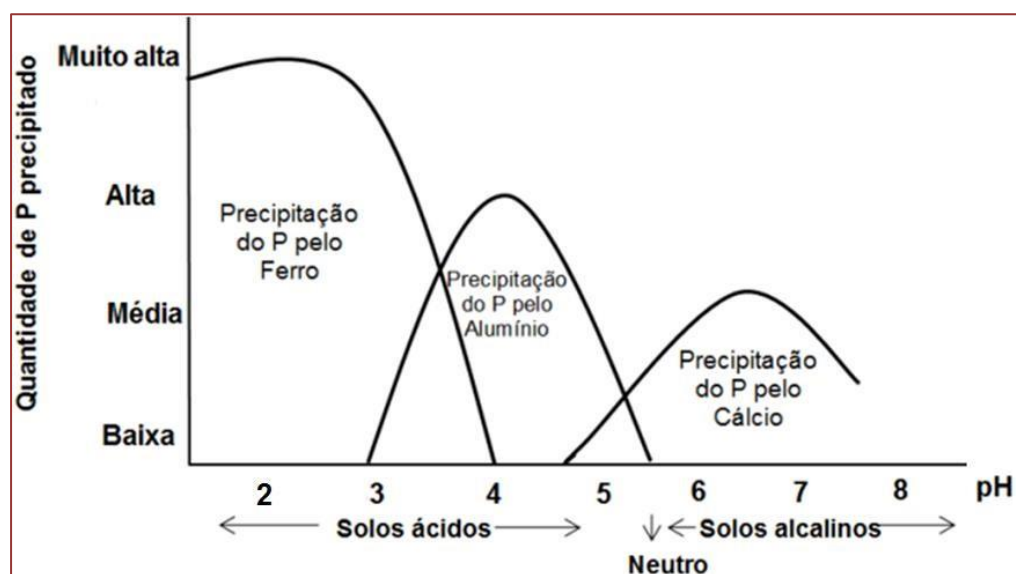
a presença de cobertura vegetal, o relevo do terreno e o tipo de fertilizante influenciam diretamente nesses valores (Sharpley; Halvorson, 1994).

O processo de adsorção do P à fase sólida e a formação de precipitados com os íons metálicos ferro (Fe), alumínio (Al) ou cálcio (Ca) reduzem a concentração de P solúvel e consequentemente a lixiviação (Olatuyi *et al.*, 2009). Apesar das perdas subterrâneas alcançarem valores inferiores a 1% do P total aplicado (Sharpley; Halvorson, 1994), elas podem causar impactos ambientais significativos nos cursos e reservatórios de água, desencadeando o processo de eutrofização a partir de concentrações entre 0,02 e 0,03 mg L<sup>-1</sup> de P (Brasil, 2005).

## 2.1 PRECIPITAÇÃO DE FÓSFORO

A precipitação, apesar de menos representativa, também contribui com a redução da concentração do fósforo na solução do solo. O processo promove a formação de hidróxidos de fosfato, compostos pouco solúveis, através de uma reação lenta entre os ânions fosfato e cátions metálicos (Sanchez; Uehara, 1980). A combinação entre o cátion dissolvido e o íon fosfato é diretamente influenciada pelo pH do meio (Souza; Lobato, 2003). Em condições de acidez, formam-se precipitados com Fe ou Al (Souza; Curi; Guedes, 1991; Correia, 2010) e com o Ca em pH neutro ou alcalino (Figura 1) (Quispe, 2004; Farias *et al.*, 2009).

**Figura 1:** Precipitação de fósforo com cátions metálicos em diferentes pH do solo



Fonte: Adaptada de Marques (2016).

## 2.2 ADSORÇÃO DE FÓSFORO

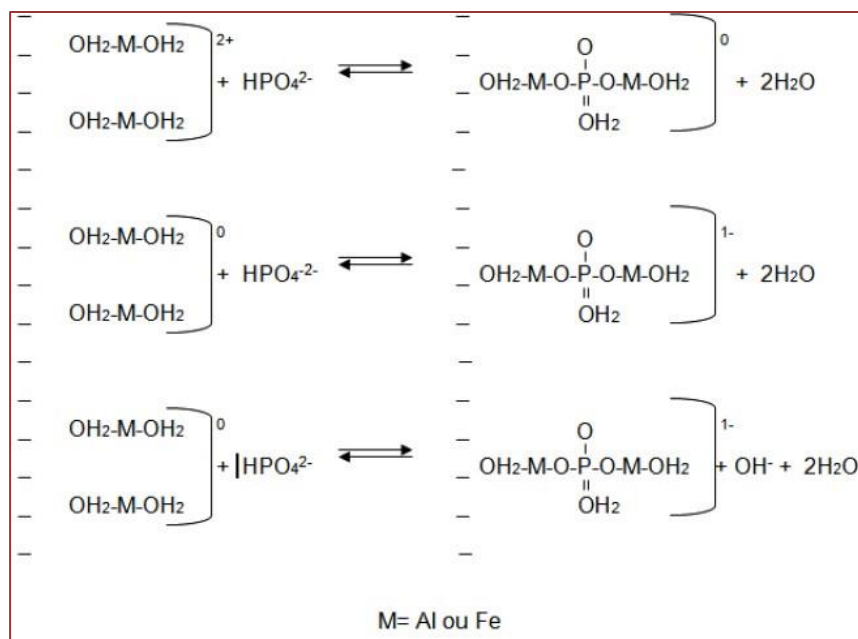
A adsorção é um processo contínuo e espontâneo que resulta na movimentação de íons da solução para a fase sólida do solo através de ligações eletrostáticas ou covalente (Rijtema; Groenendijk; Kroes, 1999; Sims; Pierzynski, 2005). É considerado o principal mecanismo de remoção de P da solução do solo, dado que, geralmente, mais de 90% do elemento se encontra adsorvido após uma hora de contato de uma fonte solúvel de fósforo com o solo (McBride, 1994; Novais; Smyth; Nunes, 2007).

Muljadi *et al.* (1966a,b) e Parfitt (1978) descreveram o processo de adsorção do P em três fases (Oliveira *et al.*, 2014). A primeira é rápida e consiste na atração eletrostática para neutralização das cargas positivas (grupos  $R-OH_2^+$ ) dos coloides minerais. A segunda é lenta e envolve a formação de ligações covalentes monodentadas, bidentadas e binucleadas com os coloides em um processo denominado troca de ligantes. A energia de ligação aumenta conforme a ordem das ligações supracitadas e a labilidade do P diminui (Parfitt, 1978; Novais; Smyth, 1999). A terceira etapa, por fim, compreende as interações eletrostáticas entre o fosfato e a superfície dos coloides. A extensão de cada um desses estádios temporais depende da afinidade entre o íon e os sítios adsorptivos, o que resulta em distintas energias de ligação (Muljadi *et al.*, 1966c).

A capacidade de transferir rapidamente o P da solução para a superfície dos coloides reduz significativamente as perdas por lixiviação. Esta fase inicial é reversível e representa a adsorção não específica e troca de ligantes em pontes minerais ou por óxidos e carbonatos (Novais; Smyth, 1999), permitindo que o elemento seja novamente disponibilizado a solução de acordo com a diferença de concentração de P entre as fases sólida e líquida. Nesse caso, a fração sólida age como uma reserva de íons, uma vez que o P encontra-se na forma lábil e pode ser liberado. Contudo, lentamente, os fosfatos adsorvidos sofrem precipitação ou polimerização na superfície dos coloides e/ou difusão para o interior da estrutura do mineral através dos poros e imperfeições na superfície adsorvente, tornando-se indisponíveis para as plantas (van Der Zee; van Riemsdijk, 1988; Novais; Smyth, 1999).

O fósforo pode ser adsorvido à superfície dos coloides por meio de dois mecanismos. Enquanto a adsorção não específica resulta na formação de complexos de esfera externa, pares iônicos (íon e partícula) que apresentam ao menos uma esfera de hidratação entre seus constituintes; a adsorção específica promove a geração de complexos de esfera interna, estruturas caracterizadas pela ausência de moléculas de água entre o íon e a partícula, maior interação e menor distância de ligação entre esses componentes, o que reduz as chances de reversibilidade do processo (Langmuir, 1979; Sposito, 1989; Sparks, 1995; Novais; Smyth, 1999).

A adsorção específica, principal mecanismo de retenção do fósforo a fase sólida do solo, ocorre por meio da formação de compostos de coordenação na superfície do coloide. As espécies iônicas  $H_2PO_4^-$  e  $HPO_4^{2-}$ , preponderantemente, se ligam covalentemente com átomos metálicos (Fe ou Al) constituintes das argilas não silicatadas (óxidos ou hidróxidos), removendo os grupamentos hidroxila (OH) e formando complexos de esfera interna (Figura 2) (Hingston; Posner; Quirk, 1972; Atkinson; Parfitt; Smart, 1974).

**Figura 2:** Formação de complexo de esfera interna

Fonte: Adaptada por Marques (2016) de Cornforth (2015).

### 2.2.1 FATORES QUE AFETAM A ADSORÇÃO DE P

A velocidade e a quantidade de fósforo adsorvido à fase sólida do solo depende da natureza químicas e mineralógicas do adsorvente e das propriedades químicas do adsorbato (Oliveira *et al.*, 2014). A capacidade de adsorção de um solo varia de acordo com as condições ambientais (Costa, 2008), poder tampão e P remanescente (Oliveira *et al.*, 2014), pH, acidez e capacidade de troca de cátions (CTC), teor de matéria orgânica (Salcedo; Bertino; Sampaio, 1990), temperatura e período em contato do P com os constituintes do solo (Havlin *et al.*, 2005).

#### 2.2.1.1 FATOR CAPACIDADE DE FÓSFORO (FCP)

Os processos de adsorção (movimento solução-coloide) e dessorção (movimento coloide-solução) dos íons fosfato envolvem dois elementos que estão intimamente em contato, a solução do solo e a fase sólida. A cinética dessa transferência é regulada pelo fator capacidade de fósforo (FCP), razão entre a quantidade de P disponível (lábil) na fase sólida (fator quantidade, Q) e em solução (fator intensidade, I),  $\Delta Q/\Delta I$  (Barrow, 2008; Oliveira *et al.*, 2014).

O FCP, também denominado de capacidade tampão de fósforo (CTP), pode ser definido como a capacidade de um solo em solubilizar, precipitar, dessorver ou adsorver o P do solo, de acordo com o gradiente de concentração do íon no sistema solo-solução e o efeito de atributos do solo que afetam os processos de fixação de P (Wadt; Silva, 2011). Por meio do FCP é possível avaliar o comportamento do solo diante, por exemplo, da adição de fertilizantes fosfatados. Quanto maior for o poder adsortivo do P no solo, maior o efeito tampão do mesmo, ou seja, maior sua capacidade de resistir à variação na concentração do nutriente em solução. Neste caso, um solo com maior capacidade tampão de P exige

maior quantidade de fertilizante para elevar a concentração de P ao nível crítico (Oliveira *et al.*, 2014).

O poder tampão de um solo é uma propriedade influenciada por diversos atributos, como o teor de argila, MO, acidez potencial ( $H + Al$ ) e  $P_{rem}$  (Reis *et al.*, 2020). Conhecer a contribuição desses elementos no FCP possibilita a correta interpretação da disponibilidade de P no solo, dado que Mehlich-1 e Mehlich-3, extratores de P disponível, se mostram sensíveis ao FCP (Bortolon; Gianello; Schlindwein, 2009; Rogeri *et al.*, 2016; Reis *et al.*, 2020). Dentre os atributos avaliados por Reis *et al.* (2020), o  $P_{rem}$  e o teor de argila foram os que mais influenciaram na extração de P, o que pode ser observado pelas maiores correlações que obtiveram com nível crítico e taxa de recuperação de P.

#### 2.2.1.2 FÓSFORO REMANESCENTE ( $P_{rem}$ )

O  $P_{rem}$  pode ser definido como o teor de fósforo adicionado que permanece em solução após um determinado período em contato com o solo (Wadt; Silva, 2011). A correlação que apresenta com o FCP e o efeito deste sobre a disponibilidade de fósforo possibilita o emprego de classes de  $P_{rem}$  para interpretação da disponibilidade de P (Wadt; Silva, 2011). Sendo assim, por meio de uma análise simples de laboratório ( $P_{rem}$ ) é possível estimar o teor de P disponível às plantas (P em solução + fração variável do P-lábil do solo). Por meio da definição da classe de disponibilidade de P a partir do  $P_{rem}$  obtém-se a informação necessária para que, através da consulta dos manuais de recomendação de fertilizantes, determine-se a quantidade de adubo fosfatado a ser empregado na cultura de interesse.

Além do  $P_{rem}$ , as classes de interpretação para disponibilidade de P no solo podem ser estabelecidas em função do teor de argila, devido à contribuição significativa deste sobre a extração de P disponível por Mehlich-1 e Mehlich-3 (Reis *et al.*, 2020). Apesar de não ser uma medida dinâmica, como o  $P_{rem}$ , não sendo alterada por práticas agrícolas (Fontana *et al.*, 2008), a argila deve ser preterida, uma vez que a escassez de dados sobre a qualidade da fração, a dispersão incompleta dessa em alguns solos tropicais (Donagemma *et al.*, 2003) e a variação na atividade entre solos argilosos (Wadt; Silva, 2011) podem resultar em erros na estimativa do FCP e na definição das classes de P disponível.

#### 2.2.1.3 ACIDEZ ATIVA, PCZ E CTC

A acidez ativa de um solo é expressa por meio do potencial hidrogeniônico (pH), escala logarítmica de 0 a 14 que representa a atividade de íons hidrônio/hidroxônio ( $H^+$  ou  $H_3O^+$ ) em solução e indica a acidez (pH < 7), neutralidade (pH = 7) ou alcalinidade (pH > 7) do meio. A ação desses íons promove a formação e alteração de cargas dependentes de pH presentes em constituintes do solo por meio de reações de protonação e desprotonação. Um balanço de cargas positivo eleva o potencial de atração eletrostática dos colóides pelos ânions (íons fosfato), enquanto um balanço negativo promove a repulsão entre as cargas e redução do potencial adsorativo de P do solo (Novais; Smyth; Nunes, 2007).

Em ambiente ácido existe predomínio de íons hidrônio ( $H_3O^+$ ), o que tende a promover ligações dessa espécie com grupos funcionais presentes, principalmente, na superfície das argilas, gerando cargas positivas (reações de protonação). Em condições alcalinas, todavia, os minerais de argila podem sofrer desprotonação nos grupamentos hidroxila e formar cargas negativas, como resultado da maior atividade dos íons  $OH^-$  em solução. Tais

observações são generalistas e representam uma tendência de comportamento que pode ser mais bem compreendida pela análise do ponto de carga zero (PCZ) desses minerais.

O PCZ é um parâmetro empregado na avaliação do balanço de carga de uma estrutura e pode ser definido como o valor de pH no qual a carga superficial de um sistema reversível de dupla camada é zero. Por meio do PCZ é possível avaliar a tendência de um grupo ionizável sofrer reações de protonação ou desprotonação. Quanto menor o PCZ, maior a capacidade do grupo se desprotonar e gerar carga negativa, o que pode ocorrer mesmo em condições de acidez (Parks; Bruyn, 1962; Espinoza; Gast; Adams Junior, 1975).

A fração argila constitui a porção mais ativa do solo, sendo a principal responsável pelo fenômeno de adsorção de P (Novais; Smyth, 1999; Valladares; Pereira; Anjos, 2003; Ranno *et al.*, 2007). Os argilominerais do tipo 2:1 (esmectita, ilita, montmorilonita e vermiculita) e 2:1:1 (clorita) comportam-se como ácidos fortes (Mehlich, 1942; Chao; Harward, 1962) devido às cargas negativas permanentes e ao predomínio dos grupos silanol (Si-OH). A formação dessas cargas independentes de pH resulta da substituição de cátions do mineral por outros de menor valência (Si<sup>+4</sup> por Al<sup>+3</sup> nas camadas tetraedrais de sílica e Al<sup>+3</sup> por Mg<sup>+2</sup> nas camadas octaedrais de alumina). A maior presença de radicais Si-OH (PCZ < 2,5) nas bordas das folhas tetraédricas favorece a desprotonação da hidroxila (Si-O<sup>-</sup>) e formação de cargas negativas na faixa de pH observada nos solos (Silva *et al.*, 2008).

A caulinita, mineral argiloso do tipo 1:1, é o componente mais abundante na maioria dos solos tropicais e subtropicais (Dixon, 1989), inclusive nos brasileiros (Kämpf; Curi, 2000). Além da carga negativa permanente de pouca expressão, esse mineral apresenta cargas variáveis (Smith; Emerson, 1976) resultantes da protonação ou desprotonação dos grupos silanol (Si-OH), aluminol (Al-OH) e grupamento OH na borda do mineral. Como resultado da presença de radicais ácidos fracos (Al-OH) e radicais ácidos fortes (Si-OH), esse mineral apresenta um PCZ que expressa uma média do comportamento dos mesmos (pH 3,5-4,0) e predomínio de cargas negativas nas condições de pH da maioria dos solos (Silva *et al.*, 2008).

As argilas não silicatadas, oxihidróxidos de Fe (hematita e goethita) e óxidos de Al (gibbsita), possuem radicais ácidos fracos, Fe-OH (PCZ > 7) e Al-OH (PCZ > 6) (Fontes; Camargo; Sposito, 2001), respectivamente, e desenvolvem cargas variáveis (dependentes de pH). Devido a essa condição, esses minerais tendem a se encontrar protonados (Fe-OH<sub>2</sub><sup>+</sup> e Al-OH<sub>2</sub><sup>+</sup>) e apresentar um balanço de carga positivo em solos intemperizados e ácidos, como os presentes em grande parte do território brasileiro (Silva *et al.*, 2008).

Além das diferenças na natureza dos radicais, o que permite diferenciá-los em ácidos fortes e ácidos fracos, podem existir, entre radicais iguais, diferentes tendências à dissociação das hidroxilas expostas. Tal comportamento depende do número de metais ligados à hidroxila (um, dois ou três) na estrutura do mineral (Fontes; Camargo; Sposito, 2001). Quanto maior o número de ligações, maior o deslocamento da nuvem eletrônica em direção aos metais (Al e Fe) com consequente diminuição da intensidade da ligação O-H e aumento da acidez do radical (Silva *et al.*, 2008).

A geração de cargas influencia na capacidade de troca de cátions (CTC) do solo, propriedade físico-química intrínseca aos constituintes minerais e orgânicos obtida através do somatório do teor dos íons Ca<sup>+2</sup>, Mg<sup>+2</sup>, K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, Al<sup>+3</sup> (CTC efetiva) e H<sup>+</sup> (CTC total) retidos nos mesmos (Bortoluzzi *et al.*, 2009). As cargas negativas presentes nessas estruturas serão responsáveis por adsorver os cátions e posteriormente disponibilizá-los a solução do solo, de acordo com o gradiente de concentração do íon no sistema solo-

solução. Solos com maior quantidade de cargas negativas tendem a ter menor capacidade de adsorção dos íons de P, já que repelem íons de mesma carga.

Uma prática agrícola empregada para redução da acidez típica dos solos brasileiros é a calagem. Esta técnica de correção se baseia na aplicação de calcário, rocha sedimentar constituída por sais ( $\text{CaCO}_3$  e  $\text{MgCO}_3$ ) que sofrem hidrólise salina e liberam  $\text{OH}^-$  e  $\text{HCO}_3^-$  (Mello *et al.*, 1983), ânions que neutralizam os prótons ( $\text{H}^+$ ) da solução do solo, elevando o pH do meio. O aumento do pH reduz a solubilidade dos íons ferro e alumínio, promove a precipitação dos mesmos e impede a reação deles com os íons fosfato. Para que ocorra neutralização dos íons hidróxidos ( $\text{OH}^-$ ) formados, as hidroxilas expostas nas argilas e matéria orgânica sofrem desprotonação, o que leva a formação de cargas negativas e a repulsão entre o fosfato e a superfície adsorvente, aumentando a concentração de P em solução disponível as plantas (McBride, 1994).

#### 2.2.1.4 TEMPERATURA E PERÍODO DE EXPOSIÇÃO

Condições de mais alta temperatura tendem a favorecer as reações adsorptivas, na medida em que aumentam a energia cinética das partículas e o número de colisões efetivas, acelerando a velocidade das reações e favorecendo a atividade biológica do solo, promovendo a decomposição e mineralização da MO com consequente conversão do P orgânico dos resíduos vegetais e/ou animais em inorgânico e a excreção de ácidos orgânicos. O tempo de exposição também está diretamente relacionado à quantidade do elemento que será adsorvida. Contudo, não são necessárias longas horas de contato para uma extração satisfatória, uma vez que, geralmente, mais de 90% do elemento é adsorvido após uma hora de contato de uma fonte solúvel de fósforo com o solo (Novais; Smyth; Nunes, 2007).

#### 2.2.1.5 MATÉRIA ORGÂNICA (MO)

Os resíduos orgânicos podem ser de origem vegetal ou animal. A deposição dos mesmos sobre o solo e os processos de decomposição e mineralização que o sucedem permitem a ciclagem deste material e a melhoria das propriedades químicas, físicas e biológicas do solo (Lal, 2004). Além do efeito tampão, manutenção da umidade e controle térmico, a matéria orgânica (MO) do solo estimula a biota edáfica, condiciona fisicamente o solo e contribui para redução da adsorção e da precipitação do fósforo (Ungera *et al.*, 1991; Dubus; Becquer, 2001; Conceição *et al.*, 2005; Boulal *et al.*, 2011).

A liberação de ácidos orgânicos excretados por microrganismos e exsudados do citoplasma de células radiculares das plantas influencia no processo de sorção de fósforo de baixa massa molar (Hees; Lundstrom; Giesler, 2000; Vyas; Gulati, 2009). No solo, estes produtos sofrem ionização e são convertidos em ânions orgânicos, substâncias que podem atuar como agentes complexantes de íons metálicos (Fe e Al), formando complexos organometálicos estáveis em uma ampla faixa de pH (4,0-7,0) (Sposito, 1989) e evitando assim que estes originem precipitados com o íon fosfato (Oburger; Jones; Wenzel, 2011).

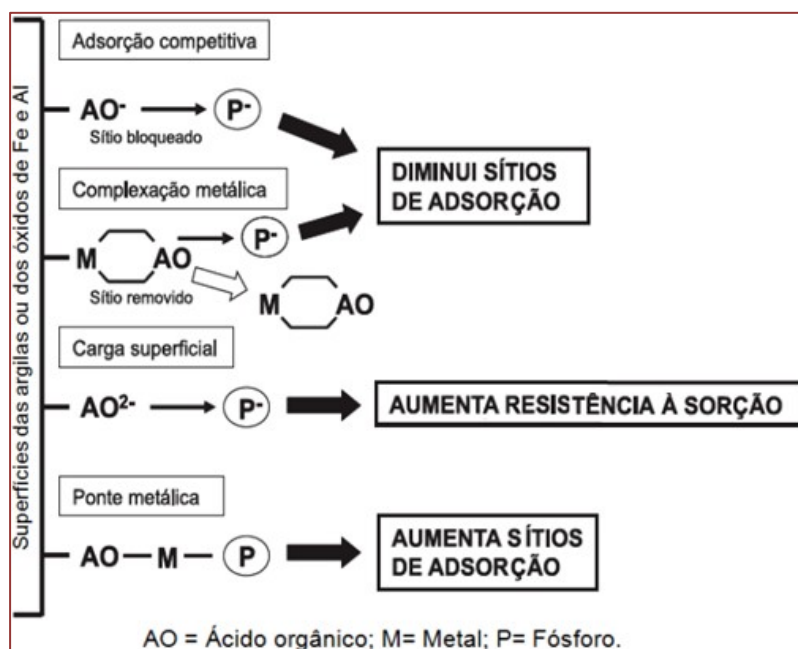
A maioria dos ácidos orgânicos apresenta caráter aniônico, ou seja, tendem a formar íons carregados negativamente. A elevada propensão à desprotonação da hidroxila ( $\text{OH}$ ) dos grupamentos carboxílicos, fenólicos e enólicos presentes nesses ácidos resulta na dissociação do  $\text{H}^+$  e geração de carga negativa mesmo em condições de acidez, uma vez

que em pH superior a 3,5 (PCZ) já existe predomínio de cargas negativas na maioria dos grupos supracitados, tornando menos provável a ocorrência de cargas positivas nessas estruturas (Camargo; Alleoni, 2006; Marques, 2016).

Os ânions orgânicos são capazes de se ligar aos sítios de adsorção, competindo com o P e reduzindo a sorção do mesmo. A diminuição dos sítios de ligação disponíveis devido a inibição competitiva é considerado o principal efeito da MO sobre a disponibilidade de P (Matias, 2010) e ocorre na medida em que os grupos funcionais carboxílicos e fenólicos da MO se ligam as hidroxilas presentes na superfície dos óxidos de Fe ou de Al (Borling; Otabbong; Barberis, 2001; Azevedo *et al.*, 2004). A afinidade entre esses grupos funcionais (carboxila e hidroxila) é proporcionada pela atração eletrostática existente entre o íon carregado negativamente, resultante da ionização da carboxila, e o balanço de carga positivo presente na superfície dos óxidos na faixa de pH entre 4,9 e 6,5 (protonação da hidroxila) (Camargo *et al.*, 2012).

A ação bloqueadora da MO sobre os sítios de adsorção e a complexação de cátions metálicos que poderiam precipitar com o fosfato influenciam na correlação negativa existente entre a sorção de P e o teor de C orgânico (Afif; Barrón; Torrent, 1995). Apesar da ação complexante e competição com os ânions fosfato pelos sítios de adsorção nas superfícies das argilas silicatadas e não-silicatadas reduzirem a quantidade de P fixado (Sanyal; De Datta, 1991), os íons orgânicos podem formar pontes de cátions (Al, Fe e Ca da solução do solo) com o P, elevando a capacidade adsortiva do solo (Figura 3) (Sanyal; De Datta, 1991; Guppy *et al.*, 2005).

**Figura 3:** Mecanismos de atuação dos ácidos orgânicos sobre a superfície dos coloides e a competição com o fósforo por esses sítios de adsorção



Fonte: Adaptada por Marques (2016) de Guppy *et al.* (2005).

O efeito direto da MO no fornecimento de fósforo pode ser inexpressivo em curto espaço de tempo (Hunt *et al.*, 2007; Cui *et al.*, 2011). Stevenson (1986) determinou relações

genéricas que indicam a tendência de disponibilização de P da MO para o solo de acordo com a relação C/P do material decomposto. Quando essa relação é maior que 300 ( $C/P > 300$ ), a quantidade de carbono do material é tão elevada que o fósforo do solo passa a ser mobilizado pelos microrganismos decompositores. Com a deterioração e redução do seu conteúdo carbônico, a relação C/P é reduzida. Quando  $C/P < 200$ , o processo de mineralização do P orgânico é superior à imobilização, elevando a disponibilidade do nutriente (Havlin *et al.*, 2005).

Apesar dos benefícios proporcionados pelos ânions orgânicos, a exsudação natural desses ácidos pelas plantas pode ser insuficiente para elevar o aproveitamento dos adubos fosfatados, principalmente nos solos com elevado processo de intemperização, já que apresentam alta capacidade de adsorção de P (Oburger; Jones; Wenzel, 2011). Dessa forma, o emprego de práticas e sistemas de manejo que contribuam para a manutenção de altos teores de matéria orgânica no solo, como o plantio direto, integração lavoura-pecuária-floresta, sistemas agroflorestais, uso de plantas de cobertura e adubo verde, podem influenciar no processo de adsorção de fósforo (Tirloni *et al.*, 2009).

A adoção de um manejo que promova o aporte constante de matéria orgânica ao solo aumenta a eficiência da adubação fosfatada. Além de reduzir a sorção e aumentar a concentração de P em solução, o processo de ionização dos ácidos orgânicos libera íons hidrônio ( $H^+$ ), que são capazes de dissolver o fosfato mineral adicionado, acelerando o processo de solubilização do fósforo inorgânico e tornando-o mais rapidamente disponível a cultura. O desenvolvimento da microbiota e o estímulo a atividade biológica promovem a ação de microrganismos solubilizadores de fosfato e a incorporação do fósforo nos organismos vivos, o que evita a fixação do mesmo, proporciona a liberação do P orgânico constituinte dos resíduos e a conversão dele em P inorgânico por meio da mineralização, disponibilizando-o às plantas (Otabbong *et al.*, 1997; Lima, 2012).

### 3. CONCLUSÕES

- I. A fração argila constitui a porção mais ativa do solo, sendo a principal responsável pelo fenômeno de adsorção de fósforo;
- II. O processo de adsorção é o principal mecanismo de remoção de P da solução do solo, sendo influenciado por uma série de fatores (fator capacidade, fósforo remanescente, CTC, pH, acidez, matéria orgânica, temperatura e tempo de exposição), que, combinados, podem potencializar a quantidade de P retida e reduzir a disponibilidade do nutriente para a cultura;
- III. A matéria orgânica tende a elevar a disponibilidade de P em solução;
- IV. Compreender a dinâmica dos fatores que contribuem para a adsorção fornece informações importantes para adoção de práticas de manejo que elevem a biodisponibilidade desse nutriente, como a calagem e a adição de matéria orgânica.

### REFERÊNCIAS

- [1] AFIF, E.; BARRÓN, V.; TORRENT, J. Organic matter delays but does not prevent phosphate sorption by Cerrado soils from Brazil. **Soil Science**, v. 159, p. 207-211, 1995.
- [2] ATKINSON, R. J.; PARFITT, R. L.; SMART, R. S. C. Infrared study of phosphate adsorption on goethite. **Journal of the Chemical Society Faraday Transactions**, v. 70, p. 1472-1479, 1974.
- [3] AZEVEDO, W. R.; FAQUIN, V.; FERNANDES, L. A.; OLIVEIRA JÚNIOR, A. C. Disponibilidade de

fósforo para o arroz inundado sob efeito residual de calcário, gesso e esterco de curral aplicados na cultura do feijão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 995-1004, 2004.

- [4] BARROW, N. J. The description of sorption curves. **European Journal of Soil Science**, v. 59, p. 900-910, 2008.
- [5] BASSO, C. J.; CERETTA, C. A.; DURIGON, R.; POLETTTO, N.; GIROTTTO, E. Dejeito líquido de suínos: II – perdas de nitrogênio e fósforo por percolação no solo sob plantio direto. **Ciência Rural**, v. 35, p. 1234-1242, 2005.
- [6] BORLING, K.; OTABBONG, E.; BARBERIS, E. Phosphorus sorption in relation to soil properties in some cultivated Swedish soils. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 59, p. 39-46, 2001.
- [7] BORTOLON, L.; GIANELLO, C.; SCHLINDWEIN, J. A. Soil phosphorus availability evaluation for corn by Mehlich-1 and Mehlich-3 soil test methods. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 10, p. 305-312, 2009.
- [8] BORTOLUZZI, E. C.; RHEINHEIMER, D. S.; PETRY, C.; KAMINSKI, J. Contribuição de constituintes de solo à capacidade de troca de cátions obtida por diferentes métodos de extração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 507-515, 2009.
- [9] BOULAL, H.; GÓMEZ-MACPHERSON, H.; GÓMEZ, J. A.; MATEOS, L. Effect of soil management and traffic on soil erosion in irrigated annual crops. **Soil & Tillage Research**, v. 115, p. 62-70, 2011.
- [10] BRASIL - Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. **Diário Oficial da União**, 18/03/2005. Brasília, 2005.
- [11] CAMARGO, L. A.; MARQUES JUNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; ALLEONI, L. R. F. Spatial correlation between the composition of the clay fraction and contents of available phosphorus of an Oxisol at hillslope scale. **Catena**, v. 100, p. 100-106, 2012.
- [12] CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L. R. F. **Alguns métodos e terminologias em eletroquímica de solos**. 2006. Artigo em Hypertexto. Disponível em: <http://www.infobibos.com/artigos/solos/eletroquimica/eletroquimica.htm>. Acesso em: 4 abr. 2020.
- [13] CHAO, T. T.; HARWARD, M. E. Nature of acid clays and relationships to ion activities and ion ratios in equilibrium solutions. **Soil Science**, v. 93, p. 246-253, 1962.
- [14] CHAVES, L. H. G.; CHAVES, I. B.; MENDES, J. S. Adsorção de fósforo em materiais de Latossolo e Argissolo. **Revista Caatinga**, v. 20, p. 104-111, 2007.
- [15] CONCEIÇÃO, P. C.; AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J.; SPAGNOLLO, E. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 777-788, 2005.
- [16] CORNFORTH, I. S. **The fate of phosphate fertilisers in soil**. Department of Soil Science, Lincoln University. Disponível em: <http://nzic.org.nz/ChemProcesses/soils/2D.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2015.
- [17] CORREIA, B. L. **Formas de fósforo em Latossolo sob cana-de-açúcar colhida sem queima**. 2010. 103 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.
- [18] COSTA, V. L. **Formas de fósforo e seu transporte pela enxurrada num Latossolo que recebeu lodo de esgoto**. 2008. 105 p. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) - Instituto Agrônomo de Campinas, Campinas, 2008.
- [19] CUI, H. J.; WANG, M. K.; FU, M. L.; CI, E. Enhancing phosphorus availability in phosphorus-fertilized zones by reducing phosphate adsorbed on ferrihydrite using rice straw-derived biochar. **Journal of Soils and Sediments**, v. 11, p. 1135-1141, 2011.
- [20] DIXON, J. B. Kaolin and serpentine group minerals. In: DIXON, J. B.; WEED, S. B. (ed.). **Minerals in soil environments**. 2. ed. Madison: Soil Science Society of America, 1989. p. 467-525.
- [21] DONAGEMMA, G. K.; RUIZ, H. A.; FONTES, M. P. F.; KER, J. C.; SCHAFFER, C. E. G. R. Dispersão de Latossolos em resposta à utilização de pré-tratamentos na análise textural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 765-772, 2003.
- [22] DUBUS, I. G.; BECQUER, T. Phosphorus sorption and desorption in oxide-rich Ferasols of New Caledonia. **Australian Journal of Soil Research**, v. 39, p. 403-414, 2001.

- [23] ESPINOZA, W.; GAST, R. G.; ADAMS JUNIOR, R. S. Charge characteristics and nitrate retention by two andepts from South-Central Chile. **Soil Science Society of America Journal**, v. 39, p. 842-846, 1975.
- [24] FAQUIN, V. **Nutrição Mineral de Plantas**. Lavras: UFLA / FAEPE, 2005. Curso de Pós-Graduação “Lato Sensu” (Especialização) a Distância: Solos e Meio Ambiente.
- [25] FARIAS, D. R.; OLIVEIRA, F. H. T.; SANTOS, D.; ARRUDA, J. A.; HOFFMANN, R. B.; NOVAIS, R. F. Fósforo em solos representativos do estado da Paraíba. I - Isotermas de adsorção e medidas do fator capacidade de fósforo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 623-632, 2009.
- [26] FONTANA, A.; GERVASIO, M. P.; SALTON, J.; LOSS A.; CUNHA T. Fósforo remanescente e correlação com as substâncias húmicas em um Latossolo vermelho sob diferentes sucessões de cultura em plantio direto. **Revista Brasileira de Agrociencia**, v. 14, p. 161-166, 2008.
- [27] FONTES, M. P. F.; CAMARGO, O. A.; SPOSITO, G. Eletroquímica das partículas coloidais e sua relação com a mineralogia de solos altamente intemperizados. **Scientia Agricola**, v. 58, p. 627-646, 2001.
- [28] GATIBONI, L. C.; BRUNETTO, G.; KAMINSKI, J.; RHEINHEIMER, D. S.; CERETTA, C. A.; BASSO, C. J. Formas de fósforo no solo após sucessivas adições de dejetos líquidos de suínos em pastagem natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 1753-1761, 2008.
- [29] GUPPY, C. N.; MENZIES, N. W.; MOODY, P. W.; BLAMEY, F. P. C. Competitive sorption reactions between phosphorus and organic matter in soil: a review. **Australian Journal of Soil Research**, Melbourne, v. 43, p. 189-202, 2005.
- [30] HAVLIN, J. L.; TISDALE, S. L.; NELSON, W. L.; BEATON, J. D. **Soil fertility and fertilizers: an introduction to nutrient management**. 7. ed. New Jersey: Pearson Prentice Hall, 2005. 528 p.
- [31] HEES, P. A. W.; LUNDSTROM, U. S.; GIESLER, R. Low molar weight organic acids and their Al-complexes in soil solution-composition, distribution and seasonal variation in three podzolized soils. **Geoderma**, v. 94, p. 173-200, 2000.
- [32] HINGSTON, F. J.; POSNER, A. M.; QUIRK, J. P. Anion adsorption by gibbsite and goethite. 1. The role of the proton in determining the adsorption envelopes. **Journal of Soil Science**, v. 23, p. 177-192, 1972.
- [33] HUANG, X.; CHEN, Y.; SHENKER, M. Solid phosphorus phase in aluminum and iron treated biosolids. **Journal of Environmental Quality**, v. 36, p. 549-556, 2007.
- [34] HUNT, J.; OHNO, T.; HE, Z.; HONEYCUTT, C.; DAIL, D. B. Inhibition of phosphorus sorption to goethite, gibbsite, and kaolin by fresh and decomposed organic matter. **Biology and Fertility of Soils**, v. 44, p. 277-288, 2007.
- [35] KÄMPF, N.; CURTI, N. Argilominerais em Solos Brasileiros. In: CURTI, N.; MARQUES, J. J. G. D. S. E. M.; GUILHERME, L. R. G.; LIMA, J. M. D.; LOPES, A. S.; ALVAREZ V., V. H. **Tópicos em ciência do solo III**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. p. 1-54.
- [36] LAL, R. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. **Science**, v. 304, p. 1623-1627, 2004.
- [37] LANGMUIR, D. Techniques of estimating thermodynamic properties of some aqueous complexes of geochemical interest. In: JENNE, E. A. (ed.). **Chemical modeling in aqueous systems, speciation, sorption, solubility and kinetics**. Washington: American Chemistry Society, 1979. p. 353-387.
- [38] LIMA, P. A. **Transporte de fósforo em solo arenoso adubado com esterco bovino**. 2012. 68 p. Tese (Doutorado em Tecnologias Energéticas e Nucleares) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2012.
- [39] MARQUES, J. S. **Adsorção de fósforo em Latossolo e Argissolo misturado com carbono pirolisado**. 2016. 42 p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Federal do Acre, Rio Branco, 2016.
- [40] MATIAS, G. C. S. **Eficiência agrônômica de fertilizantes fosfatados em solos com diferentes capacidades de adsorção de fósforo e teores de matéria orgânica**. 2010. 174 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.
- [41] McBRIDE, M. B. **Environmental chemistry of soils**. New York: Oxford University Press, 1994. 406 p.

- [42] MEHLICH, A. The significance of percentage base saturation and pH in relation to soil differences. **Soil Science Society of America, Proceedings**, v. 7, p. 167-173, 1942.
- [43] MELLO, F. A. F. *et al.* **Fertilidade do solo**. São Paulo: Nobel, 1983.
- [44] MULJADI, D.; POSNER, A. M.; QUIRK, J. P. The mechanism of phosphate adsorption by kaolinite, gibbsite, and pseudoboehmite. Part I. The isotherms and the effect of pH on adsorption. **Journal of Soil Science**, v. 17, p. 222-229, 1966a.
- [45] MULJADI, D.; POSNER, A. M.; QUIRK, J. P. The mechanism of phosphate adsorption by kaolinite, gibbsite, and pseudoboehmite. Part II. The location of the adsorption sites. **Journal of Soil Science**, v. 17, p. 230-237, 1966b.
- [46] MULJADI, D.; POSNER, A. M.; QUIRK, J. P. The mechanism of phosphate adsorption by kaolinite, gibbsite, and pseudoboehmite. Part III. The effect of temperature on adsorption. **Journal of Soil Science**, v. 17, p. 238-247, 1966c.
- [47] NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa: UFV, 1999. 399 p.
- [48] NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J.; NUNES, F. N. Fósforo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 471-550.
- [49] OBERSON, A.; JONER, E. J. Microbial turnover of phosphorus in soil. In: TURNER, B. L.; FROSSARD, E.; BALDWIN, D. S. (ed.). **Organic phosphorus in the environment**. Cambridge: CABI Publishing, 2005. p. 133-164.
- [50] OBURGER, E.; JONES, D. L.; WENZEL, W. W. Phosphorus saturation and pH differentially regulate the efficiency of organic acid anion-mediated P solubilization mechanisms in soil. **Plant and Soil**, v. 341, p. 363-382, 2011.
- [51] OLATUYI, S. O.; AKINREMI, O. O.; FLATEN, D. N.; CROW, G. H. Accompanying cations and anions affect the diffusive transport of phosphate in a model calcareous soil system. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 89, p. 179-188, 2009.
- [52] OLIVEIRA, C. M. B.; GATIBONI, L. C.; MIQUELLUTI, D. J.; SMYTH, T. J.; ALMEIDA, J. A. Capacidade máxima de adsorção de fósforo e constante de energia de ligação em Latossolo Bruno em razão de diferentes ajustes do modelo de Langmuir. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p. 1805-1815, 2014.
- [53] OTABBONG, E.; PERSSON, J.; IAKIMENKO, O.; SADOVNIKOVA, L. The Ultuna long-term soil organic matter experiment. **Plant Soil**, v. 195, p. 17-93, 1997.
- [54] PARFITT, R. L. Anion adsorption by soils and soil materials. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 30, p. 1-50, 1978.
- [55] PARKS, G. A.; BRUYN, P. L. The zero point of charge of oxides. **Journal of Physical Chemistry**, Ithaca, v. 66, p. 1967-1972, 1962.
- [56] QUISPE, J. F. S. **Eficiência agrônômica de fosfatos com solubilidade variável em água em solos distintos quanto a capacidade de fixação de fósforo**. 2004. 57 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.
- [57] RANNO, S. K.; SILVA, L. S.; GATIBONI, L. C.; RHODEN, A. C. Capacidade de adsorção de fósforo em solos de várzea do estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 21-28, 2007.
- [58] REIS, J. V.; ALVAREZ V., V. H.; DURIGAN, R. D.; PAULUCIO, R. B.; CANTARUTTI, R. B. Interpretation of soil phosphorus availability by Mehlich-3 in soils with contrasting phosphorus buffering capacity. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 44, e0190113, 2020.
- [59] RIJTEMA, P. E.; GROENENDIJK, P.; KROES, J. G. Environmental impact of land use in rural regions: the development, validation and application of model tools for management and policy analysis. **Imperial College Press**, v. 1, p. 89-131, 1999.
- [60] ROGERI, D. A.; GIANELLO, C.; BORTOLON, L.; AMORIM, M. B. Substitution of clay content for P-

remaining as an index of the phosphorus buffering capacity for soils of Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 40, e0140535, 2016.

- [61] SALCEDO, I. H.; BERTINO, F.; SAMPAIO, E. V. S. B. Reactivity of phosphorus in Northeastern Brazilian soils assessed by isotopic dilution. **Soil Science Society of America Journal**, v. 55, p. 140-145, 1990.
- [62] SANCHEZ, P. A.; UEHARA, G. Management considerations for acid soils with high phosphorus fixation capacity. In: KHASAWNEH, F.E.; SAMPLE, E.C.; KAMPRATH, E.J. (ed.). **The role of phosphorus in agriculture**. Madison: ASA; CSSA; SSSA, 1980. p. 471-514.
- [63] SANTOS, S. R. **Dinâmica do fósforo no solo em função da adição de ácidos orgânicos de baixa massa molar**. 2016. 67 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2016.
- [64] SANYAL, S. K.; DE DATTA, S. K. Chemistry of phosphorus transformations in soil. **Advances in Soil Science**, New York, v. 16, p. 1-120, 1991.
- [65] SHARPLEY, A. N.; HALVORSON, A. D. The management of soil phosphorus availability and its transport in agricultural runoff. In: LAL, R. (ed.). **Soil processes and water quality**. Boca Raton: Lewis Publishers, 1994. p. 1-84.
- [66] SILVA, V.; MOTTA, A. C. V.; MELO, V. F.; LIMA, V. C. Variáveis de acidez em função da mineralogia da fração argila do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 551-559, 2008.
- [67] SIMS, J. T.; PIERZYNSKI, G. M. Chemistry of phosphorus in soils. In: TABATABAI, M. A.; SPARKS, D. L. **Chemical processes in soils**. Madison: Soil Science Society of America, 2005. p. 151-192.
- [68] SMITH, B. H.; EMERSON, W. W. Exchangeable aluminum in kaolinite. **Australian Journal of Soil Research**, v. 14, p. 45-53, 1976.
- [69] SOUZA, D. M. G.; LOBATO, E. Adubação fosfatada em solos da região do Cerrado. **Informações Agronômicas**, Planaltina, v. 102, p. 1-16, 2003. Encarte Técnico.
- [70] SOUZA, J. A.; CURI, N.; GUEDES, G. A. A. Relação entre mineralogia e adsorção de fósforo em alguns Latossolos sob Cerrado do planalto central. **Ciência e Prática**, v. 15, p. 103-111, 1991.
- [71] SPARKS, D. L. Sorption phenomena on soils. In: SPARKS, D.L. (ed.). **Environmental soil chemistry**. San Diego: John Wiley & Sons, 1995. p. 99-139.
- [72] SPOSITO, G. **The chemistry of soils**. New York: Oxford University Press, 1989. 277 p.
- [73] STEVENSON, F. J. (ed.). **Nitrogen in agricultural soils**. Madison: American Society of Agronomy, 1986. 940 p.
- [74] TIRLONI, C.; VITORINO, A. C. T.; NOVELINO, J. O.; TIRLONI, D.; COIMBRA, D. S. Disponibilidade de fósforo em função das adições de calagem e de um bioativador do solo. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 33, n. 4, p. 977-984, 2009.
- [75] UNGERA, P. W.; STEWARTA, B. A.; PARRB, J. F.; SINGHC, R. P. Crop residue management and tillage methods for conserving soil and water in semi-arid regions. **Soil & Tillage Research**, v. 20, p. 219-240, 1991.
- [76] VALLADARES, G. S.; PEREIRA, M. G.; ANJOS, L. H. C. Phosphate sorption in low activity clay soils. **Bragantia**, v. 62, p. 111-118, 2003.
- [77] VAN DER ZEE, S. E. A. T. M.; VAN RIEMSDIJK, W. H. Model for long-term phosphate reaction kinetics in soil. **Journal of Environmental Quality**, v. 17, p. 3541, 1988.
- [78] VYAS, P.; GULATI, A. Organic acid production *in vitro* and plant growth promotion in maize under controlled environment by phosphate-solubilizing fluorescent *Pseudomonas*. **BMC Microbiology**, v. 9, p. 174-188, 2009.
- [79] WADT, P. G. S.; SILVA, L. M. **Determinação do fósforo remanescente para a avaliação da disponibilidade de fósforo em solos do estado do Acre**. Rio Branco, AC: Embrapa Acre, 2011. 5 p. (Embrapa Acre. Comunicado Técnico, 178).

Autores

**EZEQUIEL REDIN (ORGANIZADOR)**

Curso Superior de Tecnologia em Agropecuária: Sistemas de Produção (UERGS) - CREA RS 160488; Bacharelado em Administração (ULBRA); Licenciatura plena para a Educação Profissional (UFSM); Licenciatura em Filosofia (UFSM); Licenciatura em Sociologia (Unip); Pós-graduação em Gestão Pública Municipal (UFSM); Pós-graduação em Tecnologias de Informação e Comunicação aplicadas à Educação (UFSM); Pós-graduação em Ensino de Sociologia no Ensino Médio (UFSM); Pós-graduação em Ensino de Filosofia no Ensino Médio (UFSM); Mestrado e Doutorado em Extensão Rural (PPGExR/UFSM); Editor da Revista Extensão Rural (UFSM). Atualmente é Professor do Departamento de Ensino do Colégio Politécnico da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) e Professor Permanente do Programa de Pós-graduação em Estudos Rurais (PPGER) da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM), Campus Diamantina, MG. É avaliador credenciado do Sistema Nacional de Avaliação da Educação Superior (BASIS) do Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira - INEP/MEC.

**ALAIANA MARINHO FRANCO**

Mestre em Ensino em Ciência e Saúde - UFT

**ANA LUIZA DA SILVA MENDES**

Técnica em Agropecuária, Discente do curso de Agronomia do IFGoiano Campus Urutai

**ANGELICA MARQUETOTTI SALCEDO VIEIRA**

Doutora em Engenharia Química - UFSCar

**ANTÔNIO FRANCISCO DE MENDONÇA JUNIOR**

Professor do Curso de Agronomia da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE). Doutor em Agronomia - Fitotecnia pela Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA). Desenvolve pesquisas nas áreas de avaliação, caracterização e biometria vegetal.

**BRUNO NEUTZLING FRAGA**

Possui graduação em PEG Professores para Educação Profissional pela Universidade Federal de Santa Maria (2013), graduação em Zootecnia pela Universidade Federal de Santa Maria(2008), mestrado em Programa de Pós-Graduação em Zootecnia pela Universidade Federal de Santa Maria(2011), doutorado em Zootecnia pela Universidade Federal de Santa Maria(2014) e curso-técnico-profissionalizante em Técnico em Agropecuária pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul(2002). Atualmente é Revisor de periódico da Ciência Rural (UFSM. Impresso), Professor Adjunto da Universidade Federal do Pampa, Revisor de periódico da REVISTA BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, Revisor de periódico da PESQUISA AGROPECUARIA BRASILEIRA, Revisor de periódico do ARQUIVO BRASILEIRO DE MEDICINA VETERINARIA E ZOOTECNIA, Revisor de periódico da Revista Brasileira de Tecnologia Agropecuária, Revisor de periódico da Andrologia, Revisor de periódico da ACTA SCIENTIARUM. ANIMAL SCIENCES, Revisor de periódico da REVISTA BRASILEIRA DE SAÚDE E PRODUÇÃO ANIMAL (UFBA), Revisor de periódico da Animal Production Science e Revisor de periódico da Brazilian Archives of Biology and Technology.

**CAMILO JOSÉ RODRIGUES DALBÓ**

Discente/Programa de Mestrado em Proteção de Plantas, IF Goiano - Campus Urutaí,

**CARLOS GABRIEL XAVIER DOURADO**

Discente do curso Técnico em Agropecuária do IFGoiano Campus Urutai

**CARLOS ROBERTO SILVA DE OLIVEIRA**

Doutor em Agronomia - Melhoramento genético de plantas na Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), com período sanduíche na Unidade de Pesquisa em Ecofisiologia e Genômica Funcional da Videira (EGFV) do Instituto Nacional de Pesquisa em Agricultura, Alimentação e Meio Ambiente (INRAE), em Bordeaux na França. É pós-graduado em Docência na Educação Profissional Técnica de Nível Médio pelo Instituto Federal do Espírito Santo (IFES - Campus Colatina) e em Pós-Colheita em Produtos Hortifrutícolas pelo Instituto Federal Sertão Pernambucano (IFSertãoPE).

**CAROLINE CRIVELARO DE OLIVEIRA**

Mestranda em Ciência de Alimentos - UEM

**DANIELA D'ORAZIO BORTOLUZZI**

Engenheira Agrícola pela Universidade Estadual de Maringá - UEM, Campus do Arenito em Cidade Gaúcha (2016). Foi estagiária na EMBRAPA Agrossilvipastoril em 2016. Mestre em Agronomia (2019) pelo Programa de Pós Graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Maringá (PGA/UEM - CAPES 6) na área de concentração Solos e Nutrição de Plantas, com estudo avaliando a variabilidade espacial e temporal do armazenamento de água no solo, em aportes de água com alta e baixa uniformidade, utilizando técnicas geoestatísticas voltadas para agricultura de precisão. Doutora em Agronomia (2023) pelo mesmo PPG. Atualmente é professora no Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Maringá, ministrando disciplinas de Topografia, Geoprocessamento e Meteorologia Agrícola.

**DANIELE DE SOUZA TERASSI**

Engenheira Agrícola pela Universidade Estadual de Maringá - UEM (2016). Mestre em Agronomia (2020) - Produção Vegetal pelo Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Maringá (PGA/UEM). Doutora em Agronomia (2024) em Produção Vegetal com ênfase em Irrigação pelo PGA/UEM.

**DEBORA JANINE SILVA GONÇALVES**

Engenheira Agrônoma, Discente do Mestrado em Proteção de Plantas do IFGoiano Câmpus Urutaí

**DOUGLAS ROMEU DA COSTA**

Possui graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental pela Universidade Federal de Viçosa (2004), Mestrado em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa (2006), Doutorado em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa (2010) e Pós-Doutorado em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa (2012). Possui experiência na área de Engenharia Agrícola, com ênfase em Energização Rural, atuando principalmente nos seguintes temas: energização rural, secagem de grãos, secagem de café, desenvolvimento de geradores de energia térmica.

**EDMILSON CESAR BORTOLETTO**

Possui graduação em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Maringá (2002), mestrado (2005) e doutorado (2007) em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Maringá. É Professor Associado B da Universidade Estadual de Maringá. Foi Coordenador do curso de Engenharia Agrícola (2013/2016 e 2018/2020). Desde Outubro/2022 é Diretor do Campus do Arenito (UEM/Cidade Gaúcha). Tem experiência em recursos hídricos, tratamento de efluentes, controle de poluição e utilização de efluentes na agricultura.

**EDSON TRINDADE DA SILVA SÁ**

Discente/Técnico agropecuária integrado ao ensino médio, IF Goiano - Campus Urutaí.

**EDUARDA NEVES FAVARÃO**

Graduanda em Agronomia pela Universidade Estadual de Maringá - UEM, Campus Regional de Umuarama. Estagiária na Cooperativa COAMO em 2024.

**ELAYNE DOS SANTOS ARAÚJO**

Especialista em Saberes e Práticas da Química

**EMILLY BRITO FERREIRA**

Mestranda em Ciência de Alimentos - UEM

**ENRIQUE IRALA LOPES**

Engenheiro Agrônomo formado pela Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA/Itaqui-RS).

**ERICA FERNANDES LEÃO ARAÚJO**

Docente/Doutor, IF Goiano - Campus Urutaí

**FRANCISCO ITALO FERREIRA FERNANDES**

Técnico em Agropecuária, Discente do curso de Agronomia do IFGoiano Campus Urutai

**FRANCISMARY BARROS DA SILVA**

Doutoranda em Melhoramento de Plantas na Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), com foco em novas variedades de uva de mesa sem sementes produzidas no Vale do São Francisco. Estuda o efeito de diferentes porta-enxertos na fenologia e período de repouso das uvas em condições tropicais semiáridas, com especial atenção para fisiologia e bioquímica vegetal.

**GLEINA COSTA SILVA ALVES**

Engenheira Agrônoma, Doutora em Produção Vegetal, Nematologista, Professora do IFGoiano Campus Urutai

**GUILHERME MOSENA DE SOUSA**

Discente/Técnico agropecuária integrado ao ensino médio, IF Goiano - Campus Urutaí,

**JOÃO ANTONIO BARBOSA SILVA**

Discente/Programa de Mestrado em Proteção de Plantas, IF Goiano - Campus Urutaí

**JOÃO HENRIQUE JESUS ALMEIDA**

Graduando em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Sergipe (UFS), com áreas de interesse em armazenamento e pós-colheita de grãos, tecnologia agrícola e desenvolvimento sustentável. Buscando soluções inovadoras para otimização de processos de armazenagem e preservação da qualidade pós-colheita.

**JORGE ANTÔNIO VIEIRA GONÇALVES**

Técnico em Eletrotécnica, Graduado em Física pela Universidade Federal de Sergipe, Mestre em Ciência e Engenharia de Materiais, e Doutor em Ciência e Engenharia dos Materiais; há vinte e cinco anos desenvolve programas para computação gráfica para áreas de engenharia, arquitetura e construção. Atualmente é professor da Universidade Federal de Sergipe.

**JOSÉ GABRIEL FREITAS DE LIMA**

Graduado em Engenharia Agrônoma pela Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB)

**JULIE SUZAN DA SILVA**

Mestranda em Engenharia de Alimentos - UEM

**JÚLIO CÉSAR AZEVEDO NÓBREGA**

Doutor em Ciência do Solo pela Universidade Federal de Lavras (UFLA) e professor da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB)

**KETHLEEN BRITO FERREIRA**

Médica - UPE

**LEIDY XIMENA FIGUEROA COSSIO**

Engenheira Agrícola, Discente do Mestrado em Proteção de Plantas do IFGoiano Câmpus Urutaí

**LUANA DA LUZ NASCIMENTO**

Licenciada em Ciências Biológicas, Universidade de Pernambuco (UPE) - Campus Petrolina.

**MARCOS ANDREI CUSTODIO DA CUNHA**

Doutorando em Melhoramento de Plantas na Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE).

**MARCOS SPERONI CERON**

Zootecnista formado pela Universidade Federal de Santa Maria (2010), possui mestrado em Zootecnia pela UFSM (2013), Licenciatura em Zootecnia pelo Programa Especial de Graduação de Formação de Professores para a Educação Profissional da UFSM (2013), Doutorado em Zootecnia - Produção Animal pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (2018). Tem experiência na área de zootecnia, com foco em manejo, nutrição e alimentação de suínos. Atuou como professor colaborador no Curso Técnico em Agropecuária do Colégio Politécnico da Universidade Federal de Santa Maria. Foi professor do Departamento de Agronomia da Universidade José Rosário Vellano - UNIFENAS (2018-2022). Atualmente é professor da Escola de Veterinária e Zootecnia da Universidade Federal de Goiás (UFG), responsável pela disciplina Suinocultura. Também é revisor das revistas Ciência Rural e Ciência Animal Brasileira.

**MELINA KORRES RAIMUNDI**

Engenheira Agrônoma, Doutora em Fitopatologia, Professora do IFGoiano Campus Urutaí

**MIRYA BEZERRA VIANA MARINHO**

Especialista em Biologia Educacional - Faculdade Rio Sono.

**PAOLLA CARDOSO BORGES FRAZÃO**

Técnica em Agropecuária, Discente do curso de Agronomia do IFGoiano Campus Urutai

**PATRÍCIA COELHO DE SOUZA LEÃO**

Doutora em Genética e Melhoramento de Plantas pela Universidade Federal de Viçosa (UFV), com doutorado sanduíche na Universidade da Califórnia em Davis, EUA. Especialista em Viticultura e Enologia pela Universidade de Cadiz/IFAPA/OIV, Espanha. Atualmente é Pesquisador A da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Embrapa Semiárido, em Petrolina, PE. Coordenadora de diversos projetos de pesquisa em viticultura com ênfase em Recursos Genéticos, Melhoramento Vegetal e Manejo da videira.

**PITHER JHOEL JAVIER SUCARI**

Doutorando em Ciência de Alimentos UEM

**ROZILDA VIEIRA OLIVEIRA**

Doutora em Energia e Ambiente pela Universidade Federal da Bahia (UFBA) e professora da Universidade do Estado da Bahia (UNEB)

**TARSIZIO DA SILVA SANTOS**

Graduação em Ciências Biológicas Licenciatura pela Universidade Federal de Sergipe (2003). Bacharel em Ciências Biológicas pela Universidade Federal de Sergipe (2014). Especialista Lato Sensu em Ensino de Biologia pela Universidade Federal de Sergipe (2009). Especialista Lato Sensu em Recursos Hídricos e Meio Ambiente pela Universidade Federal de Sergipe (2022). Mestre em Biotecnologia em Recursos Naturais pela Universidade Federal de Sergipe (2013). Doutor em Saúde e Meio Ambiente pela Universidade Tiradentes (2020). Professor na rede pública e particular dos ensinos Fundamental 2, Médio e Superior. Atualmente é professor titular docente - Secretaria de Estado da Educação (SE), atuando principalmente no seguinte tema: ensino de Ciências Biológicas. E atualmente cursa graduação em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Sergipe e Saneamento Ambiental pelo Instituto Federal de Sergipe.

**THAIS VIANA FONSECA**

Graduanda em Agronomia pela Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA/Itaqui-RS). Bolsista do Programa de Educação Tutorial (PET) Agronomia. Tesoureira do Centro de Estudantes de Agronomia da Unipampa (CEAU) e integrante do Grupo de Pesquisa em Suinocultura (GPSUI).

**THIAGO HERBERT SANTOS OLIVEIRA**

Mestre em Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Sergipe - UFS. Possui Pós-Graduação Lato Sensu em Engenharia de Segurança do Trabalho. Bacharel em Engenharia Civil. Atualmente, servidor público fazendo parte do corpo técnico da Universidade Federal de Sergipe no cargo: Técnico em Edificações.

**VITÓRIA RAMOS CRUZ DA SILVA**

Estudante de Graduação em Licenciatura em Ciências Biológicas, Universidade de Pernambuco (UPE) - Campus Petrolina.

**WASHINGTON LUIZ COTRIM DUETE**

Doutor em Agronomia pela Universidade de São Paulo (USP) e professor da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB)

**YESENIA MILAGROS TURPO MAMANI**

Engenheira Agroindustrial , UNAP - Peru

[www.poisson.com.br](http://www.poisson.com.br)  
[contato@poisson.com.br](mailto:contato@poisson.com.br)

@editorapoisson



<https://www.facebook.com/editorapoisson>

