

# BJAS

**v. 6 n. 2 (2024)**  
e-ISSN: 2675-1712

**EDITOR-CHEFE**

Dr. Luciano Pires de Andrade  
*Universidade Federal Rural de Pernambuco - Brasil*

**EDITOR ASSISTENTE**

Dra. Valcilene Rodrigues da Silva  
*Universidade Federal do Agreste de Pernambuco - Brasil*

**EDITORES SETORIAIS**

**AGROECOLOGIA E  
SUSTENTABILIDADE**

PhD. Xavier Simón Fernandez  
*Universidade de Vigo – Espanha*

**CLIMA E RECURSOS HÍDRICOS**

Dr. Lucivânio Jatobá de Oliveira  
*Universidade Federal de Pernambuco –  
Brasil*

**AMBIENTE E SOCIEDADE**

Dr. Renato José Reis Molica  
*Universidade Federal do Agreste de  
Pernambuco – Brasil*

PhD. Manuela Abelho

*Instituto Politécnico de Coimbra –  
Portugal*

**TECNOLOGIAS AMBIENTAIS**

Dra. Suzana Pedroza da Silva  
*Universidade Federal do Agreste de  
Pernambuco  
– Brasil*

PhD. Marta Alexandra dos Reis

Lopes  
*Universidade de Coimbra - Portugal*

**EDITORES DE VERNÁCULO**

Dr. Oséas Bezerra Viana Junior  
*Universidade Federal Rural de Pernambuco  
– Brasil*

Dra. Izabel Souza do Nascimento  
*Universidade Federal do Rio Grande do  
Norte – Brasil*

**EDITOR DE ESTATÍSTICA**

Dr. Romero Luiz Mendonça Sales Filho  
*Universidade Federal Rural de Pernambuco - Brasil*

**EDITORA DE NORMALIZAÇÃO**

MSc. Jaciara Maria Felix  
*Universidade Federal do Agreste de Pernambuco - Brasil*

**EDITOR DE LAYOUT**

Mário Melquiades Silva dos Anjos  
*Universidade Federal do Agreste de Pernambuco - Brasil*

**EDITOR ASSISTENTE JR**

Esp. Lucas Talvane Ferreira Carvalho  
*Universidade Federal do Agreste de Pernambuco - Brasil*

**CAPA**

Horasa Maria Lima da Silva Andrade

## SUMÁRIO

Análise da Poluição Atmosférica no Bairro Maracanã em Santarém/PA.....	4
Biology and behavior of <i>Spodoptera frugiperda</i> (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) and resistance induction in <i>Azospirillum brasilense</i> inoculated maize and silicon application.....	25
Cobertura Vegetal e o Incremento de Matéria Orgânica em Agrossistemas no Semiárido: Uma revisão.....	57
Desenvolvimento Sustentável na Bovinocultura: Uma Análise da Relação entre Pecuária, Qualidade de Vida e Meio Ambiente São Félix do Xingu.....	80
Variabilidade Temporal da Temperatura do Solo em Diferentes Profundidades e sua Relação com Variáveis Meteorológicas no Semiárido Paraibano.....	117

**Análise da Poluição Atmosférica no Bairro Maracanã em Santarém/PA**  
**Analysis of Atmospheric Pollution in the Maracanã neighborhood in Santarém/PA****Analysis of Atmospheric Pollution in the Maracanã neighborhood in Santarém/PA**

Edson Agnaldo Imbelloni Martins<sup>1</sup>, Ana Carla dos Santos Gomes<sup>2</sup>, Sarah Suely Alves Batalha<sup>3</sup>,  
Adriane dos Santos Raiol<sup>4</sup>, Domingas de Oliveira Almeida<sup>5</sup>, Glauce Vitor da Silva<sup>6</sup>

DOI: <https://10.52719/bjas.v6i2.6513>

**Resumo**

A poluição atmosférica pode ser definida como a existência de substâncias, em quantidade capaz de alterar sua composição e equilíbrio na atmosfera, sendo prejudiciais ao meio ambiente e as formas de vida. Os poluentes atmosféricos estão ligados diretamente a problemas ambientais e a saúde. Diante disso esse trabalho teve como objetivos analisar os níveis de PM<sub>2,5</sub> e PM<sub>10</sub> e as condições meteorológicas no bairro Maracanã-Santarém/PA nos meses de abril e maio de 2023. Os dados foram coletados através do Kit de monitoramento e qualidade do ar do projeto Rede Piloto de Inovação da Qualidade do Ar na Região Oeste do Pará: Cuidadores do Ar. Constatou-se que os maiores valores de PM<sub>2,5</sub> e PM<sub>10</sub> foram no mês de maio com 999,90 µg/m<sup>3</sup> e 1830,20 µg/m<sup>3</sup> respectivamente. Foi observado um decréscimo de 1,06°C na média da temperatura de um mês para o outro, e a umidade manteve-se sua média em torno de 65%. Espera-se que os resultados encontrados possam contribuir para o desenvolvimento de estratégias de políticas públicas e ambientais bem como a conscientização da população.

**Palavras-chave:** Amazônia. Material particulado. Poluição do ar.

**Abstract**

Atmospheric pollution can be defined as the existence of a substance, in a quantity capable of altering its composition and balance in the atmosphere, being pertinent to the environment and forms of life. Atmospheric emissions are directly related to environmental and health problems. Therefore, this work aimed to analyze the levels of PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub> and the environmental conditions in the Maracanã-Santarém/PA neighborhood in the months of April and May 2023. The data was collected through the air quality and monitoring kit of the Air Quality Innovation Pilot Network project in the Western Region of Pará: Air Caregivers. It was found that the highest values of PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub> were in the month of May with 999.90

<sup>1</sup> Universidade Federal do Oeste do Pará, Santarém, Pará, Brasil, [edson21imbelloni@gmail.com](mailto:edson21imbelloni@gmail.com)

<sup>2</sup> Universidade Federal do Oeste do Pará, Santarém, Pará, Brasil, [anacarlaseg02@gmail.com](mailto:anacarlaseg02@gmail.com)

<sup>3</sup> Escola de Ensino Técnico do Estado do Pará Francisco Coimbra Lobato, Santarém, Pará, Brasil, [sarah.batalha@docente.sectet.pa.gov.br](mailto:sarah.batalha@docente.sectet.pa.gov.br)

<sup>4</sup> Universidade Federal do Oeste do Pará, Santarém, Pará, Brasil, [adrianeraiol99@gmail.com](mailto:adrianeraiol99@gmail.com)

<sup>5</sup> Universidade Federal do Oeste do Pará, Santarém, Pará, Brasil, [glauce.silva@ufopa.edu.br](mailto:glauce.silva@ufopa.edu.br)

<sup>6</sup> Universidade Federal do Oeste do Pará, Santarém, Pará, Brasil, [glauce.silva@ufopa.edu.br](mailto:glauce.silva@ufopa.edu.br)

$\mu\text{g}/\text{m}^3$  and  $1830.20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  respectively. A decrease of  $1.06^\circ\text{C}$  in the average temperature was observed, and humidity remained at an average of around 65%. It is expected that the results found can contribute to the development of public and environmental policy strategies as well as raising public awareness.

**Keywords:** Air pollution. Amazon. Particulate matter.

### Introdução

A poluição atmosférica pode ser definida como a existência de substâncias, em quantidade capaz de alterar sua composição e equilíbrio na atmosfera, sendo prejudiciais ao meio ambiente e as formas de vida. Desde a Revolução Industrial o homem tem modificado o mundo não apenas visando a sobrevivência, mas em acordo a seus interesses econômicos em detrimento dos danos consequentes. Os processos industriais, a vida nas grandes cidades com tráfego intenso de veículos, a vida cotidiana cercada de equipamentos tecnológicos, todas essas ações humanas modernas geram resíduos que, sem a destinação ou tratamento adequados causam danos ao meio ambiente, mas especialmente a saúde de populações humanas e animais. (Lopes, 2010 & Drumm et al., 2014). Em 2019, ano em que as Academias Nacionais de Ciências e Medicina da África do Sul, Alemanha, Brasil e Estados Unidos da América lançaram uma iniciativa política-científica para a redução da poluição atmosférica, a Organização das Nações Unidas (ONU) elegeu a poluição atmosférica e a mudança do clima, juntas, como o principal tema de atenção à saúde. (ONU, 2019 & Assaf et al., 2019).

Dentre as matérias consideradas poluentes atmosféricos, destacam-se os gases e material particulado proveniente, sobretudo de fontes antrópicas, como os veículos automotores, as indústrias e a incineração de resíduos sólidos e estão ligados diretamente a problemas ambientais e de saúde pública, uma vez que as emissões veiculares, juntamente com as emissões de fontes estacionárias, são as principais responsáveis pela presença dos mais variados compostos na atmosfera. Os poluentes que apresentam maior importância na química da baixa troposfera, podem ser citados: o monóxido de carbono (CO), os óxidos de nitrogênio (NOx), o óxido de enxofre (SO<sub>2</sub>), o ozônio (O<sub>3</sub>), a fumaça e os materiais particulados convencionalmente conhecido pela sigla PM proveniente do inglês *particulate matter*. Essas partículas de aerossóis são observadas na natureza que variam desde alguns nanômetros (como por exemplo, aglomerados moleculares) até algumas centenas de microns (partículas de poeira do solo ou grãos de pólen). As partículas de aerossóis podem ser divididas em dois grupos, referentes ao seu tamanho: particulados com diâmetro maior que  $2,5\mu\text{m}$ , denominados particulados da moda grossa (PM<sub>10</sub>) e aqueles com diâmetros menores

de 2,5µm, chamados de particulados da moda fina (PM<sub>2,5</sub>). (Gomes, 2009; Andrade, 2012; Castro et al., 2013).

O PM 2,5 pode ser o fator de risco ambiental que representa o maior perigo para a saúde pública. O Global Burden of deases (GBD) classifica PM 2,5 como o quinto principal fator de risco para morte, com a exposição a PM 2,5 causando 4,2 milhões de mortes (7,6% das mortes globais) e perda de 10,31 milhões de anos de vida ajustados por incapacidade (4,2% das mortes globais). (Cohen, 2017). Tal como afirma a Organização Mundial de Saúde (OMS), 9 em cada 10 pessoas em áreas urbanas estão expostas a elevados níveis de PM 2,5 (concentração média anual >10 µg/m<sup>3</sup>) provenientes da poluição atmosférica exterior, e cerca de 3 mil milhões de pessoas utilizam combustíveis não renováveis estão expostos a grave poluição do ar interior (Organização Mundial da Saúde [OMS], 2019).

Numerosos estudos epidemiológicos descreveram uma associação entre níveis aumentados de PM 10 e exacerbações de doenças das vias aéreas em pacientes com Doença Pulmonar Obstrutiva Crônica (DPOC) e asma Papa e Dockery (1999). Além disso, estudos de séries temporais mostram que também há aumento de mortes cardiovasculares e de internações hospitalares associadas a aumentos nos níveis de PM, existe uma relação entre exposição crônica a níveis elevados de PM 10 e câncer. (Donaldson et al., 2003)

Fatores variados influenciam diretamente na qualidade do ar, tais como a intensidade e a distribuição dos poluentes na atmosfera, a topografia, as formas de ocupação do solo, bem como pelas condições meteorológicas vigentes (França et al., 2019), como a temperatura do ar, a umidade relativa do ar, a velocidade e a direção dos ventos e a precipitação (Carvalho et al., 2004; Lyra et al., 2006; Waldheim et al., 2006; Guerra et al., 2011). Lyra et al. (2006) atestaram que a elevação da temperatura, o aumento da velocidade do vento e a ascendência da altura da camada de mistura influenciam na diminuição da concentração de poluentes.

Em paralelo às questões ambientais mais amplas e preocupações com impactos de longo prazo, há uma corrente de preocupação imediatista, pois o lançamento de poluentes no ambiente promove implicações sociais e econômicas em curto prazo. Os eventos de queimadas e incêndios florestais tornam os ambientes impactados mais expostos a subsequentes impactos climáticos e antropogênicos, reduzindo a quantidade de biomassa da floresta e conseqüentemente os estoques de carbono, além de causar alterações climáticas (Hargrave, et al., 2013 & Santos et al., 2017). Com a crescente demanda internacional por reduções nas emissões de carbono, controlar o uso indiscriminado de fogo na região pode ser uma eficiente estratégia para reduzir o desmatamento e a emissão de carbono (Thaler et al., 2019). Porém o Brasil registrou 131.327 queimadas florestais até o mês de agosto em 2019.

Só na Amazônia, foram registrados 43.573 focos, segundo o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). A queimada de origem rural proveniente dos poluentes gasosos e do material particulado fino apresentam efeitos diretos para o sistema respiratório. A poluição atmosférica, gerada pela queima de biomassa tem sido associada ao aumento de mortalidade por doenças respiratórias (Mascarenhas et al., 2008).

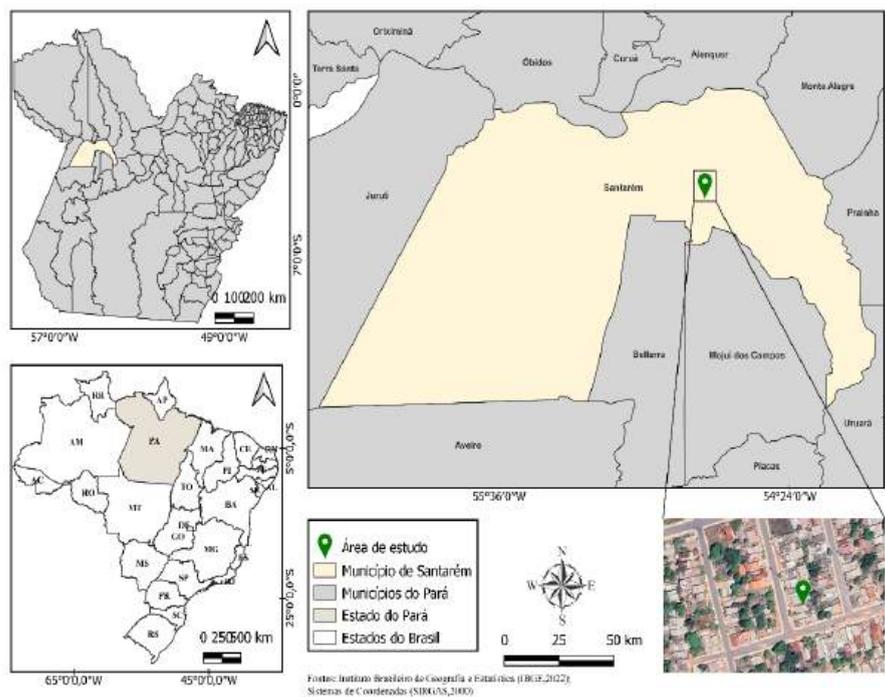
Os vários poluentes contribuem para desequilíbrios ambientais, mas a poluição atmosférica assume protagonismo quando o assunto se refere às doenças respiratórias. Para Gonçalves et al. (2012), este desequilíbrio é influenciado pelo acelerado crescimento populacional, pelas variações no padrão de consumo e pela intensificação das atividades de força econômica, capazes de exercer pressões sobre o nível de qualidade de vida das populações expostas. Essas alterações no uso e na ocupação do solo são responsáveis por emissões expressivas de partículas de aerossóis para a atmosfera por meio das queimadas, tanto de áreas de pastagem quanto de floresta, afetando grupos sociais mais vulneráveis, como crianças e idosos (Barcellos et al., 2009). O ar poluído é significativamente danoso à saúde, dessa forma, se a população está sob atmosfera contaminada, não há alternativas pontuais a serem realizadas, mas sim ações em contextos mais amplos, tendo como objetivo a melhoria da qualidade do ar para todos os indivíduos (Dapper et al. 2016).

A poluição atmosférica é uma questão global que causa grandes perdas econômicas. É particularmente grave nos países em desenvolvimento, nos quais a qualidade do ar tem se deteriorado muito e de forma consistente. Estima-se que no Brasil a degradação da qualidade do ar atmosférico possa causar aproximadamente 20 mil óbitos/ano, valor cinco vezes maior ao de morte causado pelo tabagismo ambiental/passivo, e 10,7 mil mortes/ano resultante da poluição do ar em ambientes internos (Arbex et al., 2012). Os grupos que têm se mostrado mais passível aos efeitos da poluição atmosférica são as crianças e os idosos, apresentando sintomas indicativos como a diminuição da função pulmonar, crescimento do uso de medicamentos, destacando-se os idosos, assim como mudanças no sistema imunológico de pessoas normais (Moreira et al., 2015). Neste contexto o objetivo do trabalho é analisar os níveis de material particulado PM10 e PM2,5 e as condições meteorológicas no Bairro do Maracanã – Santarém/PA nos meses de abril e maio de 2023.

## **Material e Métodos**

A área de estudo foi o bairro Maracanã no município de Santarém, que está localizado a oeste do estado do Pará. População com 306.480 habitantes (IBGE, 2021), sendo o terceiro município paraense mais populoso, ocupa uma área de 22.887.080 km<sup>2</sup>. O bairro é asfaltado, com pouca arborização, possui grande tráfego de veículos e construções de alvenaria, com coordenadas geográficas são: 2°27'02.3"s 54°42'03.3"w (Pereira et al., 2021). O clima da região é quente e úmido, com temperatura média anual variando de 25 a 28 °C com regime pluviométrico de aproximadamente 1.920 mm por ano. As temperaturas mais elevadas ocorrem nos meses de junho a novembro, enquanto o período de maior precipitação pluviométrica é de dezembro a maio. Foram utilizados dados de temperatura do ar (°C), umidade relativa do ar (%), material particulado Pm<sub>2,5</sub> e Pm<sub>10</sub> (µg/m<sup>3</sup>), disponibilizados pelo kit de monitoramento da qualidade do ar do projeto Cuidadores do Ar nos meses de abril e maio de 2023.

Figura 1  
*Mapa da localização do município de estudo*

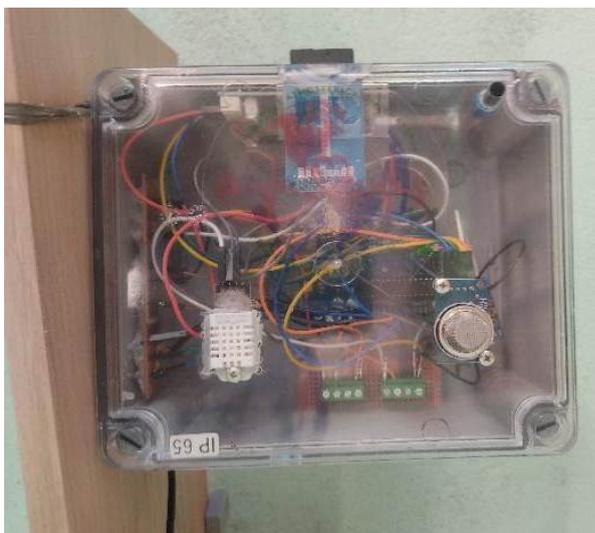


O Kit de monitoramento foi construído com sensores de baixo custo e é composto por um Arduino Uno, um Sensor SDS011 para realizar as medidas de concentrações de material particulado, um Sensor AM2302 para medir temperatura e umidade relativa do ar, um Sensor MQ135 para verificar a presença de gases tóxicos no ambiente, um tubo de metal para a passagem de ar e por fim um cartão de memória onde ficam armazenados os dados coletados

(Figura 2). Trabalhos como de Budde (2018) e Oveira (2015); validaram os sensores utilizados. Devarakonda (2013), propõe o uso de rede de sensores distribuídos e desenvolveu uma rede de sensores para monitoramento da poluição do ar em tempo real.

Figura 2

*Kit de monitoramento do ar*



Fonte:

## Resultados e Discussão

Destaca-se que o mês de abril apresentou o valor máximo do PM<sub>2,5</sub> 646,60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (desvio padrão de 12,57 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), o PM<sub>10</sub> foi de 758,30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (desvio padrão de 15,57 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) concentrações mais de 10 vezes superiores ao recomendado pela legislação ambiental, Andrade et al. (2022) atribui ao comportamento cultural do morador de cidades do interior da Amazônia que ainda utilizam a prática da queima de lixo e biomassa. A temperatura do ar apresentou amplitude térmica de 14,2° C, ressaltando o valor máximo de 40,8°C inversamente a umidade relativa mostrou mínima de 40% mesmo abril pertencente ao período chuvoso da região.

Tabela 1

*Estatística descritiva das variáveis para o mês de abril*

Descritivas	MP <sub>2,5</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	MP <sub>10</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Temperatura do ar (°C)	Umidade Relativa (%)
-------------	---	--	---------------------------	-------------------------

Mínimo	0,01	0,20	26,6	40,10
Mediana	2,60	6,30	30,90	66,90
Desvio Padrão	12,57	15,57	2,94	7,77
Média	4,78	9,64	30,28	64,71
Máximo	646,90	758,30	40,8	95,00

Fonte:

Na Tabela 2, referente ao mês de maio, observa-se também concentrações superiores aos padrões da legislação, o valor máximo do PM<sub>2,5</sub> foi de 999,90 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (desvio padrão 29,71 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), PM<sub>10</sub> 1830,20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , (desvio padrão 33,74 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). A amplitude térmica reduz de abril para maio (11,68 °C) e a umidade continua apresentando mínima em 40,15% o mês de maio pertence ao período de transição do chuvoso para o menos chuvoso na região (Alves, 2023).

Tabela 2  
*Estatística descritiva das variáveis para o mês de maio*

Descritivas	MP <sub>2,5</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	MP <sub>10</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Temperatura do ar (°C)	Umidade Relativa (%)
Mínimo	0,03	0,10	26,05	40,15
Mediana	1,80	4,30	30,80	69,40
Desvio Padrão	29,71	33,74	3,06	7,77
Média	6,05	7,82	29,22	66,94
Máximo	999,90	1830,20	40,90	88,75

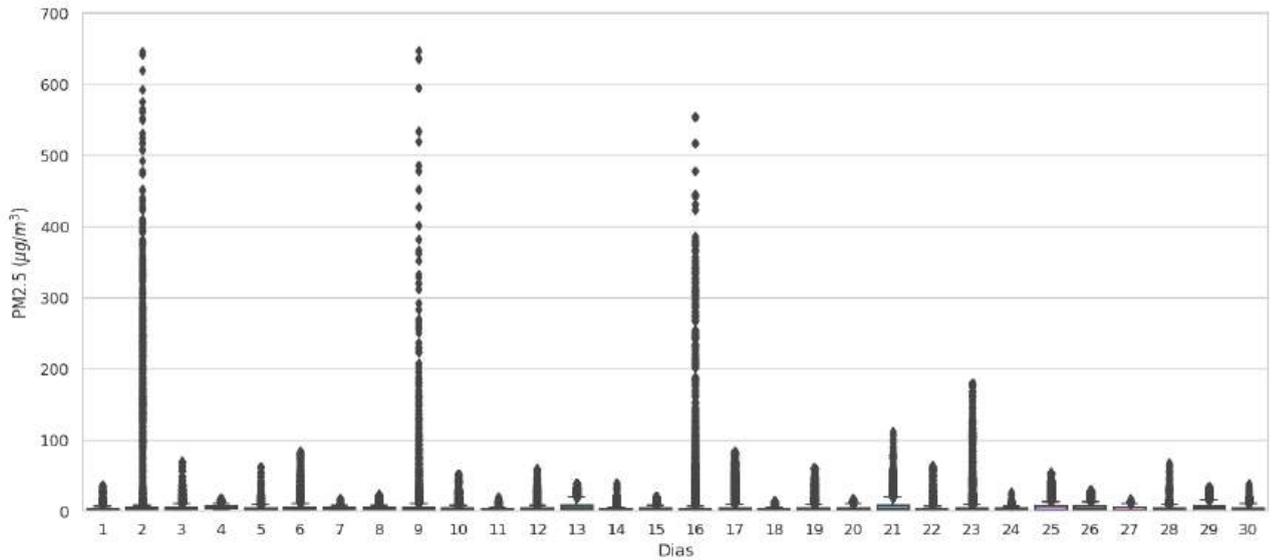
Fonte:

Na figura (3) (a) observa-se que no mês de abril os dias 2, 9 e 16 registraram altas concentrações de material particulado PM<sub>2,5</sub> com valores em torno de 646,90  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 640,90  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  e 575,90  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  respectivamente. De acordo com Emmanuel (2000) esses altos valores podem estar associados a fumaças provenientes de queimas. Na figura (3)(b) podemos

observar a variabilidade do PM<sub>2,5</sub> durante o mês de abril ficou entre 0 e 10 µg/m<sup>3</sup>. Destaca-se os dias 13 e 21 com as maiores variabilidades, vale ressaltar que as médias diárias de todos os dias do mês de ficaram abaixo de 10 µg/m<sup>3</sup>, estando dentro dos limites estabelecidos pela OMS (15 µg/m<sup>3</sup> (Média de 24 horas)).

Figura 3 (a)

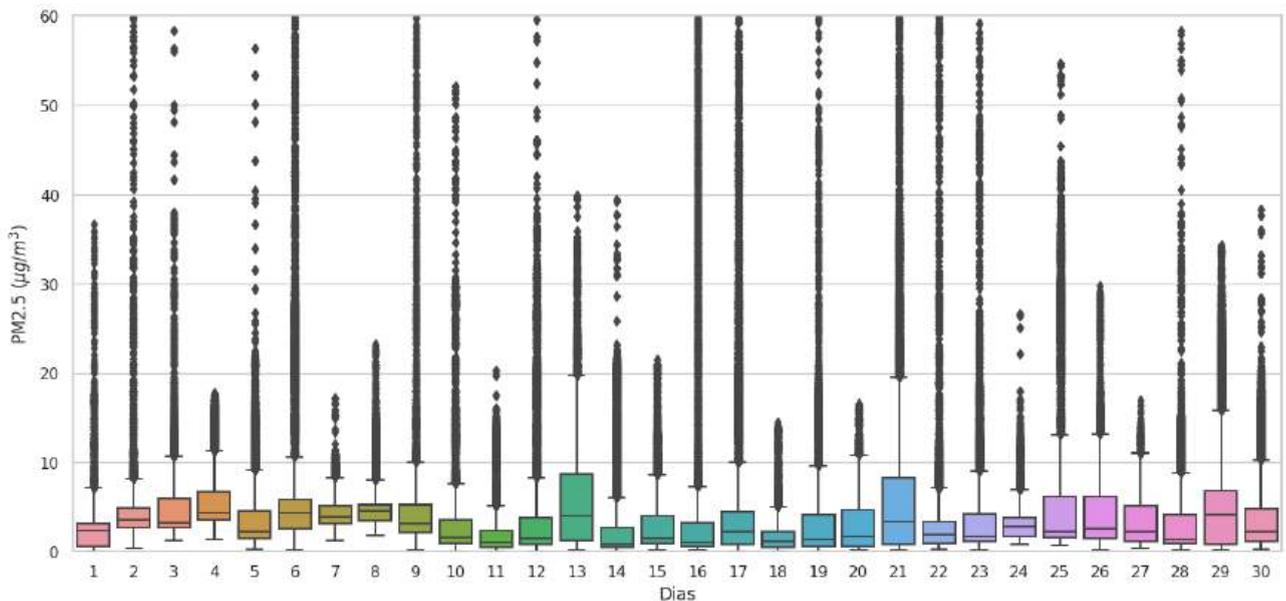
*Comportamento diário de material particulado PM<sub>2,5</sub> para o mês de abril de 2023.*



Fonte:

Figura 3(b)

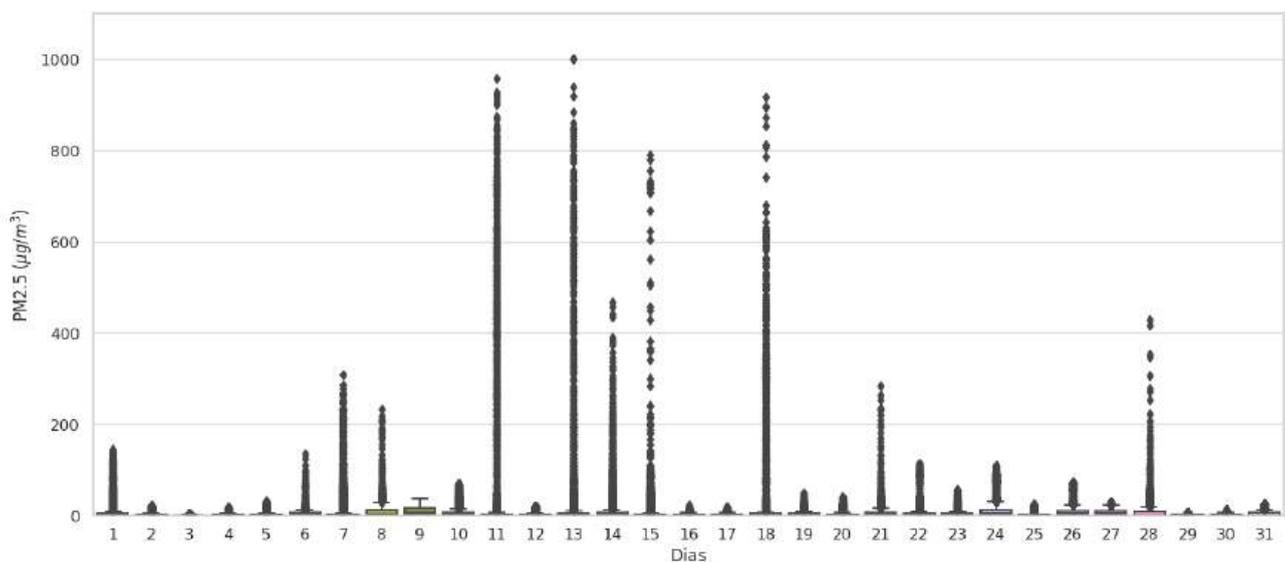
*Comportamento diário de material particulado PM<sub>2,5</sub> com filtro em 60 µg/m<sup>3</sup> para o mês de abril.*



Fonte:

Na figura (4)(a) observa-se que no mês de maio os dias 11, 13, 14, 15 e 18 registraram altas concentrações de material particulado PM<sub>2,5</sub> com destaque para o dia 13 que registou 999,90  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . De acordo com o Índice de Qualidade de Vida do Ar (AQLI), a exposição sustentada a 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  adicionais de PM 2,5 reduz a expectativa de vida em 0,98 anos (Chen et al., 2017). Na figura (4)(b) podemos observar a variabilidade do PM<sub>2,5</sub> durante o mês de maio, destaca-se o dia 9 com a maior variabilidade do mês, não deixando de mencionar que média de todos os dias ficou abaixo de 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Figura 4(a)

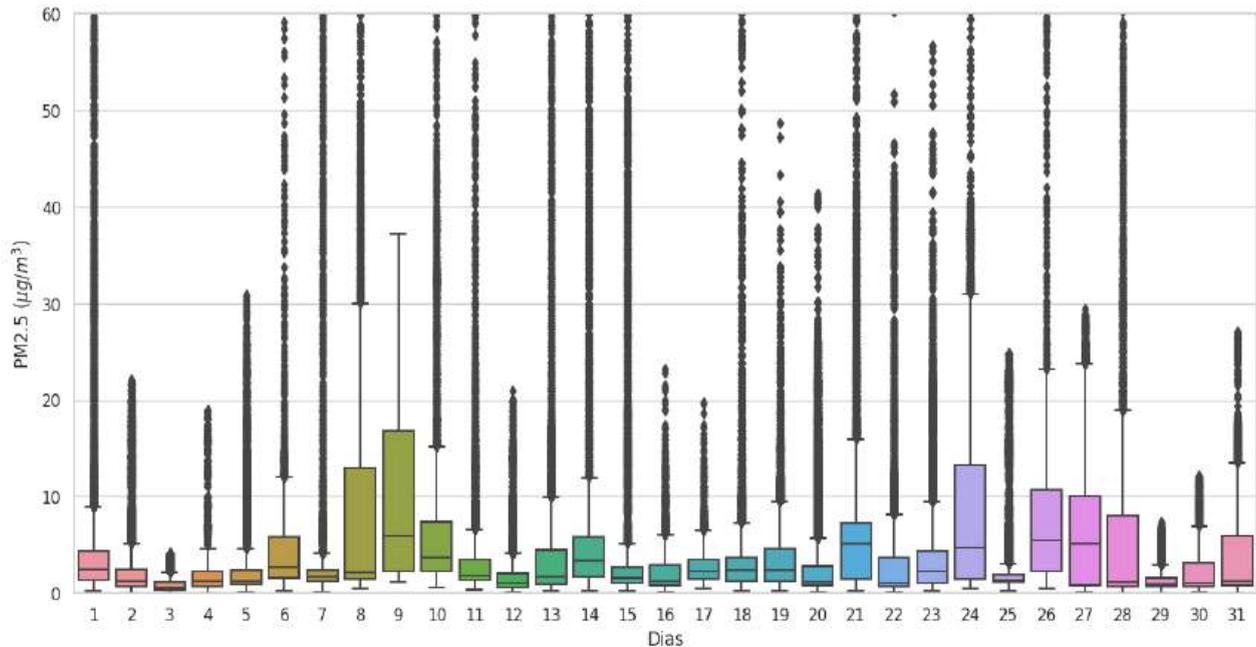


*Comportamento diário de material particulado PM<sub>2,5</sub> para o mês de maio de 2023.*

Fonte:

Figura 4(b)

Comportamento diário de material particulado  $PM_{2,5}$  com filtro em  $60 \mu g/m^3$  para o mês de maio de 2023.

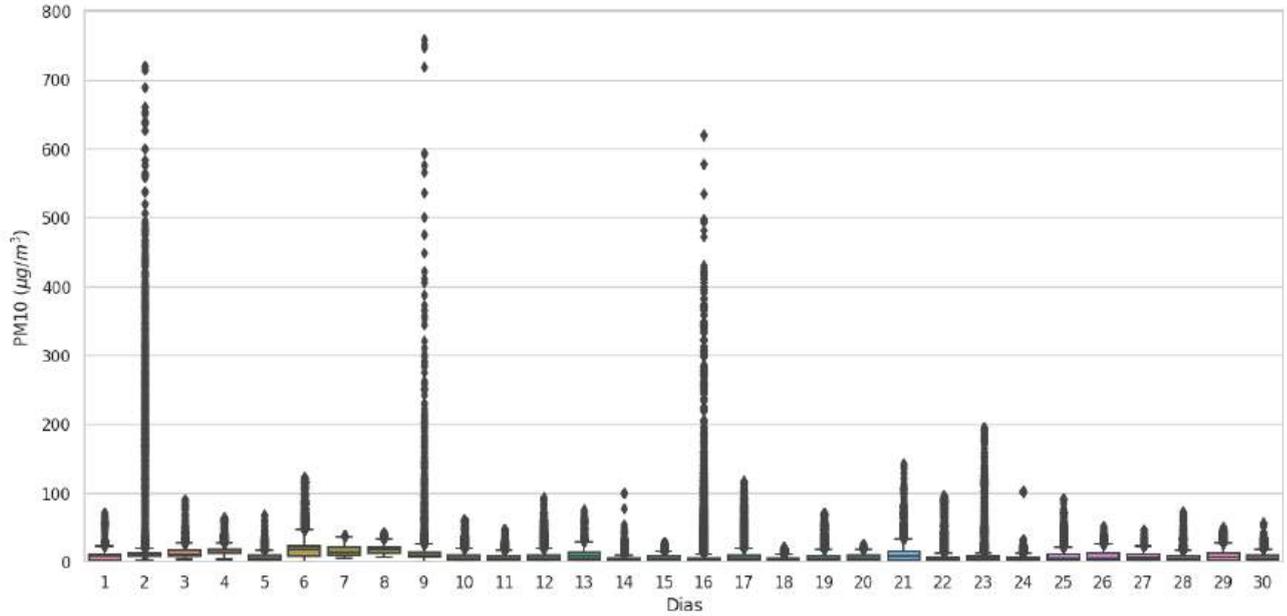


Fonte:

Na figura (5)(a) observa-se que no mês de abril os dias 2, 9 e 16, apresentaram as maiores concentrações de  $PM_{10}$ , com valores em torno de  $720,47 \mu g/m^3$ ,  $758,30 \mu g/m^3$  e  $629,20 \mu g/m^3$  respectivamente. De acordo com Inpe (2019) episódios de queimadas no local ou nas proximidades do equipamento de monitoramento podem ter causado esses altos valores nos dias em questão. Na figura (5)(b) podemos observar a variabilidade do  $pm_{10}$  durante o mês de abril, destaca-se o dia 6 por obter a maior variabilidade, sua média próxima a  $20 \mu g/m^3$  ficando abaixo da média diária estabelecido pela OMS ( $50 \mu g/m^3$  (média 24 horas)), e sua máxima foi superior a  $45 \mu g/m^3$ .

Figura 5(a)

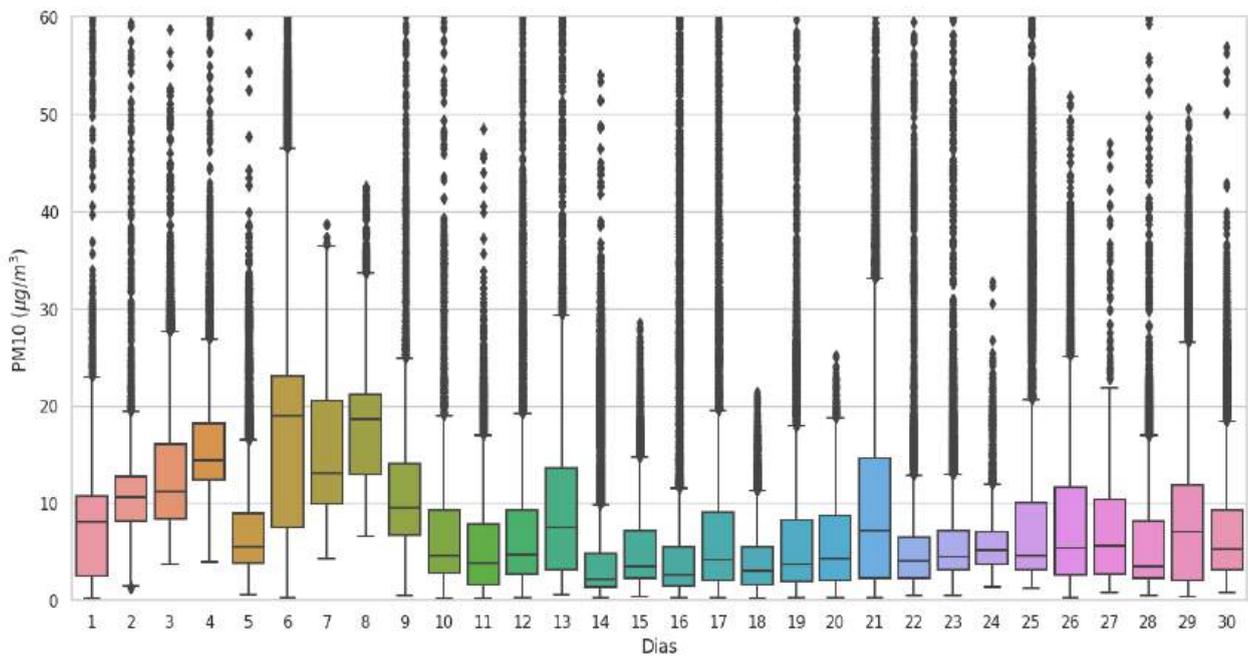
*Comportamento diário de material particulado PM10 para o mês de abril de 2023.*



Fonte:

Figura 5(b)

*Comportamento diário de material particulado PM10 com filtro em 60 µg/m³ para o mês de abril de 2023.*

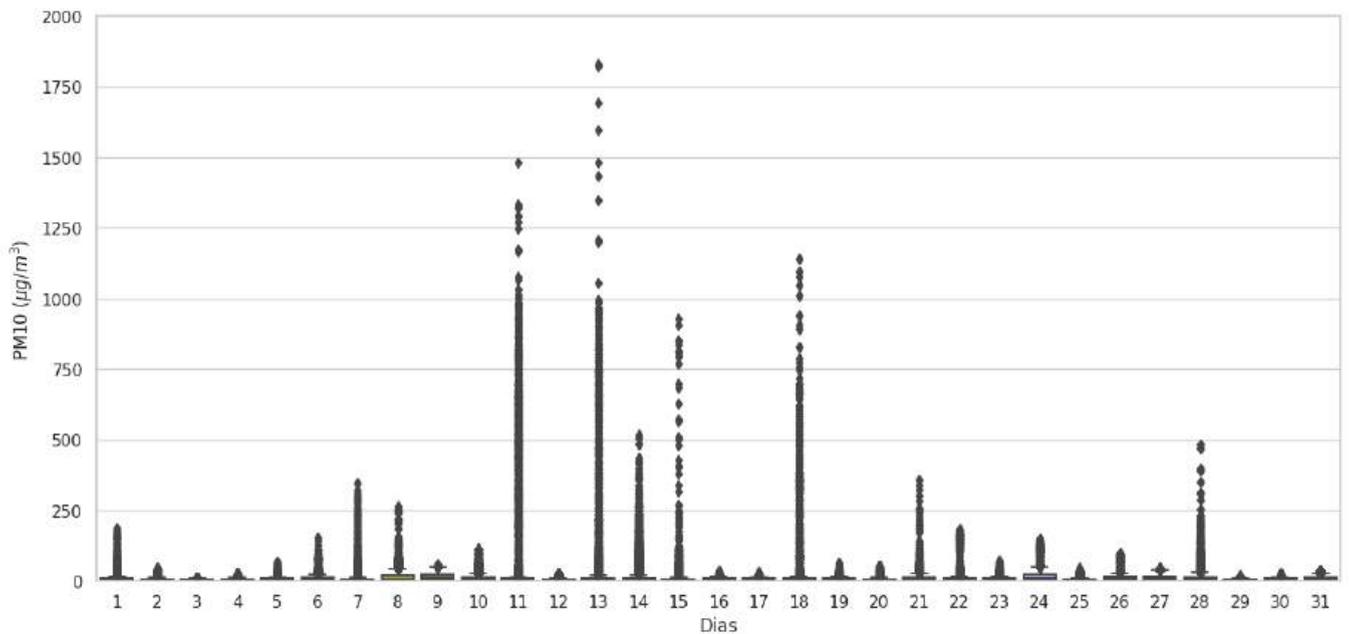


Fonte:

Na figura(6)(a) observa-se que no mês de maio os dias 11, 13, e 18, foram os dias que apresentaram as maiores concentrações de PM10, com destaque para o dia 13 que registrou 1830,20  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Na figura(6)(b) podemos observar a variabilidade do PM10 no mês de maio, segundo Keywood, Ayers, Gras, Giller e Cohen (1999) uma exposição prolongada ao PM10 indica efeitos diretos a saúde (incluindo mortalidade). destaca-se o dia 9 que tem a maior variabilidade e sua média acima de 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  e sua máxima com 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Não deixando de mencionar o dia 24 que também registra grande variabilidade e com a máxima próxima a 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Figura 6(a)

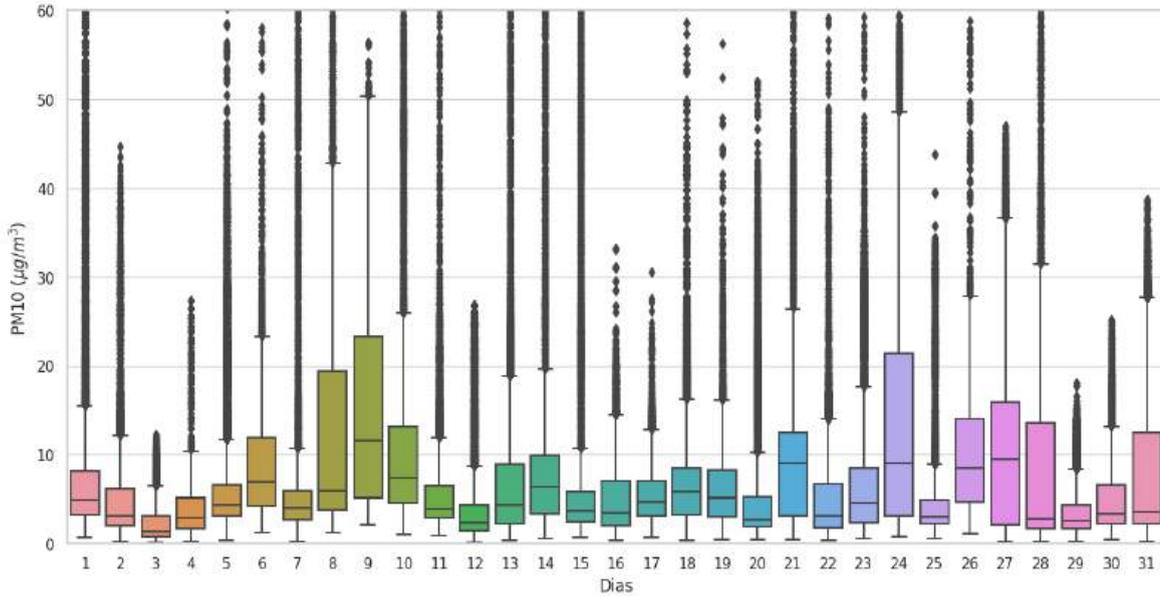
*Comportamento diário de material particulado PM10 para o mês de maio de 2023.*



Fonte:

Figura 6(b)

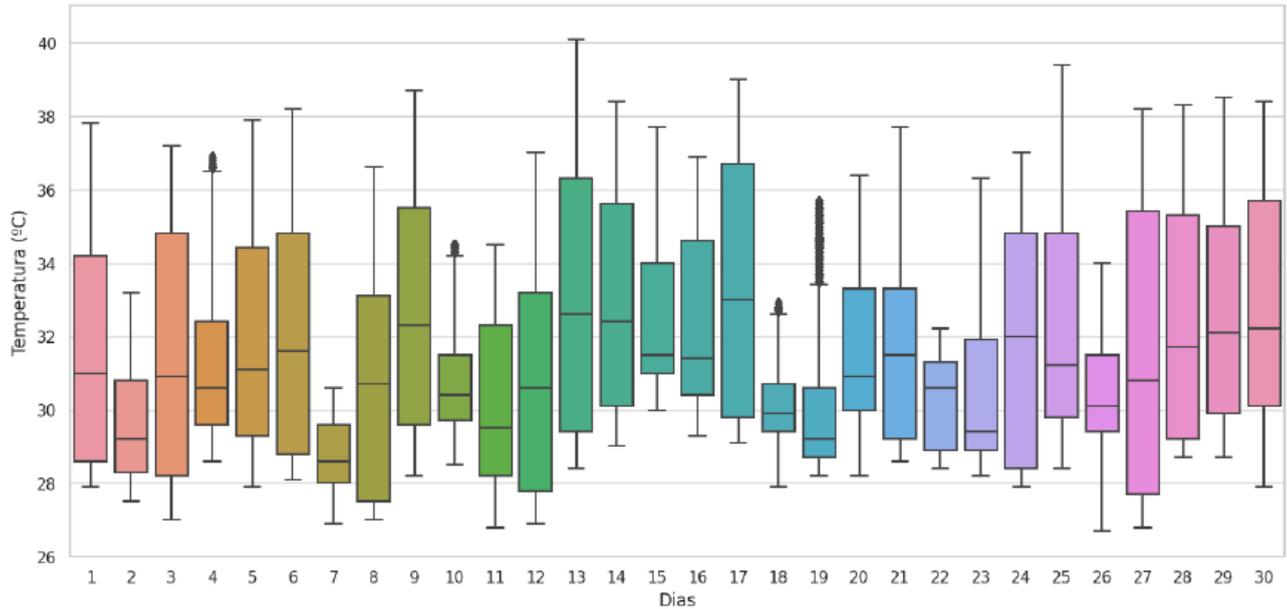
Comportamento diário de material particulado PM10 com filtro em  $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para o mês de maio de 2023.



Fonte:

Na figura (7) observa-se o comportamento da temperatura do ar, constatou-se que 10 dias ficaram com valores acima de  $38^\circ\text{C}$  no mês de abril, no dia 13 foi registrado a máxima  $40,8^\circ\text{C}$ , temperaturas consideradas altas para o mês. Segundo Alves (2023) o mês de abril mostra-se como um dos meses mais chuvosos da região, obtendo sua máxima em torno de  $31,5^\circ\text{C}$ . Contudo essas altas temperaturas podem estar relacionadas ao El Niño em geral na Amazônia ocorre uma diminuição da precipitação ocasionando altas temperaturas na região (Oliveira et al., 2019). Estudo apresentado por Gonzales et al. (2013), relaciona as diferenças encontradas na precipitação sobre a regiões norte e nordeste da América do Sul estando associada as anomalias de Temperatura da Superfície do Mar (TSM). A mínima foi registrada no dia 26 com  $27^\circ\text{C}$ . Ressaltando a presença de outliers nos dias 4, 10, 18 e 19.

Figura 7  
BoxPlot diário da temperatura do mês de abril de 2023

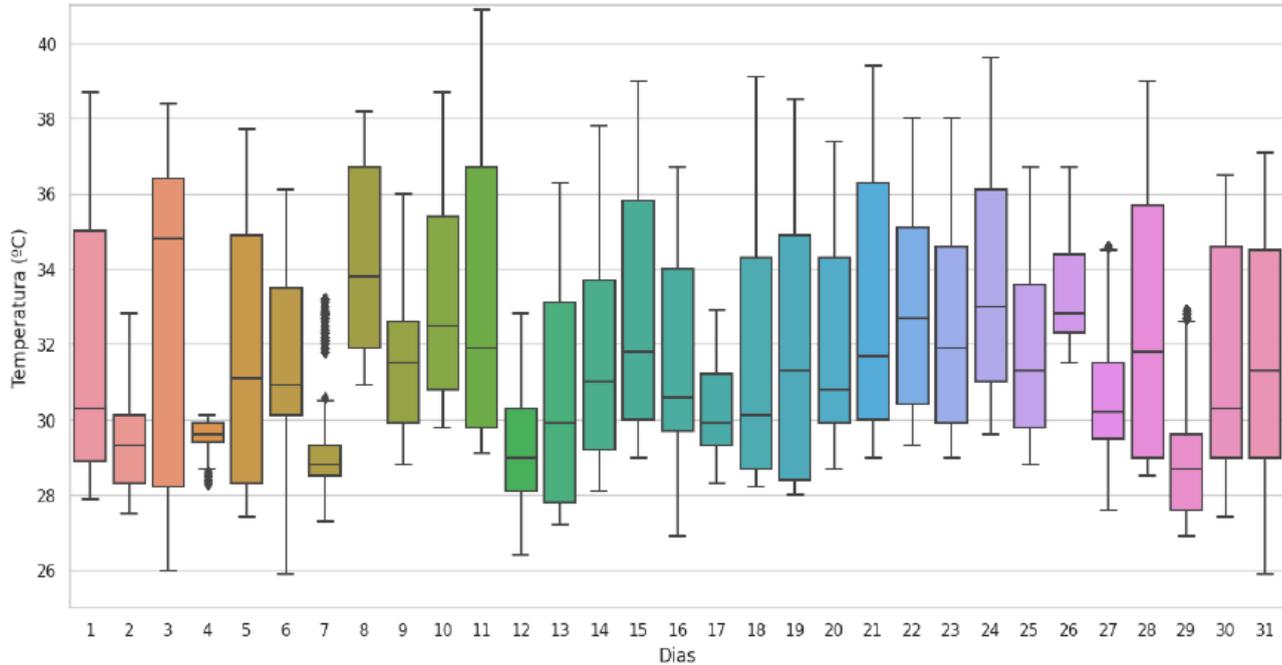


Fonte:

Na figura (8) observa-se o comportamento da temperatura no mês de maio, constatou-se que 10 dias ficaram acima de 38°C, no dia 11 foi registrado a máxima 40,90°C, varia entre 26°C e 37°C, com média mensal em 31,66°C. nota-se que o dia 3 foi que apresentou a maior variabilidade. Segundo Venturieri (2007) é possível levantar a hipótese que essas altas temperaturas podem ser resultante do processo de ocupação de espaço baseado na agricultura mecanizada de grãos presente desde do início dos anos 2000 no município. Nos dias 31 a mínima ficou em 26°C. Nota-se a presença de outliers nos dias 4, 10, 18, 19, 27 e 29.

Figura 8

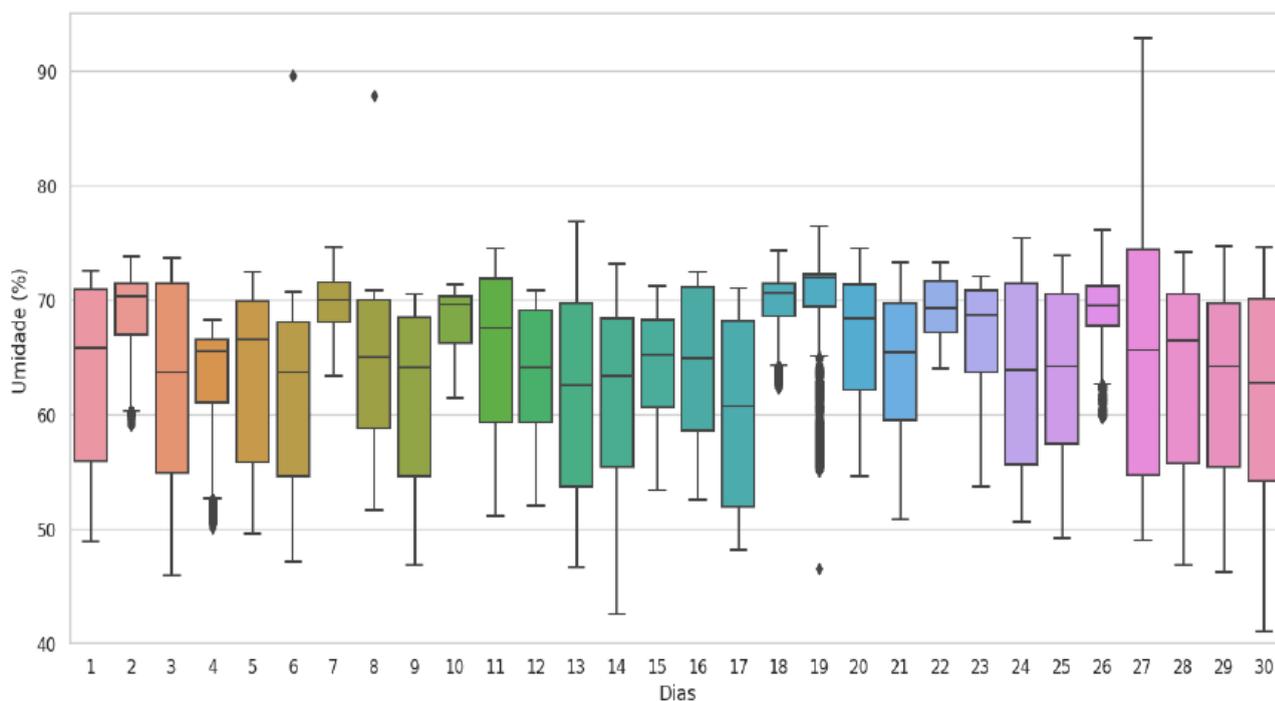
*BoxPlot diário da temperatura do mês de maio de 2023*



Fonte:

Na Figura (9) observa-se o comportamento da umidade relativa do ar e destaca-se que ao longo do mês de abril constatou-se apenas três dias com valores superiores a 80%, sendo dois outliers nos dias 6 e 8 e um valor máximo (95%) no dia 27, no entanto o que chama atenção é o inverso onde destaca-se que 14 dias apresentaram valores inferiores a 50%.

Figura 9  
BoxPlot diário da umidade relativa do mês de abril de 2023

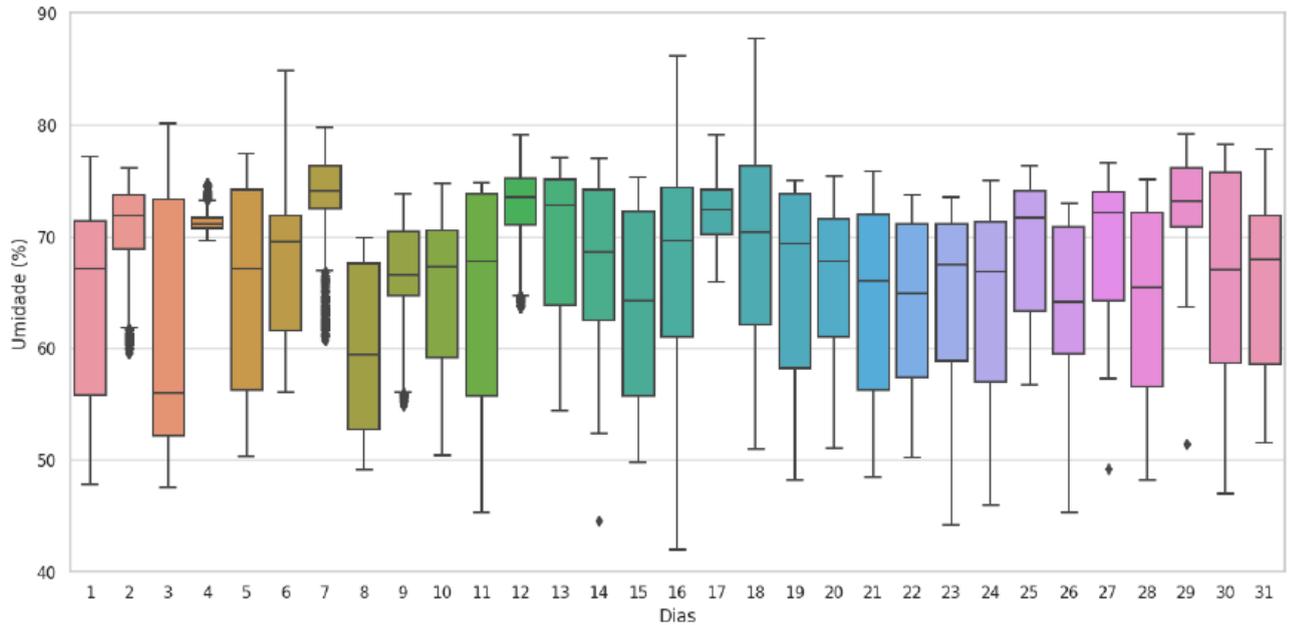


Fonte:

Na figura (10) observa-se o comportamento da umidade relativa do ar destaca-se que ao longo do mês de maio constatou-se apenas quatro dias com valores superiores 80%, sendo eles dia 3, 6, 16 e um valor máximo de (88,75%), no entanto o que chama a atenção é o inverso onde destacam-se 15 dias com valores abaixo de 50%, sendo dois outliers nos dias 14 e 27.

Figura 10

*BoxPlot diário da umidade relativa do mês de maio de 2023*



Fonte:

### Conclusão

Conclui-se que nos meses analisados ainda que pertencentes ao período chuvoso da região, apresentou níveis altos de poluição atmosférica com acréscimo na média mensal de  $1,27 \mu\text{g}/\text{m}^3$  do  $\text{PM}_{2,5}$  de abril para maio, contudo houve um decréscimo na média mensal do  $\text{PM}_{10}$  de  $1,82 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . O comportamento das variáveis meteorológicas esteve acima da normal climatológica, possivelmente devido a influência do fenômeno El niño. Acredita-se na hipótese que a prática da queima de lixo urbano no bairro adicionado a ocorrência de temperatura mais elevadas e índices baixos de umidade foram o que contribuíram para elevação da concentração de particulados na atmosfera. Espera-se que os resultados encontrados possam contribuir para o desenvolvimento de estratégias de políticas públicas e ambientais bem como a conscientização da população.

## Referências

- Alves, Deyviane Ramos et al. (2023). Análise de dados meteorológicos e de internações por pneumonia no município de Santarém-PA. *Revista Brasileira de Climatologia*, 32, 226-249.
- Andrade, Valdir S. et al. (2012). Influência do Material Particulado (Pm<sub>2.5</sub>) de Queimadas e Variáveis Meteorológicas na Morbidade Respiratória de Crianças em Manaus, AM. *Revista GeoNorte*, 3(4), 744-758.
- Arbex, M. A., Santos, U. P., Martins, L. C., Saldiva, P. H. N., Pereira, L. A. A., Braga, & A. L. F. (2012). A poluição do ar e o sistema respiratório. *Jornal Brasileiro de Pneumologia*, 38(5), 643-655. Doi: <https://doi.org/10.1590/S1806-37132012000500015>
- Arduino, C. C. (2017). ArduinoUno: documentation. Cc: Arduino. <https://store.Arduino.cc/Arduino-uno-rev3>.
- Assaf et al. (2019). Academy of Science of South Africa. Air Pollution and Health - A Science-Policy Initiative. *Annals of Global Health*, 85(1), 140, 1-9. Doi: <https://doi.org/10.5334/aogh.2656>.
- Budde, Matthias et al. (2018). Potencial e limitações do sensor de partículas SDS011 de baixo custo para monitoramento da qualidade do ar urbano. *ProScience*, 6(12).
- Ca Papa, D. W. Dockery. Epidemiologia dos efeitos de partículas ST Holgate , JM Samet , HS Koren , RL Maynard (Eds.) , Poluição do ar e saúde , Academic Press , San Diego ( 1999 ) , pp???????
- Castro, A. H. S., Araújo, R. S., Silva, G. M. M. (2013). Qualidade do ar-parâmetros de controle e efeitos na saúde humana: uma breve revisão. *Holos*, 5, 107-121.
- Chen, X., Liu, J., Zhou, J., Wang, J., Chen, C., Song, Y., et al. (2018). O material particulado urbano (PM) suprime a defesa antibacteriana das vias aéreas. *Respir. Res.* 19(5). Doi: 10.1186/s12931-017-0700-0.

- Cohen, A. J., Brauer, M., Burnett, R., Anderson, H. R., Frostad, J., & Estep, K. et al. (2017). Estimativas e tendências de 25 anos da carga global de doenças atribuíveis à poluição do ar ambiente: uma análise de dados do estudo da carga global de doenças de 2015. *Lancet* 389, 1907–1918. Doi: 10.1016/S0140-6736(17)30505-6
- Dapper, S. N., Spohr, C., & Zanini, R. R. (2016). Poluição do ar como fator de risco para a saúde: uma revisão sistemática no estado de São Paulo. *Estudos Avançados [on-line]*, 30(86), 83-97.  
[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-40142016000100083](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142016000100083)
- Donaldson, Ken et al. (2003). Estresse oxidativo e sinalização de cálcio nos efeitos adversos de partículas ambientais (PM10). *Biologia e Medicina dos Radicais Livres*, 11, 1369-1382.
- Drumm, F. C., Gerhardt, A. E., Fernandes, G. D., Chagas, P., Sucolotti, M. S., & Kemerich, P. D. C. (2014). Poluição atmosférica proveniente da queima de combustíveis derivados do petróleo em veículos automotores. *REGET*, 18(1), 66-78. Doi: <https://doi.org/10.5902/2236117010537>
- Emmanuel, Shanta Cristina. (2000). Impacto na saúde pulmonar da neblina causada por incêndios florestais: a experiência de Cingapura. *Respirologia*, 5(2), 175-182.
- Freitas, Beatriz de Souza et al. (2022). Análise de associações entre internações de diabetes mellitus e condições atmosféricas no período de 2010 a 2020 no município de Santarém, Pará. *Revista Brasileira de Climatologia*, (30), 647-667.
- Gomes, E. P. (2009). *Levantamento das principais fontes de emissões atmosféricas na cidade de Manaus*. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, Amazonas, Brasil.
- GONZALEZ, Rosimeire, Araújo, R. V. A. L. A. C. M. T. K. R. A. F. D. S. A Influência do evento El Niño – Oscilação Sul e Atlântico Equatorial na precipitação sobre as regiões norte e nordeste da América do Sul.

Hargrave, J. & Kis-Katos, K. (2013). Economic causes of deforestation in the Brazilian Amazon: A panel data analysis for the 2000s. *Environmental and Resource Economics*, 54, 471- 494.

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. *Banco de Dados de queimadas*. 2019.  
<http://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/bdqueimadas>

Keyword, M. D, Ayers, G. P, Gras, J. L, Gillet, R. W, Cohen, D. D (1999). Realizações entre dados de concentração de massa segregada por tamanho e concentração de número de partículas ultrafinas em áreas urbanas. *Ambiente Atmosférico* 33, 2907–2913 ACTA AMAZONICA, MANAUS, v. 43, n. 4, p. 469-480, 2013.

Lopes, A. R. S. (2010, jul./dez.). História Ambiental: uma demanda Contemporânea. *Cad. Pesq. Cdhis*, 23(2).

Moreira, J. K. R., Lima, A. C. M., Cardoso, B. A., & Vinagre, M. V. A. (2015). Avaliação da Qualidade do Ar Através de Parâmetros Biológicos e Visuais nos Bairros de São Brás, Nazaré e Cidade Velha, Belém (PA). *Educação Ambiental em Ação*, 53, 1-16.

Oliveira, Reumally Nunes de et al. A variabilidade da chuva na Amazônia Central: El Niño e La Niña.

Oliveira Júnior, Arilson José et al. (2015). Avaliação da precisão de medição do sensor de temperatura e umidade relativa do ar AM2302. In: 4 JORNACITEC.

Organização das Nações Unidas. (2019). *Sustainable Development Goals*. Climate Action, News, Press material.

Organização Mundial da Saúde. (2019). *Estatísticas Mundiais de Saúde 2019 Monitoramento da Saúde para os ODS*. Genebra: Organização Mundial da Saúde.

Pereira Júnior, A., Marques, J. R. A, Souza, L. H. S. de, Castro, B. F. de; Jesus, E. dos S.; Gutjahr, A. L. N., & Morales, G. P. (2021). Ações antrópicas no bairro Maracanã e avaliação de impactos ambientais em Santarém – PA. *Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento*, 15, e433101523172. Doi: 10.33448/rsd-v10i15.23172.

Santos, T. O., Filho, V. S. A., Rocha, V. M., & Menezes, J. S. (2017). The impacts of deforestation and burning of anthropogenic climate of the Brazilian Amazon: A review. *Revista Geografia Acadêmica*, 11(2), 157-181.

Thaler, G. M., Viana, C., & Toni, F. (2019). From frontier governance to governance frontier: The political geography of Brazil's Amazon transition. *World Development*, 114, 59-72.

Venturieri, Adriano et al. (2007). Análise da expansão da agricultura de grãos na região de Santarém e Belterra, Oeste do estado do Pará. In: *13 Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*. Anais... São José dos Campos: INPE.

**Biology and behavior of *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) and resistance induction in *Azospirillum brasilense* inoculated maize and silicon application**

**Biologia e comportamento de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) e indução de resistência em milho inoculado com *Azospirillum brasilense* e aplicação de silício**

Suelhen Thais Marchioro<sup>1</sup>, Adeney de Freitas Bueno<sup>2</sup>, Vanessa Gomes de Amorim<sup>3</sup>, Marcelo Nogueira de Moraes<sup>4</sup>, Augusto César Prado Pomari Fernandes<sup>5</sup>, Aline Pomari Fernandes<sup>6</sup>

DOI: <https://10.52719/bjas.v6i2.6486>

**Abstract**

The effect of *Azospirillum brasilense* and silicon on maize on the biology and behavior of *Spodoptera frugiperda*, the resistance induction, and the silicon quantification in the leaves were studied. The inoculation of corn seeds was carried out before planting, and the silicon applications (soil and foliar) were performed 16 and 26 days after planting. The bioassay of food preference and survival of 2nd instar larvae was carried out on days 2 and 4 after the applications. The effect of treatments on the immature phase was also evaluated, including the duration of the total larval period and the pupal phase, total mortality, sex ratio, pupal weight, and adult deformation. Bioassays were also carried out to quantify silicon in the leaves and the induced resistance was determined by the peroxidase and phenylalanine ammonia-lyase activities. Larvae were not preferred in the leaves subjected to the silicon treatments. Regarding the survival of 2nd instar larvae, higher mortality rates and cannibalism were found in the treatment containing inoculant + foliar silicon, and foliar silicon. A longer duration of the total larval phase, higher mortality, lower pupal weight, and a higher number of deformed adults were observed for the treatments containing silicon. No significant effects of the treatments were observed for the silicon quantitative bioassays and resistance induction. However, old leaves exhibited a higher silicon concentration. Thus, silicon may be an effective alternative to control *S. frugiperda*, with no isolated effects of the inoculant *A. brasilense*, on the *S. frugiperda* behavior.

**Keywords:** Lepidopteran behavior. Plant resistance. Peroxidase. Phenylalanine ammonia-lyase.

**Resumo**

Estudou-se o efeito do *Azospirillum brasilense* e do silício no milho sobre a biologia e comportamento de *Spodoptera frugiperda* e a indução de resistência e quantificação do silício nas folhas. A inoculação das sementes de milho foi realizada antes do plantio e as aplicações de silício foliar e solo, 16 e 26 dias após o plantio. Os bioensaios de preferência alimentar e

sobrevivência de larvas de 2º instar foram realizados em dois momentos, 4 e 2 dias após as aplicações. Também foi avaliado o efeito dos tratamentos na fase imatura, onde foram avaliados: duração no período larval total e na fase pupal, mortalidade total, razão sexual, peso pupal e deformação do adulto. Também foram realizados bioensaios para quantificar o silício nas folhas e induzir resistência por meio da atividade da peroxidase e da fenilalanina amônia liase. As larvas não foram preferidas em tratamentos contendo silício. Em relação à sobrevivência das larvas de 2º instar, maiores taxas de mortalidade e canibalismo foram encontradas no tratamento contendo inoculante + silício foliar e silício foliar. Houve maior duração da fase larval total, maior mortalidade, menor peso pupal e maior média de adultos deformados nos tratamentos contendo silício. Quanto aos bioensaios quantitativos de silício e indução de resistência, não houve efeito significativo para os tratamentos em nenhum dos bioensaios. Porém, observou-se que as folhas velhas apresentam maior porcentagem de silício. Assim, conclui-se que o silício é uma alternativa para o controle de *S. frugiperda*, em relação ao uso do inoculante *A. brasilense*, não houve efeitos isolados sobre o comportamento de *S. frugiperda*.

**Palavras-chave:** Comportamento de lepidópteros. Resistência de plantas. Peroxidase. Fenilalanina amônia-liase.

### Introduction

*Spodoptera frugiperda* (Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) is a polyphagous pest, which occurs in several countries such as Brazil, Argentina, and the USA (Prowell et al., 2004 & Clark et al., 2007), causing economic losses in different crops such as maize (*Zea mays* L.), soybean (*Glycine max* (L.) Merrill), cotton (*Gossypium hirsutum* L.), and beans (*Phaseolus vulgaris* L.) (Pogue, 2002; Nagoshi 2009; Bueno et al., 2011). The attack of this insect pest has increased in recent years, probably due to the large supply of hosts throughout the year, thus impairing the management strategies against *S. frugiperda* (Barros; Torres & Bueno, 2010). The control of this pest is usually performed with the use of insecticides and/or resistant hybrids, which are relatively expensive and do not include ecologically-based production systems.

Therefore, plant resistance to insects is an excellent method of pest control, presenting economic, biological, and environmental advantages (Wisemam & Widstron, 1986). Several studies have shown the effect of silicon application on pest control and induction of resistance of grasses, once these plants are silicon accumulators (Epstein, 2001; Fawe et al. 2001; Feng, 2004; Goussain et al. 2002; Gomes et al., 2005; Gomes et al., 2008, & Nogueira, 2018).

The induced resistance corresponds to the increased defense capacity of the plant against pathogens and insect pests (Dixon; Harrison & Lamb, 1994). The expression of induced resistance may be local or systemic when it is expressed in locations not directly exposed to the inducing agent and may occur after exposure to biotic and/or abiotic agents,

with an emphasis on silicon (Van Loon, Bakker & Pieterse, 1998 & Stadinik, 2000). Plant-induced defense using silicon occurs due to the formation of mechanical barriers and/or alteration of plant biochemical responses to the herbivorous attack, increasing the synthesis of toxins that can act as inhibitors or repellents (Epstein, 1994; Marschner, 1995; Dannon, & Wydra, 2004), besides increasing the defense mechanisms, including accumulation of lignin and phenolic compounds.

Plant resistance involves the activation of latent mechanisms against external inducers with no change in the plant genome (Baysal et al., 2003). Changes in the activities of key enzymes allow monitoring the resistance induction state in plants exposed to the inducing agent (Macagnan et al., 2008), and peroxidases and phenylalanine ammonia-lyase (FAL) stand out for this purpose (Baysal et al., 2003).

Peroxidases oxidize organic substrates by eliminating hydrogen peroxide, reactive oxygen species, and electron acceptors. In addition, these enzymes participate in plant growth and development, cell detoxification, and defense mechanisms such as lignification, wound healing, and oxidation of phenolic compounds (Baysal et al., 2003). Phenylalanine ammonia-lyase (FAL) is fundamental in phenylpropanol biosynthesis and participates in the synthesis of monomers of lignin, salicylic acid, phytoalexins, and flavonoids (Gerasimova et al., 2005).

The biological inoculant *Azospirillum brasilense* has been used in grasses for improving water and nutrient absorption, besides promoting biological nitrogen fixation (Hungria et al., 2010). However, there are few studies on increased plant resistance and pest control. Therefore, the use of *A. brasilense* may increase silicon absorption in plants and aims to determine its effect on the control of pests such as *S. frugiperda*, as well as its profile as a resistance inducing agent in plants.

The determination of the silicon concentration in the plant tissue is performed by the molybdenum yellow method (Hallmark et al., 1982; Korndörfer, Pereira & Nolla, 2004). This method consists in measuring the yellow color formed by the reaction between silicon and ammonium molybdate in an acidic medium, and the yellower the solution, the higher the silicon concentration in the plant material.

Therefore, the objective of this study was to evaluate the effect of the use of silicon and *A. brasilense* on maize plants on the biology and behavior of *S. frugiperda*, and the induction of plant resistance through the expression of peroxidase and phenylalanine ammonia-lyase (FAL) activities. The silicon concentration in the plant tissue by the molybdenum yellow method was also determined.

## Methodology

The experiments were carried out at the Biotechnology and Entomology, and Crop Breeding laboratory of Embrapa-CNPSO in Londrina/PR, and the Soil Physics and Phytopathology at the Federal University of Fronteira Sul, Campus Laranjeiras do Sul/PR.

### Rearing of *Spodoptera frugiperda*

The initial *S. frugiperda* population was collected from corn crop, in the city of Londrina/PR, and the larvae from the 30<sup>th</sup> to 38<sup>th</sup> generations were used, created on an artificial diet adapted by Bowling (1967), at the Crop Breeding Laboratory of Embrapa-CNPSO.

The diet was stored under refrigeration in 50 mL plastic cups containing  $\frac{1}{4}$  artificial diet, which were removed from refrigeration before use until reaching room temperature. The eggs were kept in 200 mL cups sealed with thin paper and covered with thin cardboard until larval hatching. Subsequently, the diet was added to the larvae feeding cups until reaching the third instar stage and then subcultured by placing two larvae in a plastic cup, which was sealed with a thin cardboard lid. The diet was replaced upon dehydration, and the development was monitored until reaching the pupal phase, followed by the identification of the sex of pupae (Butt & Cantu, 1962).

After differentiating males and females, the pupae were placed in Gerbox® and later in acrylic cages until the emergence of the adults. As adults, they were kept in rectangular-shaped acrylic cages, 50x30x30 cm (length, width, and height), covered by an A3 paper sheet. The moths were fed with cotton pads soaked in a 10% honey solution. The cages were kept until the third day of oviposition, and the eggs were removed daily and placed in 200 mL cups for use in experiments and/or rearing continuity.

### Seed collection and plant cultivation

Seeds from the cultivar AL Bandeirante were used. The fertilization was carried out using 30g per pot of formulated fertilizer 08-28-16 (N-P-K), which was incorporated into the soil at the time of planting. Six seeds were sown in 12 L pots. Thinning of plants was performed after the expansion of the first leaf (phenological stage V1), leaving two plants per

pot. A drip irrigation system was performed using drippers. The temperature in the greenhouse during the experiment period (January to February) ranged from 25 to 28°C.

### **Plant preparation**

A completely randomized experimental design was used, with six treatments and 12 repetitions ( $n = 1$ ). The treatments (T) and their respective doses were: T1: Control with absence of application; T2: Inoculant *A. brasilense* (GrapNod a®) dose of 100 mL for 25 kg/seed applied 30 minutes before planting; T3: Inoculant *A. brasilense* (GrapNod a®) + Soil silicon (Diaflow®) dose of 100 mL for 25 kg/seed applied 30 minutes before planting and 4 g of Diaflow® + 400 mL distilled water applied to the soil 16 and 26 days after planting; T4: Inoculant *A. brasilense* (GrapNod®) + Foliar silicon (Sifol®) dose of 100 mL for 25 kg/seed applied 30 minutes before planting and 10 mL of Sifol® + 1000 mL distilled water applied to leaves 16 and 26 days after planting until draining of the syrup; T5: Soil silicon (Diaflow®) dose of 4g of Diaflow® + 400 mL distilled water applied to the soil 16 and 26 days after planting; T6: Foliar silicon (Sifol®) dose of 10 mL of Sifol® + 1000 mL distilled water applied to leaves 16 and 26 days after planting until draining of the syrup.

For the bioassays 4 and 5, new and old leaves were collected 96 and 48 h after the first and second silicon application. New leaves were considered those completely open and attached to the cartridge (cartridge leaves), while old leaves were those completely open and outside the cartridge (expanded leaves).

### **Bioassay 1: Food preference through the free choice test**

Larvae of the second instar stage and leaf sections of 2 cm in length from the 6 treatments were randomly arranged and equidistant in 15 cm-diameter Petri plates with the bottom coated with moist filter paper. Ten larvae were placed in the center of each plate. After 24, 48, and 72 h, the larvae from each treatment were counted. The experiment was maintained in a climate chamber at  $25 \pm 2$  °C, 12 h photoperiod, and  $80 \pm 10\%$  relative humidity. This bioassay was carried out in two moments, in the first and second silicon application, which was performed at 16 and 26 days after planting, respectively. The first trial was performed 4 days after the first application, while the second trial was performed 2 days after the second application. A completely randomized experimental design was used, with six treatments and 20 replications.

**Bioassay 2: Survival of second instar larvae on test with no choice**

The bioassay was carried out in two moments, in the first and second silicon application, which was performed at 16 and 26 days after planting, respectively. Thus, the first trial was conducted 4 days after the first application, while the second trial was performed 2 days after the second application. A completely randomized experimental design was used, with 6 treatments and 20 replications. Each plot consisted of a 10 cm diameter Petri plate with the bottom coated with moist filter paper, containing a 9 cm long leaf section. Ten newly hatched larvae (up to 24 h) were placed on the leaf. The larvae remained in this set until reaching the third instar stage, and the leaf section was changed daily. The experiment was maintained in a climate-controlled chamber at  $25 \pm 2^\circ\text{C}$ , 12 h photoperiod, and  $80 \pm 10\%$  relative humidity.

Mortality and cannibalism were evaluated at the end of the second instar stage. Larvae that were immobile after stimulation and without body mutilation were considered dead larvae, while mutilated larvae or those with only the cephalic capsules characterized cannibalism.

**Bioassay 3: Effect of silicon application on immature phases**

The bioassay was performed 4 days after the first silicon application, and the second silicon application was performed on the sixth day of evaluation. A randomized experimental design was used, with 6 treatments and 4 replications. Each repetition consisted of five 100 mL plastic cups with a lid, and the bottom covered with moistened filter paper. A piece of leaf of approximately  $4 \text{ cm}^2$  and a newly hatched larva (up to 24 h) were placed in each cup. The leaf sections were changed daily, offering food ad libitum. The cups were kept in a climate-controlled chamber at  $25 \pm 2^\circ\text{C}$ , 12 h photoperiod, and  $80 \pm 10\%$  relative humidity.

The parameters larval phase duration (days); sex ratio; pupal weight (24 h after transformation); pupal phase duration (days); adult deformation (number of individuals) and total mortality and at each instar (%) were evaluated.

**Bioassay 4: Silicon concentration of the leaf using the molybdenum yellow method**

The methodology used for these procedures was adapted by Korndörfer, Pereira, and Nolla (2004). For that, a pretreatment was performed as follows: 1) previous drying of the material in the open air to remove excess moisture; 2) washing the leaves in a detergent solution; 3) passing the leaves in distilled water to remove the detergent; 4) drying the leaves in a forced circulation oven at 65° C until constant weight; 5) drying the material for a further 30 minutes at 60 °C; 6) milling the material in a 2.5 mm sieve Willey mill; and 7) packaging of the ground material in plastic bags or tubes until use, according to the steps described below.

Extraction/digestion steps: All procedures were performed in a gas exhaustion hood, and the operators wore plastic gloves. For that, 0.1000 g of the ground material was placed in 100 mL polypropylene tubes, and 2 mL of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (300 or 500 g L<sup>-1</sup>) was added and stirred (magnetic stirrer) for a few seconds, and 3 mL of NaOH (500 g L<sup>-1</sup>) was added. The tubes were vortexed and placed in a water bath (85°C) for approximately 1 hour. After the extracts/samples were no longer releasing gases, the tubes were capped and autoclaved for 1h at 123 °C and 1.5 atm (20 psig), with the addition of 45 mL of distilled water. Subsequently, the extract was transferred to a plastic vial and remained at rest until the residues were deposited at the bottom of the tube.

Sample preparation: A 1 mL aliquot of the extract supernatant was placed in a 50 mL plastic beaker and 19 mL of distilled water was added.

Standard preparation (0, 2, 4, 6, and 8 mg L<sup>-1</sup>Si): aliquots containing 0; 2; 4; 6, and 8 mL of Si standard solution (50 ppm) were placed in 50 mL flasks, and the volume was completed with distilled water. Subsequently, a 20 mL aliquot of each standard (0, 2, 4, 6, and 8 mg L<sup>-1</sup> Si) was placed in a 50 mL plastic beaker, and 1 mL HCl (1: 1 or 500 g L<sup>-1</sup>) + 2 mL ammonium molybdate was added to the beakers containing the standards and the sample (digested extracts) and gently stirred. The more intense the yellow color, the higher the concentration of silicon in the sample. After 5 to 10 minutes, 2 mL of oxalic acid was added and gently stirred. After 2 minutes, readings were performed at 410 nm % T in a UV-Visible Spectrophotometer. The silicon concentration (ppm) was calculated using the following equation:  $y = -6.9775x + 96.724$  (R<sup>2</sup> = 0.9802).

### **Bioassay 5: Induction of defense enzymes**

The collected leaves were placed in a 50 mL Falcon tube, and stored in a Styrofoam box with ice until frozen at -20 °C. Then, the material was freeze-dried at -50°C for 30 hours. For the preparation of the extracts, 1.0 g of freeze-dried leaves from each treatment was used. The freeze-dried material was macerated in a crucible containing 0.04g of polyvinylpyrrolidone (PVP) and 4 mL of 0.01 M sodium phosphate buffer pH 6.8. It was then placed in Eppendorf tubes (2 mL) and centrifuged for 20 minutes (14,500 rpm) at 4 ° C. After this procedure, the supernatant was collected and immediately frozen until analysis. The peroxidase and phenylalanine ammonia-lyase (FAL) levels were determined.

#### Peroxidase

Peroxidase activity was determined by measuring the conversion of guaiacol to tetraguaiacol in a spectrophotometer at 470 nm (Lusso & Pascholati, 1999). For that, 0.2 mL of protein extract and 2.8 mL of paraenzyme substrate (306 µL of hydrogen peroxide PA, 12.5 mL of 2% guaiacol, and 87.5 0.01 M phosphate buffer, pH 6.0) were mixed in a 3mL cuvette and allowed to react for one minute at 30 ° C. The enzyme activity was determined using the extreme values of the linear increment range, and the results were expressed in absorbance units at 470 nm min<sup>-1</sup>mg protein<sup>-1</sup>.

#### Phenylalanine ammonia-lyase (FAL)

Phenylalanine ammonia-lyase activity was determined as described by Umesha (2006). For that, 100 µL of the enzyme extract was mixed with 400 µL of 0.025 M Tris-HCl buffer pH 8.8, and 500 µL of 0.05 M L-phenylalanine (825.9 mg diluted in 100 mL of 0.025 M Tris-HCL buffer, pH 8.8). The mixture was incubated at 40 ° C for 2 h. Then, 60 µL of 5 M HCl was added to stop the reaction, and spectrophotometer readings were performed at 290 nm. The phenylalanine ammonia-lyase activity consisted of the difference between the absorbance of the mixture containing the sample and the control (100 µL of enzyme extract and 900 µL of 0.025 M Tris-HCl buffer pH 8.8). The results were plotted on a standard curve of trans-cinnamic acid and expressed as mg of trans cinnamic acid h<sup>-1</sup> mg protein<sup>-1</sup>.

#### Statistical analysis

All data were subjected to analysis of variance and means were compared by Tukey test at 5% probability, using the Sisvar statistical program (Ferreira, 2014).

## Results

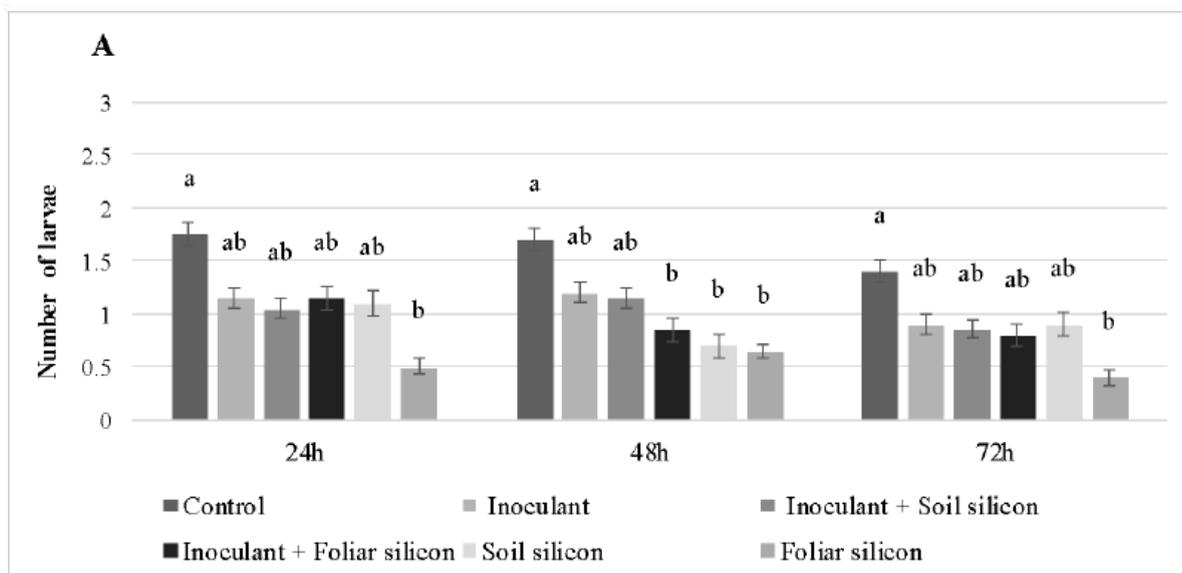
### Food preference through the free choice test

The food preference behavior was determined by comparing the treatments with the control regardless of the number of silicon applications (Figures 1A and 1B). In addition, there was no food preference for silicon-containing treatments, mainly for the samples with the application directly on the leaf (Figures 1A and 1B).

Regarding the experiment with only one silicon application, a higher number of larvae was observed in the control for all treatments, at 24, 48, and 72 hours after the beginning of the experiment, and the treatment with foliar silicon application showed the lowest preference (Figure 1A). In the second evaluation, 48 hours after the beginning of the experiment, the treatments containing inoculant + foliar silicon, silicon applied to the soil, or foliar silicon (T4, T5, and T6) showed the lowest number of larvae (Figure 1A).

Figure 1A

*Number of larvae per treatment at different times (24h, 48h, and 72h) in the feed preference test (bioassay 1) with one application (16 days after planting). Bioassay performed 4 days after application. Controlled conditions of  $25 \pm 2^\circ\text{C}$ , 12h photoperiod, and  $80 \pm 10\%$  RH*



Note. Means  $\pm$  SD, followed by the same letter within the evaluation time did not differ statistically (Tukey,

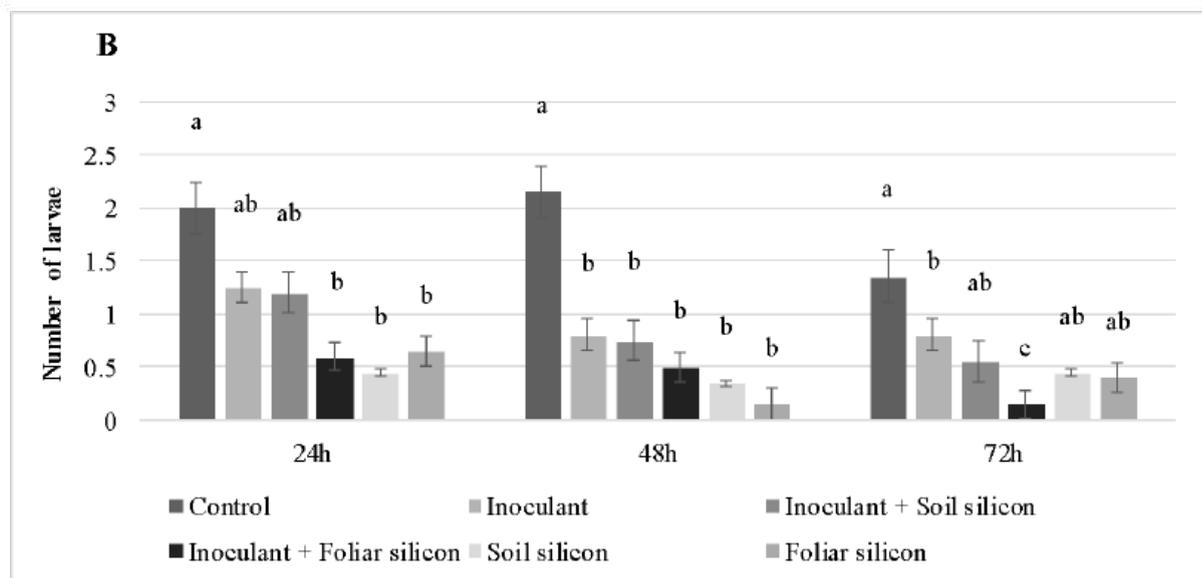
$p \geq 0.05$ ). Data expressed as  $\sqrt{X + 1} \sqrt{X + 1}$ .

Source: Elaborate by the author.

In the second experiment, with two silicon applications, a higher number of larvae was found in the control at 24, 48, and 72 hours after the beginning of the experiment (Figure 1B). In contrast, a lower feeding preference of larvae was observed 24 h after the beginning of the experiment in the treatments inoculant + foliar silicon, silicon applied to the soil, and foliar silicon (Figure 1B). In the second evaluation, 48 hours after the beginning of the experiment, a lower food preference was observed for all treatments except for the control. After 72 hours, the food with inoculant and foliar silicon application showed a lower feeding preference (Figure 1B).

Figure 1B

Number of larvae per treatment at different times (24h, 48h, and 72h) in the feed preference test (bioassay 1) with two applications (16 and 26 days after planting). Bioassay performed 2 days after second application. Controlled conditions of  $25 \pm 2^\circ\text{C}$ , 12h photoperiod, and  $80 \pm 10\% \text{RH}$



Note. Means  $\pm$  SD, followed by the same letter within the evaluation time did not differ statistically (Tukey,

$p \geq 0.05$ ). Data calculated as  $\sqrt{X + 1} \sqrt{X + 1}$ .

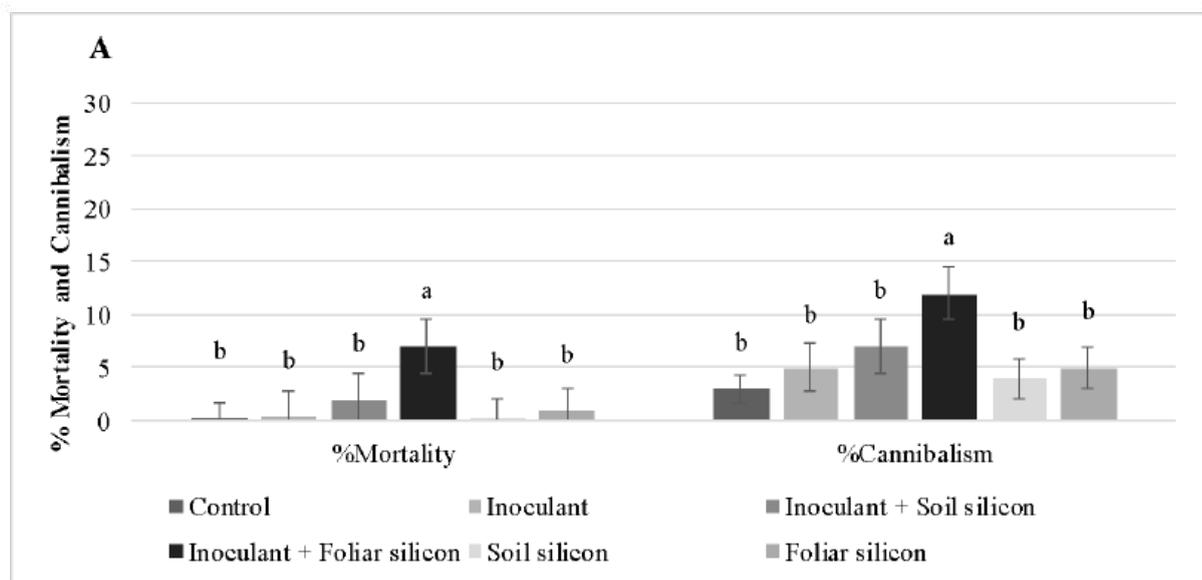
Source: Elaborate by the author.

### Survival of second instar larvae in the test with no food choice

Higher mortality and cannibalism rates of *S. frugiperda* at the end of the second instar were observed for larvae fed with leaves treated with inoculant and foliar silicon application after 16 days of planting (Figure 2A).

Figure 2A

Percentage of mortality and cannibalism of *S. frugiperda* larvae at the end of the second instar fed with corn leaves, with or without the addition of inoculant and silicon (bioassay 2) after one silicon application (16 days after planting). The bioassay was performed 4 days after application. Controlled conditions of  $25 \pm 2^\circ\text{C}$ , 12h photoperiod, and  $80 \pm 10\%$  RH



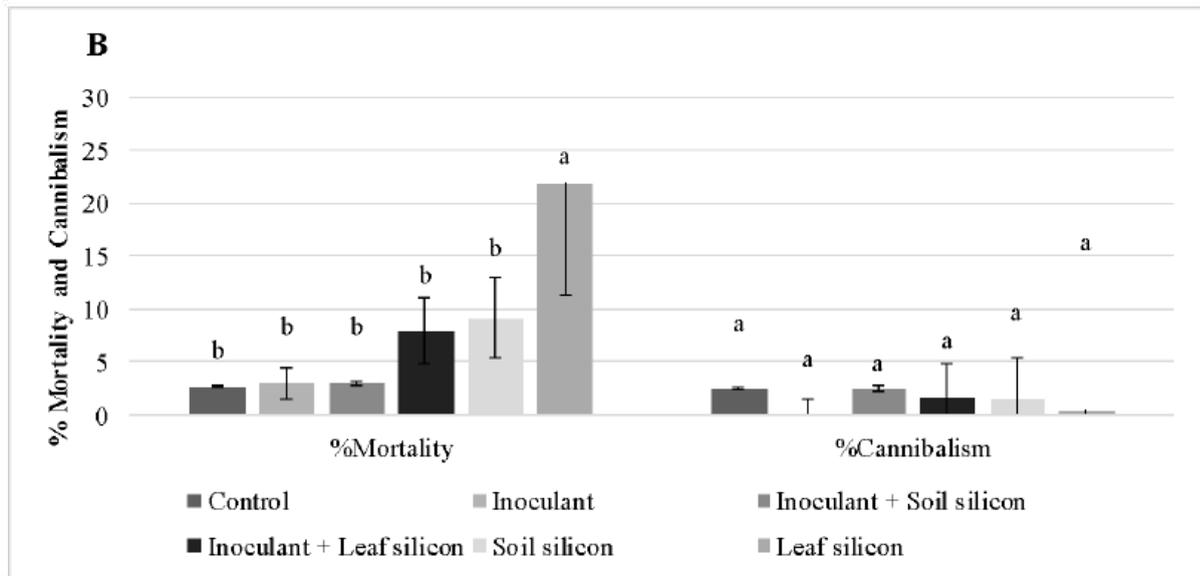
Note. Means  $\pm$  SD, followed by the same letter within the evaluation time did not differ statistically (Tukey,  $p \geq 0.05$ ). Data calculated as  $\sqrt{X + 0.5} \sqrt{X + 0.5}$ .

Source: Elaborate by the author.

Concerning the mortality, the treatment with foliar silicon applications at 16 and 26 days after planting showed the highest average (Figure 2B). Although the presence of cannibalism was observed, there was no difference between treatments (Figure 2B).

Figure 2B

Percentage of mortality and cannibalism of *S. frugiperda* larvae at the end of the 2nd instar fed with corn leaves, with or without the addition of inoculant and silicon (bioassay 2) after two applications (16 and 26 days after planting). The bioassay was carried out 2 days after the second silicon application. Controlled conditions of  $25 \pm 2^\circ\text{C}$ , 12h photoperiod, and  $80 \pm 10\% \text{RH}$



Note. Means  $\pm$  SD, followed by the same letter within the evaluation time did not differ statistically (Tukey,  $p \geq 0.05$ ). Data calculated as  $\sqrt{X + 0.5} \sqrt{X + 0.5}$ .

Source: Elaborate by the author.

### Effect of silicon on immature phases

Regarding the duration of the larval period, an increase in the total larval period was observed for the treatments with inoculant + foliar silicon, soil silicon, and foliar silicon, while the shortest larval period was observed for the control (Table 1). The sex ratio did not differ among treatments (Table 1).

Concerning the total larval mortality, the treatments with inoculant and inoculant + soil silicon had the highest mortality rates, with values of 16% and 15%, respectively. The treatments inoculant + foliar Si and soil Si had a mortality rate of 12% (Table 1).

Table 1

*Biological characteristics of S. frugiperda (bioassay 3) fed with inoculated maize and silicon-treated leaves (25 ± 2°C, 80 ± 10% RH and photoperiod of 12:12[L:D])*

Treatments	Larvae-adult duration (days)	Mortality total larvae-adult (%)	Sex ratio <sup>1</sup>
Control	13.03±0.48 b	0.01±0.16 c	0.15±0.61 <sup>ns</sup>
Inoculant	13.32±0.55 ab	0.03±0.17 bc	0.05±0.49
Inoculant + Soil silicon	13.63±0.72 ab	0.15±0.20 a	0.10±0.68
Inoculant + Foliar silicon	13.96±0.73 a	0.12±0.22 ab	0.10±0.64
Soil silicon	13.97±0.62 a	0.12±0.22 ab	0.10±0.64
Foliar silicon	14.09±0.50 a	0.16±0.22 a	0.10±0.70
CV (%)	2.83	43.65	12.19

Note. Means ± SD followed by the same letter in the columns for each species did not differ statistically (Tukey

test,  $p \leq 0.05$ ). <sup>ns</sup>ANOVA Not significant. <sup>1</sup>Data calculated as  $\sqrt{X + 0,5}$ .

Source: Elaborate by the author.

The average pupal weight was higher in the control and lower in the treatments containing foliar silicon (Table 2). Regarding the duration of the pupal phase, a difference was observed between the control and the other treatments, with a shorter and longer duration, respectively (Table 2). A significant difference was observed for wing deformation of adults among treatments, and the highest number of deformed individuals was observed for those fed with leaves treated with foliar silicon (Table 2). The treatments with *A. brasilense* inoculant and the control showed lower deformation of adults (Table 2).

Table 2

*Biological characteristics of S. frugiperda (bioassay 3) fed with inoculated maize and silicon-treated leaves (25 ± 2°C, 80 ± 10% RH and photoperiod of 12:12[L:D])*

Treatments	Pupal weight (g)	Pupae (days)	Deformed adults <sup>1</sup>
Control	0.32±0.15 a	10.25±0.44 b	0.25±0.71 b
Inoculant	0.28±0.16 ab	11.19±0.74 a	0.25±0.71 b
Inoculant + Soil silicon	0.27±0.17 ab	11.67±0.69 a	0.50±0.76 ab
Inoculant + Foliar silicon	0.25±0.12 b	11.67±0.49 a	1.25±0.71 ab
Soil silicon	0.27±0.18 ab	11.33±0.49 a	1.25±1.12 ab
Foliar silicon	0.26±0.13 b	11.33±0.69 a	2.00±0.90 a
CV (%)	9.21	3.42	18.74

Note. Means ± SD followed by the same letter in the columns for each species did not differ statistically (Tukey

test,  $p \leq 0.05$ ). <sup>ns</sup>ANOVA Not significant. <sup>1</sup>Data calculated as  $\frac{\sqrt{X+1} - \sqrt{X-1}}{2}$ .

Source: Elaborate by the author.

### Silicon concentration in the leaf determined by the molybdenum yellow method

There were no differences between the treatments for the amount of silicon in the leaves by the yellow method, both in young and old leaves submitted to Si application (Table 3). However, a difference was observed for young and old leaves in the treatment containing foliar Si, with a higher average for the old leaves (Table 3).

Table 3

*Silicon concentration (%) in new leaves (cartridge leaves) and old leaves (expanded leaves) using the yellow method (bioassay 4) with silicon application at 16 days after planting*

Treatments	Application (16 DAP)	
	New leaves (%) <sup>1</sup>	Old leaves (%)
Control	0.61±0.51 aA	0.88±0.47 aA
Inoculant	0.82±0.30 aA	1.17±0.66 aA
Inoculant + Soil silicon	0.83±0.60 aA	1.19±0.44 aA
Inoculant + Foliar silicon	0.77±0.64 aA	1.23±0.68 aA

Soil silicon	1.02±0.63 aA	1.28±0.44 aA
Foliar silicon	0.59±0.47 aB	1.32±0.51 aA
CV (%)	8.87	27.27

*Note.* Means ± SD followed by the same letter do not differ statistically, lowercase letters in the column and uppercase letters in the row, by the Tukey test at 5% probability. <sup>1</sup>Data calculated as  $\sqrt{X+1} \sqrt{X+1}$ .  
Source: Elaborate by the author.

After two silicon applications, there was no difference between the treatments for both young and old leaves (Table 4). However, the old leaves of the treatments with *A. brasilense* + foliar Si, and soil Si showed higher Si concentrations when compared to the young leaves (Table 4).

Table 4

*Silicon concentration (%) in new leaves (cartridge leaves) and old leaves (expanded leaves) using the yellow method (bioassay 4) with silicon application at 16 and 26 days after planting*

Treatments	Application (26 DAP)	
	New leaves (%)	Old leaves (%)
Control	0.32 ± 0.44 aA	0.69 ± 0.58 aA
Inoculant	0.26 ± 0.32 aA	0.52 ± 0.51 aA
Inoculant + Soil silicon	0.75 ± 0.70 aA	1.14 ± 0.59 aA
Inoculant + Foliar silicon	0.66 ± 0.41 aB	0.99 ± 0.17 aA
Soil silicon	0.50 ± 0.39 aB	1.26 ± 0.58 aA
Foliar silicon	0.53 ± 0.61 aA	1.37 ± 0.61 aA
CV (%)	9.21	7.73

*Note.* Means ± SD followed by the same letter do not differ statistically, lowercase letters in the column and uppercase letters in the row, by the Tukey test at 5% probability. Data calculated as  $\sqrt{X+1} \sqrt{X+1}$ .  
Source: Elaborate by the author.

### Peroxidase activity

No differences between the treatments were observed for the peroxidase activity of new leaves and old leaves after silicon application at 16 DAP (Table 5), which remained after two silicon applications (Table 6).

Table 5

*Peroxidase activity (Abs min<sup>-1</sup>.mg.protein<sup>-1</sup>) of new leaves (cartridge leaves) and old leaves (expanded leaves) (bioassay 5) with silicon application at 16 days after planting*

Treatments	Application (16 DAP)	
	New leaves	Old leaves
Control	0.04±0.24 <sup>ns</sup>	1.06±0.99 <sup>ns</sup>
Inoculant	0.24±0.68	0.20±0.39
Inoculant + Soil silicon	0.05±0.14	0.28±0.57
Inoculant + Foliar silicon	0.14±0.44	1.10±0.98
Soil silicon	0.02±0.07	0.36±0.62
Foliar silicon	0.25±0.67	0.37±0.52
CV (%)	18.39	28.28

Note. Means ± SD without significant differences by Tukey test at 5% significance. <sup>ns</sup>ANOVA Not significant.

Data calculated as  $\sqrt{X + 0.5} \sqrt{X + 0.5}$ .

Source: Elaborate by the author.

Table 6

*Peroxidase activity (Abs min<sup>-1</sup>.mg.protein<sup>-1</sup>) of new leaves (cartridge leaves) and old leaves (expanded leaves) (bioassay 5) with silicon application at 16 and 26 days after planting*

Treatments	Application (16 and 26 DAP)	
	New leaves	Old leaves
Control	0.03±0.12 <sup>ns</sup>	0.38±0.64 <sup>ns</sup>
Inoculant	0.15±0.41	0.51±0.68
Inoculant + Soil silicon	0.12±0.44	0.46±0.61
Inoculant + Foliar silicon	0.12±0.19	0.33±0.42
Soil silicon	0.13±0.29	0.31±0.41
Foliar silicon	0.12±0.31	0.36±0.51
CV (%)	9.63	18.66

Note. Means  $\pm$  SD without significant differences by Tukey test at 5% significance. <sup>ns</sup>ANOVA Not significant.

Data calculated as  $\sqrt{X + 0.5} \sqrt{X + 0.5}$ .

Source: Elaborate by the author.

### Phenylalanine ammonia-lyase (FAL) activity

There was no difference in phenylalanine ammonia-lyase (PAA) activity for all treatments, both for young and old leaves submitted to only one silicon application (Table 7), which was also not observed after two silicon applications (PAF) (Table 8).

Table 7

*Phenylalanine ammonia-lyase (FAL) activity (Abs min<sup>-1</sup>.mg.protein<sup>-1</sup>) of new leaves (cartridge leaves) and old leaves (expanded leaves) (bioassay 5) with silicon application at 16 days after planting*

Treatments	Application (16 DAP)	
	New leaves <sup>1</sup>	Old leaves <sup>2</sup>
Control	1.46 $\pm$ 1.14 <sup>ns</sup>	0.27 $\pm$ 0.50 <sup>ns</sup>
Inoculant	2.36 $\pm$ 1.41	0.26 $\pm$ 0.61
Inoculant + Soil silicon	2.04 $\pm$ 1.27	0.44 $\pm$ 0.51
Inoculant + Foliar silicon	1.60 $\pm$ 1.30	0.23 $\pm$ 0.37
Soil silicon	1.49 $\pm$ 0.91	0.20 $\pm$ 0.35
Foliar silicon	1.30 $\pm$ 0.95	0.28 $\pm$ 0.56
CV (%)	25.31	17.64

Note. Means  $\pm$  SD with significant differences by Tukey test at 5% significance. <sup>ns</sup>ANOVA Not significant.

<sup>1</sup>Data calculated as  $\sqrt{X + 1} \sqrt{X + 1}$ . <sup>2</sup>Data calculated as  $\sqrt{X + 0.5} \sqrt{X + 0.5}$ .

Source: Elaborate by the author.

Table 8

*Phenylalanine ammonia-lyase (FAL) activity (Abs. min<sup>-1</sup>.mg.protein<sup>-1</sup>) of new leaves (cartridge leaves) and old leaves (expanded leaves) (bioassay 5) with silicon applications at 16 and 26 days after planting*

Treatments	Application (16 and 26 DAP)	
	New leaves	Old leaves
Control	0.48±0.40 <sup>ns</sup>	0.27±0.48 <sup>ns</sup>
Inoculant	0.59±0.63	0.68±0.63
Inoculant + Soil silicon	0.90±0.64	0.87±0.65
Inoculant + Foliar silicon	0.78±0.94	0.20±0.39
Soil silicon	0.72±0.92	0.20±0.41
Foliar silicon	0.70±0.47	0.42±0.56
CV (%)	23.01	15.60

Note. Means ± SD with significant differences by Tukey test at 5% significance. <sup>ns</sup>ANOVA Not significant. Data

calculated as  $\sqrt{X + 0.5} \sqrt{X + 0.5}$ .

Source: Elaborate by the author.

## Discussion

The feeding preference of second instar larvae for the untreated leaves was probably due to the deposition of amorphous silica in the epidermal cell wall of plant tissues, forming a physical barrier, increasing the hardness of plant tissues, and reducing digestibility and access to nitrogen and carbon during digestion (Keeping, Kvedaras, & Bruton, 2009; Dias et al., 2014).

Similar results were reported by Nascimento et al. (2014), who found no feeding preference in silicon-treated rice plants when compared to the control, and concluded that silicon application in rice affects the feeding preference of *S. frugiperda*. Moreover, more effective results were observed for foliar application, with greater practicality of application, as also reported by Reis et al. (2007).

Given the results of this study and its correlation with similar studies in crops of the Poacea family (Reis et al., 2007), it is possible to assume that the feeding preference of caterpillars is directly correlated to the silicon deposition on corn leaves. The use of the biological inoculant *A. brasilense* also interfered in the feeding preference of second instar

larvae. Probably, the inoculant bacteria acted on plant growth through the production of growth-promoting substances, providing better root growth, improving water and nutrient absorption, thus resulting in a more vigorous plant (Correa et al., 2008; Hungria et al., 2010), which makes the plant less attractive to insects (Dourado Neto & Severino, 2001).

The mortality and cannibalism observed for the treatments with foliar silicon are due to the increase in leaf tissue stiffness. Similar results were observed by Goussain et al. (2002), who verified mortality of 2nd instar *S. frugiperda* larvae treated with silicon. Thus, it is possible to correlate these results with the hypothesis that Si increases the resistance of plant tissues, increasing the thickness of the epidermis, which makes it difficult for pest insects, such as larvae, to chew (Datnoff, Snyder & Korndörfer, 2001), leading to death.

However, the inoculant *A. brasilense* also affected the cannibalism index, when used together with foliar silicon application. This result may have been due to *A. brasilense* enables biological nitrogen fixation and increased nutrient absorption (Hungria et al., 2010), which may have increased the silicon absorption, leading to this type of behavior, favored by the food stress of *S. frugiperda*.

Although studies have shown increased nutrient absorption using this bacterium in seed inoculation, few studies have correlated *A. brasilense* with pest control. Thus, it is possible to suggest the hypothesis that this bacterium can favor the silicon absorption by the plant, allowing the hardening of the tissues, thus making it difficult to feed the larvae. However, although cannibalism was verified after two silicon applications, no difference was observed between the treatments. In contrast, Goussain et al. (2002) observed a higher cannibalism rate rather than mortality of *S. frugiperda* larvae confined with silicon-treated leaves. However, it is noteworthy that in this study, larval mortality increased exponentially after two foliar silicon applications, which may explain the low cannibalism rate.

The longer total larval period in silicon-containing treatments may be correlated with lower palatability and digestibility and lower food acceptance in the first instars, thus increasing the larval period. Moreover, these results may be due to the quality and quantity of food consumed, which may affect the development time, body weight, and survival of lepidopterans, including *S. frugiperda* (Nation, 2002; Golizadeh et al., 2009; Silva et al., 2017).

In the pupal phase, a lower duration was observed for the control, with the emergence of adults before the other treatments, accelerating the reproduction cycle of these pests. In contrast, Nogueira et al. (2018) found no differences in the pupal phase when feeding larvae with treated and untreated silicon rice plants.

Regarding the pupal weight, a higher average was observed for the control, suggesting that these larvae were fed without limiting factors, such as stiffness of plant tissue towards silicon. These results once again are correlated with the quality and quantity of food consumed, thus affecting pupal weight (Silva et al., 2017). Thus, it is important to correlate the pupal weight with the size of the emerged adult since the heavier the pupae, the larger the emerged adult and, consequently, the greater the acceptance and access to the copulation, increasing the reproduction of this species (Panizzi & Parra, 2009).

The lowest pupal weight was observed for the treatments with foliar silicon application, with advantages over the drench method due to the ease of application. The inoculant *A. brasilense* also affected pupal weight when combined with foliar silicon, leading to the hypothesis of improved plant nutrition and increased silicon absorption.

The treatments did not affect the sex ratio, thus they did not act in determining the sexes of the species studied. In contrast, Nogueira et al. (2018) found differences in sex ratio when comparing *S. frugiperda* larvae fed on rice plants without and with the application of silicon. The sex ratio may be affected by the quality and quantity of food consumed in the larval phase, as well as other species parameters (growth rate, development time, final weight, dispersion, and survival) and, in certain cases, fertility and dispersion of adults (Nation, 2002; Golizadeh et al., 2009; Silva et al., 2017).

The higher rate of individuals with deformed wings from the silicon-containing treatments may also be due to the nutritional inadequacy (quality and quantity of foods offered in the larval phase), causing this abnormality, highlighting its impact on the development of *S. frugiperda*.

Silicon affected the behavior and biology of *S. frugiperda*, including mortality. It is worth emphasizing that the highest mortality was observed in the pre-pupal phase, thus suggesting that the silicon treatments reduced the larvae feeding, not allowing them to accumulate enough energy for the metamorphosis process. This result may be probably due to the deposition of silica on the leaf tissues, preventing the larvae from feeding properly, thus not meeting the nutritional requirements. It is noteworthy that insect nutrition is classified into qualitative and quantitative aspects. Qualitative aspects refer to the basic nutritional requirements of essential and non-essential nutrients (Parra, Panizzi, & Haddad, 2009), which can be correlated with the present results. Those authors have reported that the quantitative nutrition aspects refer to the amount of food ingested, digested, assimilated, and converted into growth tissues. However, it cannot be stated that larvae have ingested smaller amounts of food once the leaf consumption was not investigated. The effect of silicon may also be

associated with hormonal changes in larvae, interfering with ecdysis, affecting their metamorphosis (Bogorni & Vendramim, 2005).

In general, the highest mortality rate observed for the silicon-containing treatments may be due to the physical barrier of silicon, making the plant tissues more rigid (Fawe et al., 2001), which can lead to food stress and a higher mortality rate.

Studies on silicon application concerning the behavioral aspects and biology of *S. frugiperda* have shown a physical barrier formation in plants (Jones & Handreck, 1967; Malavolta, 1980; Marschner, 1995). According to Malavolta (1980), the uptake and accumulation in plant cells vary from species to species. Therefore, it is important to highlight that grasses have a greater capacity to accumulate silicon, leading to the suppression of larvae feeding and changes in their development and behavior.

The higher silicon concentration observed in the old leaves when compared to the young leaves may be due to the mobility of silicon in the plant, suggesting a greater accumulation in the old leaves, which is not redistributed in young leaves. According to Wise, Nikolic, and Römheld (2007), silicon deposits on old plant sections may not be redistributed to the new section, with higher silica concentrations in the shoot rather than the root, and higher concentration in the old leaves and the basal part of the grass leaves, once these plants are silicon accumulators. This behavior is due to the type of silicon deposition on the plants (amorphous silica  $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ), in which silicon is poorly mobile or immobile since it combines with cellular organic compounds such as cellulose and hemicellulose, which impairs the mobilization process (Balastra et al., 1989 & Jarvis, 1987).

Although few studies have reported the effect of the use of *A. brasilense* inoculant together with silicon application, a higher silicon concentration was observed in old leaves, once it can improve root growth and increase the absorption of water and nutrients (Hungria et al., 2010). Therefore, it is suggested that the use of *A. brasilense* may have increased silicon absorption.

When accumulated in the leaf epidermis, silicon can activate genes involved in the production of secondary metabolites and plant defense-related enzymes (Gratão et al., 2005), such as peroxidase and phenylalanine ammonia-lyase (FAL) (Gomes et al., 2005). Gomes et al. (2005) have reported that the enzymes peroxidase and phenylalanine ammonia-lyase (FAL) are involved in the lignin synthesis route from phenolic compounds in the phenylpropanoid pathway.

Higher peroxidase and phenylalanine ammonia-lyase (FAL) activities are directly related to the increase in plant resistance against adversity, which may cause deficits in plant

development, such as pest and disease attacks (Janas et al., 2000).

However, this event was not verified in this study, probably due to the temperature at the time of collection, once higher temperatures were observed during the experiment period in the northern region of Parana, with averages between 25.1 °C and 24 °C in January and February, respectively (Agrometeorology Laboratory - EMBRAPA SOJA, 2019). This inference is corroborated by Gobbo and Lopes (2007), who reported that high temperatures led to excessive loss of secondary metabolites due to the degradation of the leaf tissue (Duarte, 2010).

Opposite results were observed by Gomes et al. (2005), who found an increase in peroxidase activity in wheat plants with silicate fertilization. Also, Gomes et al. (2008) found an increase in peroxidase activity in potato plants subjected to foliar and soil silicon applications, when compared to plants not subjected to silicon application.

The enzyme peroxidase stands out in the biotechnological scenario once it is found in various natural sources, it does not depend on cofactors and acts on a large number of substrates (Mohamed et al., 2011). This enzyme belongs to the group of reducing oxides and participates in several physiological processes, such as lignification (Gomes et al., 2005).

Regarding the phenylalanine ammonia-lyase (FAL), Gomes et al. (2005) found no increase in FAL activity in wheat leaves when using silicon, thus corroborating the present study. Gomes et al. (2008) also observed that silicate fertilization of potato plants did not affect FAL activity, while Guerra et al. (2013) reported that silicate fertilization of cotton increased the FAL activity, differing from this study.

The enzyme phenylalanine ammonia-lyase (FAL) arouses much interest among researchers due to its importance in the secondary metabolism of plants. It stands out as a key and regulatory enzyme in the biosynthesis pathway of phenylpropanoids and their derivatives (Cheng et al., 2001). According to those authors, FAL is responsible for the deamination of amino acid L-phenylalanine, changing into trans-cinnamic acid and ammonia, and can be incorporated in several phenolic compounds, which are present in the formation of esters, coumarins, flavonoids, and lignins. Importantly, it is stimulated and regulated by environmental factors such as plant nutritional level, light, among other factors (Barros et al., 2010).

According to the results of the present study, the low mobility of silicon impaired its redistribution from the old parts to the new parts of the plant. It is worth noting that although studies have shown a relationship between silicon and increased enzymatic activities such as peroxidase and FAL, this behavior was not observed in this study. Therefore, it is assumed

that silicon may have conferred only a physical barrier, once it affected the behavioral parameters and biology of *S. frugiperda*. However, further studies are needed for this statement. It is also important to mention that few studies have reported the correlation between the use of *A. brasilense* inoculant and enzymatic activities, which was not observed in the present study, suggesting that the inoculant acts in other physiological areas such as higher root growth, plant height, and chlorophyll contents rather than the enzymatic activity associated with resistance induction of plants.

### Conclusion

The present results showed that silicon can be considered as an alternative in reducing injuries caused by *S. frugiperda*. In addition, the foliar application was more effective when compared to the drench route, considering the practicality at the time of application, which can be an alternative to the ecologically-based production systems, besides reducing the use of synthetic insecticides. Further studies are needed to understand the impact of leaf consumption, once a higher mortality rate was observed in the pre-pupal phase.

Also, it was observed that silicon was not redistributed from old to new leaves, with no effect on the resistance induction through the peroxidase and phenylalanine ammonia-lyase (FAL) activities for both old and leaves. However, the effect of silicon on the resistance induction of plants deserves attention.

Regarding the use of the inoculant *A. brasilense*, no direct effect was observed for the parameters studied, suggesting an effect on the physiological parameters of the plant, which was not evaluated in this study.

## References

- Balastra, M. L. F., Perez, C. M., Juliano, B. O., & Villreal, P. (1989). Effects of silica level on some properties of *Oryza sativa* straw and hult. *Canadian Journal of Botany*, 67(8), 2356-2363.
- Barros, E. M., Torres, J. B., & Bueno, A. F. (2010). Oviposição, desenvolvimento e reprodução de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) em diferentes hospedeiros de importância econômica. *Neotropical Entomology*, 39(6), 996-1001.
- Barros, F. C., Sagata, E, Ferreira, L. C. C., & Juliatti, F. C. (2010). Indução de resistência em plantas contra Fitopatógenos. *Bioscience Journal*, 26(2), 231-239.
- Baysal, O., Soyly, E. M., & Soyly, S. (2003). Induction of defence-related enzymes and resistance by the plant activator acibenzolar-S-methyl in tomato seedlings against bacterial canker caused by *Clavibacter michiganensis ssp. Michiganensis*. *Plant Pathology*, 52, 747753.
- Bogorni, P. C., & Vendramim, J. D. (2005). Efeito subletal de extratos aquosos de *Trichilia* spp. sobre o desenvolvimento de *Spodoptera frugiperda* (J.E.Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) em milho. *Neotropical Entomology*, 34, 311-317.
- Bowling, C. C. (1967). Rearing of two lepidopterous pests of rice on common artificial diet. *Annals of the Entomological Society of America*, 60(6), 1215-1216.

- Bueno, R. C. O. F., Bueno, A. F., Moscardi, F., Parra, J. R., & Hoffmann-Campo, C. B. (2011). Lepidopteran larvae consumption of soybean foliage: basis for developing multiple-species economic thresholds for pest management decisions. *Pest Management Science*, 67,170-174.
- Butt, B. A., & Cantu, E. (1962). *Sex determination of lepidopterous pupae*. Washington, DC: USDA.
- Cheng, S. H., Sheen, J., Gerrish, C., & Bolwell, G. P. (2001). Molecular identification of phenylalanine ammonia-lyase as a substrate of a specific constitutively active Arabidopsis CDPK expressed in maize protoplasts. *FEBS Letters*, 503(2/3), 185-8.
- Clark, P. L., Molina-Ochoa, J., Martinelli, S., Skoda, S. R., Isenhour, D. J.; Lee, D. J., Krumn, J. T., & Foster, J. E. (2007). Population variation of *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) in the Western Hemisphere. *Journal of Insect Science*, 7,1–10.
- Correa, O. S., Romero A. M., Soria, M. A., & Estrada, M. de. (2008). *Azospirillum brasilense*-plant genotype interactions modify tomato response to bacterial diseases, and root and foliar microbial communities. In: Fabricio Dario Cassan & Ines Garcia de Salamone. (Eds.) *Azospirillum sp.: cell physiology, plant interactions and agronomic research in Argentina* (p. 87-95). Buenos Aires: Asociación Argentina de Microbiología.

- Dannon, E. A., & Wydra, K. (2004, May). Interaction between silicon amendment, bacterial wilt development and phenotype of *Ralstonia solanacearum* in tomato genotypes. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 64(5), 233-243.
- Datnoff, L. E., Snyder, G. H., & Korndörfer, G. H. (2001). *Silicon on agriculture* (403 p.). Amsterdam: Elsevier Science.
- Dias, P. A. S., Sampaio, M. V., Rodrigues, M. P., Korndörfer, A. P., Oliveira, R. S., Ferreira, S. E., & Korndörfer, G. H. (2014, Ago). Induction of resistance by silicon in wheat plants to alate and apterous morphs of *Sitobion avenae* (Hemiptera: Aphididae). *Environmental Entomology*, 43(4), 949-956. Doi: 10.1603/EN13234.
- Dixon R. A., Harrison, M. J., & Lamb, C. J. (1994). Early events in the activation of plant defense responses. *Annual Review of Phytopathology*, 32, 479-501.
- Dourado Neto, D., & Severino, F. J. (2001). *A teoria da Trofobiose*. Piracicaba: Universidade de São Paulo.
- Duarte Filho, P. (2010). *Cinética Enzimática*. Bagé – RS: Universidade Federal do Pampa.
- Epstein, E. (2001). Silicon in plants: facts vs concepts. In: L. E. Datnoff, G. H. Snyder, & G. H. Korndörfer (eds.). *Silicon in agriculture* (403 p.). The Netherlands: Elsevier Science.

- Epstein, E. (1994). The anomaly of silicon in plant biology. *Proceedings National of Academy Science*, 91, 11-17.
- Fawe, A., Menzies, J. G., Chérif, M., & Bélanger, R. R. (2001). Silicon and disease resistance in dicotyledons. In: L. E. Datnoff, G. H. Snyder, & G. H. Korndörfer (Eds.). *Silicon in agriculture* (403 p.). The Netherlands: Elsevier Science.
- Feng, M. J. (2004). Role of silicon in enhancing the resistance of plants to biotic and abiotic stresses. *Soil Science and Plant Nutrition*, 50(1), 11-18.
- Ferreira, D. F. (2014). Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. *Ciência e Agrotecnologia*, 38(2), 109-112.
- Gerasimova, N. G., Pridvorova, S. M., & Ozeretskoykaya, O. L. (2005). Role of L-phenylalanine ammonia-lyase in the induced resistance and susceptibility of potato plants. *Applied Biochemistry and Microbiology*, 41, 103-105.
- Gobbo Neto, L., & Lopes, N. P. (2007). Plantas Medicinais: fatores de influência no conteúdo de metabólitos secundários. *Química Nova*, 30(2), 374-81.
- Golizadeh, A., Kamali, K., Fathipour, Y., & Abbasipour, H. (2009). Life table of the diamondback moth, *Plutellaxylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae) on five cultivated brassicaceous host plants. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 11, 115-124.

Gomes, F. B., Moraes, J. C., Santos, C. D., & Goussain, M. M. (2005, Nov./Dez.). Resistance induction in wheat plants by silicon and aphids. *Scientia Agricola*, 62(6), 547-551.

Gomes, F. B., Moraes, J. C., Santos, C. D., & Antunes, C. S. (2008, mar./abr.). Uso de Silício como indutor de resistência em batata a *Myzus persicae* (Sulzer) (Hemiptera: Aphididae). *Neotropical Entomology*, 37(2), 185-190.

Goussain, M. M., Moraes, J. C., Carvalho, J. G., Nogueira, N. L., & Rossi, M. L. (2002). Efeito da aplicação de silício em plantas de milho no desenvolvimento biológico da lagarta-do-cartucho *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). *Neotropical Entomology*, 31(2), 305-310.

Gratão, P. L., Polle, A., Lea, P. J., & Azevedo, R. A. (2005). Making the life of heavy metal-stressed plants a little easier. *Functional Plant Biology*, 32, 481-494.

Guerra, A. M. N. M., Rodrigues, F. A., Berger, P. G., Barros, A. F., Silva, Y. C. R., & Lima, T. C. (2013). Aspectos bioquímicos da resistência do algodoeiro à ramulose potencializada pelo silício. *2 Bragantia*, 72(3), 292-303.

Hallmark, C. T., Wilding, L. P., & Smeck, N. E. Silicon. (1982). Methods of soil analysis, Chemical and Microbiological properties v.2.: Madison. *Agronomy Monograph*, (9), 263-273.

- Hungria, M., Campo, R. J., Souza, E. M., & Pedrosa, F. O. (2010). Inoculation with selected strains of *Azospirillum brasilense* and *A. lipoferum* improves yields of maize and wheat in Brazil. *Plant and Soil*, 331, 413-425.
- Janas, K., Cvikrová, M., Palagiewicz, A., & Eder, J. (2000). Alterations in phenylpropanoid content in soybean roots during low temperature acclimation. *Plant Physiology and Biochemistry*, 38(7/ 8), 587-93.
- Jarvis, S. C. (1987). The uptake and transport of silicon by perennial ryegrass and wheat. *Plant and Soil*, Dordrecht, 97(3), 429-437.
- Jones, L. H. P., & Handreck, K. A. (1967). Silica in soils, plant and animals. *Advances in Agronomy*, 19, 107-149.
- Keeping, M. G., Kvedaras, O. L., & Bruton, A. G. (2009). Epidermal silicon on sugarcane: cultivar differences and role in resistance to sugarcane borer *Eldana saccharina*. *Environmental and Experimental Botany*, 60(1), 54-60.  
Doi:10.1016/j.envexpbot.2008.12.012.
- Korndörfer, G. H., Pereira, H. S., & Nolla, A. (2004). Análise de silício: solo, planta e fertilizante. *Boletim Técnico*, (1), 34.
- Lusso, M. F. G., & Pascholati, S. F. (1999). Activity and isoenzymatic pattern of soluble peroxidases in maize tissues after mechanical injury or fungal inoculation. *Summa Phytopathologica*, 25, 244-249.

- Macagnan, D., Romeiro, R. S., Baracat Pereira, M. C., Lanna Filho, R., Batista, G. S., & Pomella, A. W.V. (2008). Atividade de enzimas associadas ao estado de indução em mudas de cacaueteiro expostas a dois actinomicetos residentes de filoplano. *Summa Phytopathologica*, 34, 34-37.
- Malavolta, E. (1980). *Elementos de nutrição mineral de plantas* (251p.). São Paulo: Agronômica Ceres.
- Marschner, H. (1995). *Mineral nutrition of higher plants* (887p.). New York: Academic Press.
- Mohamed, S. A., Abulnaja, K. O., Ads, A. S., Khan, J. A., & Kumosani, T. A. (2011). Characterisation of an anionic peroxidase from horseradish cv. *Food Chemistry*, 128, 725-730.
- Nagoshi, R. N. (2009). Can the amount of corn acreage predict fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) infestation levels in nearby cotton? *Journal of Economic Entomology*, 102, 210- 218.
- Nascimento, A. M., Assis, F. A., Moraes, J. C., & Sakomura, R. (2014). Não preferência a *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) induzida em arroz pela aplicação de silício. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 9, 215–218.
- Nation, J. L. (2002). *Insect Physiology and Biochemistry*. Boca Raton: CRC Press.

- Nogueira, A. M., Jesus, K. A., Lins Junior, J. C., & Bezerra, C. E. S. (2018). Efeito do silício no desenvolvimento de *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) na cultura do arroz. *Connection Line*, 19.
- Panizzi, R. A., & Parra, J. R. P. (2009). Consumo e utilização do alimento para o crescimento da fase larval. In: A. R. Panizzi, & J. R. P. Parra (Eds.). *Bioecologia e nutrição de insetos: base para o manejo integrado de pragas* (Cap.2, p. 65- 90). Brasília: Embrapa Informação Tecnológica.
- Parra, J. R. P., Panizzi, A. R., & Haddad, M. L. (2009). Índices nutricionais para medir consumo e utilização de alimentos por insetos. In: A. R. Panizzi, & J. R. R. Parra (Eds.). *Bioecologia e nutrição de insetos: base para o manejo integrado de pragas* (p. 37-90). Brasília: Embrapa Informação Tecnológica.
- Pogue, G. M. (2002). A world revision of the genus *Spodoptera* Guenée (Lepidoptera: Noctuidae). *Memoirs of the American Entomological Society*, 43,1-202.
- Prowell, D. P., Mcmichael, M., & Silvain, J. F. (2004). Multilocus genetic analysis of host use, introgression, and speciation in host strains of fall armworm (Lepidoptera: Noctuidae). *Annals of the Entomological Society of America* 97,1034-1044.
- Reis, T. H. P., Guimarães, P. T. G., Figueiredo, F. C., Pozza, A. A. A., Nogueira, F. D., & Rodrigues, C. R. (2007). *O silício na nutrição e defesa de plantas*. Belo Horizonte: EPAMIG.

Silva, D. M., Bueno, A. F., Andrade, K., Stecca, C. S., Neves, P. O. M. J., & Oliveira, M. C.

N. (2017, Jan/Feb). Biology and nutrition of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) fed on different food sources. *Scientia Agricola*, 74(1), 18-31.

Stadinik, M. J. (2000). Indução de resistência a oídios. *Summa Phytopathologica*, 26, 175-177.

Umesha, S. (2006). Phenylalanine ammonia lyase activity in tomato seedlings and its relationship to bacterial canker disease resistance. *Phytoparasitica*, 34(1), 68- 71.

Van Loon, L. C., Bakker, P. A. H. M., & Pieterse, C. M. J. (1998). Systemic resistance induced by rhizosphere bacteria. *Annual Review of Phytopathology*, 36, 453-483.

Wisemam, B. R., & Widstron, N. W. (1986). Mechanisms of resistance in “Zapalote Chico” corn silks to fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) larvae. *Journal of Economic Entomology*, 795, 1390-1393.

Wise, H., Nikolic, M., & Römheld, V. (2007). Silicon in plant nutrition - Effects on zinc, manganese and boron leaf concentrations and compartmentation. In: Burkhard Sattelmacher, & Walter J. Horst (Eds.). *The apoplast of higher plants: compartment of storage, transport and reactions* (p. 33-470). London: Springer.

**Cobertura Vegetal e o Incremento de Matéria Orgânica em Agrossistemas no Semiárido: Uma revisão****Vegetation Cover and the Increase of Organic Matter in Agrosystems in the Semiarid Region: A Review**

Sueline Silva de Souza<sup>1</sup>, Jorge da Silva Júnior<sup>2</sup>, Edonilce Barros da Rocha<sup>3</sup>, Gilvânia Patrícia do Nascimento Paixão<sup>4</sup>, Fábio Del Monte Coccozza<sup>5</sup>, Cristiane Domingos da Paz<sup>6</sup>, Ana Rosa Peixoto<sup>7</sup>

DOI: <https://10.52719/bjas.v6i2.4376>

**Resumo**

A ação antrópica tem gerado efeitos deletérios no equilíbrio dos ecossistemas, impactando, solo, a cobertura vegetal e conseqüentemente toda a biodiversidade. Posto, o presente estudo teve por objetivo, discutir a importância da cobertura vegetal para o estabelecimento de um solo saudável, capaz de promover equilíbrio e sustentabilidade em agrossistemas semiáridos. Para tanto, utilizou-se como metodologia para a pesquisa, a análise bibliográfica, tendo por materiais, artigos, dissertações, teses e legislações concernentes ao tema. A presente pesquisa, deixou evidente que a cobertura vegetal do solo em regiões semiáridas, contribuem para o equilíbrio dos ecossistemas, à medida que mitigam o escoamento superficial, propiciam uma maior infiltração da água no solo, diminuem a evapotranspiração e a erosão. São apontados como causadores de perturbações ambientais no semiárido, a prática agrícola, pecuária e extrativista desmedida, que se convertem principalmente em desmatamento, impactando os três biomas que compõe a região. Aponta-se como meio de enfrentamento de tal problemática, a adoção de práticas de manejo mais sustentáveis, que se assemelhem aos sistemas naturais, a exemplo da implementação de sistemas agroflorestais - SAFs, utilização de cobertura morta, uso de cordões vegetativos e prática de pousio. Por fim, conclui-se que, há uma necessidade eminente de políticas públicas voltadas as especificidades semiáridas, no tocante a aspectos ambientais, sociais, econômicos e culturais, sendo extremamente importante o desenvolvimento de ações de suporte educacional e de extensão rural.

**Palavras-Chave:** Solo. Ecossistemas. Sustentabilidade.

**Abstract**

The anthropic action has generated deleterious effects on the balance of ecosystems, impacting the soil, vegetation cover and consequently all biodiversity. Therefore, this study aimed to discuss the importance of vegetation cover for the establishment of a healthy soil,

1 Universidade Estadual da Bahia-UNEB. Email:suelines@yahoo.com.br

2 Universidade Estadual da Bahia-UNEB. Email:jorsilva@uneb.br

3 Universidade Estadual da Bahia-UNEB. Email:eb Barros@uneb.br

4 Universidade Estadual da Bahia-UNEB. Email:gpaixao@uneb.br

5 Universidade Estadual da Bahia-UNEB. Email:fabiococcozza@uneb.br

6 Universidade Estadual da Bahia-UNEB. Email:cpaz@uneb.br

7 Universidade Estadual da Bahia-UNEB. Email: anarpeixoto@gmail.com

capable of promoting balance and sustainability in semiarid agrosystems. For this purpose, bibliographic analysis was used as a methodology for the research, including materials, articles, dissertations, theses, and legislation concerning the subject. The present research made it clear that the vegetation cover of the soil in semiarid regions contributes to the balance of ecosystems, as they mitigate surface runoff, provide greater infiltration of water into the soil, reduce evapotranspiration and erosion. Unreasonable agricultural, livestock and extractive practices are pointed out as causing environmental disturbances in the semiarid region, which are mainly converted into deforestation, impacting the three biomes that make up the region. The adoption of more sustainable management practices, similar to natural systems, such as the implementation of agroforestry systems - SAFs, use of mulch, use of vegetative cords and fallow. Finally, it is concluded by stating that there is an eminent need for public policies aimed at semiarid specificities, with regard to environmental, social, economic and cultural aspects, with the development of educational support and rural extension actions being extremely important.

**Keywords:** Ground. Ecosystems. Sustainability.

### Introdução

O uso indiscriminado do solo, sem levar em consideração as adequadas formas de manejo e especificidades biofísico-químicas, podem acarretar a inviabilidade da atividade agrícola, e a região semiárida encontra-se extremamente suscetível a esta realidade.

Santos e Pacheco (2017), apontam que os processos de exploração da terra nos moldes latifundiários, com prática extensiva da pecuária apresentam-se como os principais vilões da degradação da vegetação nativa do semiárido e o crescente processo de desertificação ocorrido na região, pois impacta sobremaneira, um importante elemento desta equação, o solo.

Diante do exposto, destaca-se que o presente trabalho objetiva discutir, à luz de pesquisa bibliográfica, a importância da cobertura vegetal para o estabelecimento de um solo saudável, capaz de promover equilíbrio e sustentabilidade em agrossistemas semiáridos.

Compreendido como um organismo vivo, permeado de complexidades, Vital et al. (2018) afirma, que o solo apresenta dispares funções, embora muitas destas ainda sejam desconhecidas e pouco valorizadas. Neste mesmo sentido, Melo et al. (2019), chama atenção para o fato de que o solo é recurso base (na maioria dos casos), para a ocorrência da produção agrícola, não devendo portanto, reduzi-lo à apenas partículas minerais – argila, areia e silte, mas também, vislumbra-lo a partir de componentes como a água, ar, material orgânico e organismos vivos, percebendo portanto, que o equilíbrio entre estes diversos elementos, dita um maior potencial produtivo, bem como sustentabilidade agrícola em vários aspectos.

Segundo Silva et al (2020), o solo constitui-se em local de maior depósito de carbono da biosfera, fator este, extremamente relevante para a realização de vários processos ecológicos no ecossistema, tais como manutenção da biodiversidade, armazenamento de água e provisão de nutrientes. Desta forma, afirma-se que o solo possui relevante papel nos ciclos naturais, à medida que impacta de forma direta ou indireta, todas as atividades que ocorrem no ambiente (Silva, 2017).

A perda da biodiversidade, conseqüente da degeneração do solo, traz consigo como efeito rebote, o risco da perda completa da vegetação nativa e intensificação da erosão do solo, impactando atividades agriculturáveis ou não. Desta forma, pode-se aferir que, a degradação promovida pela ação antrópica no solo, possui reflexos tamanhos, de modo, que atingem não apenas a escala ambiental do local, mas também socioeconômica, pois afeta principalmente os agricultores familiares, que acabam por não ter condições de retirar da terra seu sustento, tampouco encontram formas de alimentar o seu rebanho (Santos & Pacheco, 2017).

A conscientização da população acerca do labor na terra, porém com manutenção e preservação da cobertura vegetal, realizando articulação entre vegetação natural e inserida, constitui-se relevante processo, para evitar a perda da biodiversidade em termos de fauna, flora e solo. De forma que é factível afirmar que a utilização de cobertura vegetal constitui-se em relevante estratégia de incremento de matéria orgânica para o agrossistema semiárido, objetivo portanto deste estudo.

Corroborando a afirmativa supra, contida no objetivo explicitado, Costa (2016) e Iwata (2015), destacam que numa tentativa de minimizar os efeitos deletérios da ação humana na região semiárida, agricultores familiares tem adotado práticas conservacionistas e sistemas agroflorestais - SAFs, como meio de fomentar a preservação do solo, num modal mais próximo ao natural, visto que a diversidade de culturas contidas nestes sistemas, acabam por propiciar um aporte contínuo, maior e mais diverso de matéria orgânica, impactando positivamente nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo.

Diante do exposto, conclui-se portanto, que o equilíbrio de ecossistemas semiáridos, perpassa pela capacidade de resiliência apresentada pelo solo associada a conscientização humana, da necessidade de adotar métodos de exploração dos recursos naturais, com observância na capacidade de suporte deste, levando-nos a compreensão que vivemos em um sistema socioecológico, em que os elementos sociais, ambientais, econômicos e culturais, coexistem e influenciam-se por meio das relações de interdependências estabelecidas.

## Metodologia

O presente estudo, é um construto teórico a partir de levantamento bibliográfico, conforme preconizado por Gil (2008). Desta forma, a pesquisa caracteriza-se quanto a seu objetivo, como descritiva, e quanto ao seu procedimento técnico, como bibliográfica, tendo sido utilizado para obtenção das informações, teses e dissertações encontradas em repositórios universitários, bem como artigos científicos que retratavam o tema em âmbito nacional e internacional, identificados em plataformas como a *Scientific Electronic Library Online – SciELO*, *Google Scholar* e *Lens.Org*.

A escolha do material bibliográfico, obedeceu ao critério de relevância, pertinência e aderência a temática, mas também a temporalidade e atualidade dos mesmos, tendo sido observado para delimitação temporal do recorte, publicações realizadas nos últimos cinco anos, no que tange a aspectos mais generalísticos e conceituais e de dois anos, para aqueles que buscavam apresentar panoramas gráficos e estatísticos, de forma que buscou-se traçar um perfil mais atual para a abordagem da temática. Entretanto vale destacar, que estudos que demonstraram-se relevantes para o campo de conhecimento, seja por seu lastro ou relevância histórico-legal, não subordinaram-se a delimitação de temporalidade.

Para prover um melhor delineamento do escopo de estudo foram utilizadas as palavras chaves ‘solo’, ‘cobertura vegetal’, ‘incremento de matéria orgânica’ e ‘semiárido’, nos processos de busca de forma isolada ou consorciada, propiciando assim a exclusão de referências que não possuíam aderência a temática

## Resultados

### Aspectos socio-ambientais e biogeográficos do Semiárido brasileiro

O Semiárido brasileiro compreende uma área de aproximadamente 1.128.697 km<sup>2</sup>, abrangendo quase todo o território nordestino e parte do estado de Minas Gerais. Verifica-se que, a área do semiárido brasileiro, corresponde a aproximadamente 12% de todo território nacional e 64% do território nordestino. Conta com 1.262 municípios e sua população, equivale a 13% da população total do país, com cerca de 24 milhões de pessoas. Há que se destacar, que este pedaço do território brasileiro, concentra a maior parte da população rural, em especial comunidades quilombolas, visto que são encontradas nele, 81% de todo

quantitativo nacional (Araújo et al., 2019; Asa, 2020; Baptista & Campos 2013; Brasil, 2017; Costa, 2016, & Santos et al. 2020).

A estratificação por área ocupada e respectivos quantitativos de municípios que integram a região semiárida pode ser observada, na tabela 01.

Tabela 1

*Estratificação da região semiárida no Brasil*

<i>Estados</i>	<i>Área ocupada (%)</i>	<i>Quantidade de municípios</i>
<i>Maranhão</i>	1	2
<i>Piauí</i>	59,9	185
<i>Ceará</i>	86,8	175
<i>Rio Grande do Norte</i>	93,4	147
<i>Paraíba</i>	86,6	194
<i>Pernambuco</i>	88	123
<i>Alagoas</i>	45,6	38
<i>Sergipe</i>	50,9	29
<i>Bahia</i>	69,7	278
<i>Minas Gerais</i>	17,7	91
<b>TOTAL</b>	---	<b>1.262</b>

Fonte: Elaborado pelos autores a partir de (Baptista; Campos, 2013, capítulo 01) e (Brasil, 2017).

Reconhecido por sua aridez, elevadas temperaturas, baixa produção de fitomassa e elevada evapotranspiração, nosso semiárido, é caracterizado por variações pluviométricas, que representam médias anuais entre 400mm e 800mm, com temperaturas médias entre 24°C a 26°C (Araújo et al., 2019 & Costa, 2016).

Porém contrariando o senso comum, que costuma associar o semiárido a pobreza, tanto econômica quanto ecossistêmica, Costa (2016), afirma que os solos da região, apresentam em moldes gerais, boa fertilidade natural e devido a sua dispersão em diversos territórios num país continental, como o Brasil, ele não se apresenta de forma única, o que implica afirmar que, em toda a extensão do semiárido brasileiro, podem ser encontrados níveis distintos de aridez, com espaços úmidos e semiúmidos. Rodrigues (2016) aponta por sua vez, que o semiárido nordestino, é um dos mais chuvosos do mundo, apresentando média pluviométrica de 750mm, contudo destaca que a análise do déficit hídrico não depende apenas das precipitações, mas também do processo de evapotranspiração potencial, assim como a distribuição das chuvas durante a estação chuvosa.

A região semiárida é constituída por três biomas, Caatinga (71,51%), Cerrado (20,67%) e Mata Atlântica (7,82%) (Santos et al., 2020). A Caatinga, configura-se segundo o Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2021), como o único bioma totalmente brasileiro, que

ocupa uma área de 844.453km<sup>2</sup>, equivalendo a 11% do território nacional. Estando presente nos dez estados que integram a região semiárida, a caatinga abriga rico ecossistema, sendo composta por 178 espécies de mamíferos, 591 espécies de aves, 177 espécies de répteis, 79 espécies de anfíbios, 241 espécies de peixes e 221 espécies de abelhas (MMA, 2021).

Em termos de vegetação, Costa (2016) aponta que há predominância de xerófilas e tropófilas - plantas que possuem alta capacidade de adaptarem-se a escassez de chuvas, geralmente cobertas por espinhos e um tipo de cera impermeabilizante que diminui a evapotranspiração, mas também por espécies, cujo caules e raízes são capazes de armazenar água e nutrientes. Santos et al. (2020) e Silva et al. (2016), apontam que a vegetação deste bioma constitui uma floresta tropical seca, com a presença de arbustos decíduos entre baixos a pequenos, que alcançam no máximo 20 metros. Há neste bioma portanto, uma variabilidade do padrão arbóreo ao arbustivo, de modo em que em alguns locais podem ser identificadas um pequeno aglomerado de vegetação, numa espécie de 'mata rala' e em outros, arbustos de modo isolado, deixando neste último caso, o solo exposto. Vale destacar que, obviamente a variabilidade das espécies, dependerá de características pertinentes a cada relevo, tipo de solo e índices pluviométricos de onde se encontram.

No que concerne ao Cerrado, o MMA (2021) aponta que este possui área de 2.036.448 km<sup>2</sup>, cerca de 22% do território brasileiro, sendo o segundo maior bioma da América do Sul. Além de estar presente nos estados que integram a região semiárida (Minas Gerais, Bahia, Maranhão, Piauí), pode ser vislumbrado também em dez outros estados - Goiás, Tocantins, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Rondônia, Paraná, São Paulo, Amapá, Roraima, Amazonas - e no Distrito Federal. Santos et al. (2020) nos chama atenção, entretanto, que em termos de extensão, do total apresentado pelo MMA, apenas cerca de 233.361km<sup>2</sup> representam área integrante do semiárido.

Com rica biodiversidade, é no cerrado que nascem as três principais bacias hidrográficas da América do Sul - Amazônica/Tocantins, São Francisco e Prata. Neste bioma foram identificadas e catalogadas 11.627 espécies de plantas nativas, além de 199 espécies de mamíferos, cerca de 837 espécies de aves, 1.200 espécies de peixes, 180 espécies de répteis e 150 espécies de anfíbios. Reconhecidamente berço de espécies endêmicas, não foi possível quantificá-los no tocante aos peixes, porém estima-se que para répteis seja de 17% e anfíbios 28%, além disso, acredita-se que o cerrado, constitua-se ainda em abrigo para 13% das borboletas, 35% das abelhas e 23% dos cupins dos trópicos (MMA, 2021).

Partelli et al. (2018), salienta que embora dotado de grande diversidade, os solos do cerrado, apresentam baixa capacidade produtiva, proveniente de sua baixa fertilidade,

demandando, portanto, boas práticas agrícolas, capazes de corrigir a acidez, tornando a terra mais fértil e, portanto, capaz de proporcionar uma produção mais sustentável.

Ao analisarmos a configuração da Mata Atlântica, verifica-se que o bioma está presente em 3.400 municípios, de dezessete estados da federação brasileira, sendo o percentual de participação em área, correspondente a 29% do território. Nele podemos encontrar, 850 espécies de aves, 370 espécies de anfíbios, 200 espécies de répteis, 270 espécies de mamíferos e 350 espécies de peixes. Com relação a fauna, foram identificadas cerca de 20 mil espécies, sendo que deste total, 35% encontram-se no Brasil, incluindo espécies endêmicas e ameaçadas de extinção (MMA, 2021).

Ao traçar um comparativo entre o semiárido brasileiro e alguns países europeus, em termos de extensão territorial, verificou-se, que esta região equivale a soma das áreas da Suécia, Finlândia e Noruega. Observou-se ainda, que quando avaliada sob o prisma da exploração e prática de atividade econômica, o semiárido concentra em torno de 90% de uma agricultura de base familiar, voltada a subsistência, com o cultivo de feijão, mandioca e batata, em regime de sequeiro, com ocorrência de baixa produtividade (Santos et al., 2020).

Silva et al. (2019) nos chama atenção ao fato, de que embora o semiárido brasileiro, seja rico em sua biodiversidade, os longos períodos de estiagem associado a atividade antrópica, favorecem sobremaneira à degradação das áreas e a consequente desertificação, pois instaura-se um severo processo de destruição da cobertura vegetal. Desta forma, é imprescindível, que fiquemos atentos aos modos de apropriação de recursos naturais nesta região, zelando por práticas que tenham por princípio, o equilíbrio entre o uso e a conservação de aspectos relativos ao solo, cobertura vegetal e recursos hídricos, promovendo, por conseguinte a preservação de espécies da fauna e flora local.

### **O Processos de desertificação: Agrossistema Semiárido**

Segundo Silva (2019), o nosso planeta possui 41% de sua cobertura terrestre localizada em regiões secas, sendo vislumbrado que desta fração, entre 10% e 20% encontram-se em processo de degradação. A Organização das Nações Unidas (ONU, 2018), afirma que este é um processo crescente, ao passo que já atingimos dois bilhões de hectares de terras completamente degradadas, fato que impacta a vida de 3,2 bilhões de pessoas no mundo, o que os leva afirmar, que duas em cada cinco pessoas sofrem com os efeitos desta situação, de modo que se mantivermos este ritmo, estima-se que até 2050 a degeneração das terras irá promover o deslocamento de 143 milhões de pessoas, encorpando portanto, os já

elevados índices de eco-refugiados no planeta.

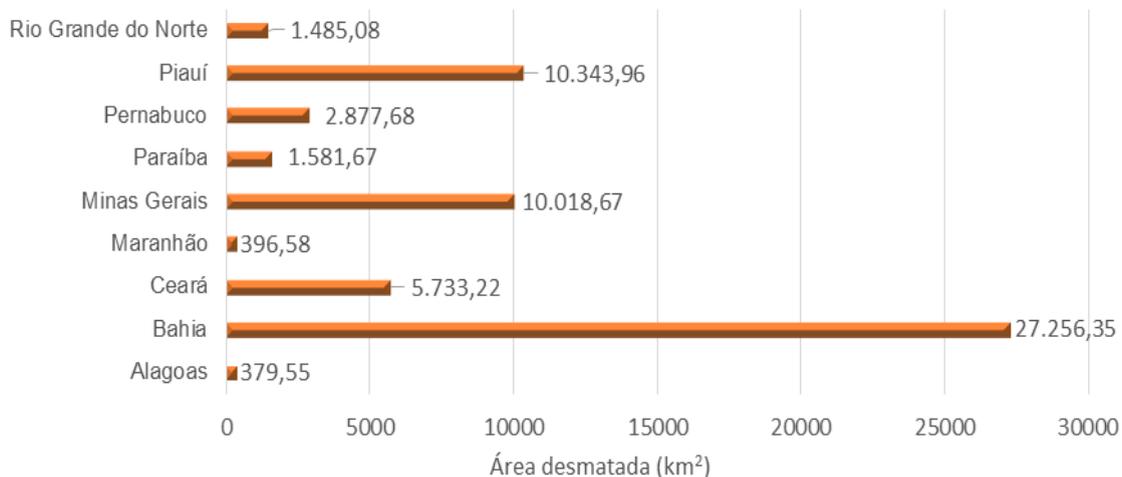
Vários são os fatores apontados como causadores da desertificação, dentre eles estão a intensiva exploração dos recursos naturais, associada ao uso inadequado do solo, bem como, as variabilidades climáticas (Iwata, 2015; Montenegro et al., 2020; ONU, 2018; Silva, 2019, & Silva et al., 2019).

Pesquisa realizada por Santos et al. (2020), apontou que o semiárido brasileiro vem sofrendo imensamente com a devastação de sua cobertura vegetal, tendo sido identificado nos últimos dezoito anos (2001-2018), uma perda de cerca de 26,96% da vegetação, percentual equivalente a uma área 60.769,39 km<sup>2</sup>, área maior que todo estado da Paraíba.

Observou-se que dentre os estados que possuem áreas semiáridas, o que apresentou maior índice de perda da cobertura vegetal, foi a Bahia, com participação de 44,85% da área total perdida. Seguindo a Bahia tivemos então, respectivamente, os estados do Piauí (17,02%), Minas Gerais (16,49%), Ceará (9,43%), Pernambuco (4,74%), Paraíba (2,60%) e Rio Grande do Norte (2,44%), conforme apresentado na figura 01.

Figura 1

Áreas de desmatamento na região semiárida por estado entre 2001 e 2018



Fonte: Elaborado pelos autores a partir de Santos et al. (2020)

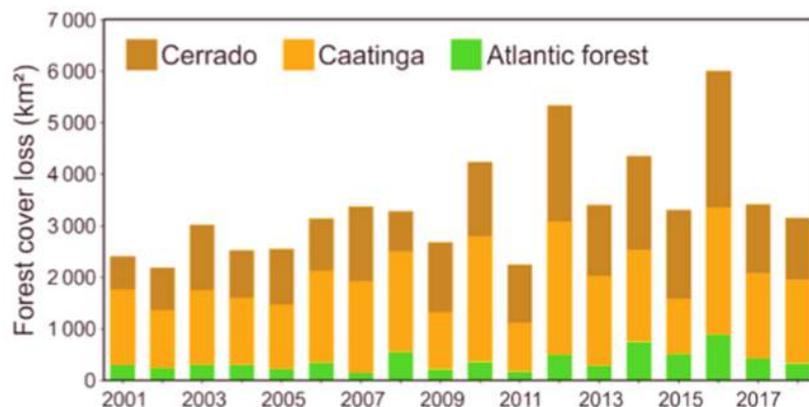
Vale salientar, que embora a área devastada do Piauí seja percentualmente maior que a do estado de Minas Gerais, quando analisado sob o prisma da proporcionalidade, verifica-se que, Minas Gerais tendo uma área, 1,6 vezes menor que a do Piauí, foi muito mais afetado pelo processo de desmatamento. No tocante aos estados do Maranhão e Alagoas, que foram os que menores taxas de desmatamento apresentaram para o período avaliado, percebe-se que embora o Maranhão tenha a menor área devastada em quilômetros quadrados, quando

observado sob a ótica da extensão da área semiárida dos dois estados, situação na qual o Maranhão é 3,5 vezes menor, infere-se que o estado que proporcionalmente que menos desmatou foi Alagoas.

Partindo para análise acerca dos biomas mais devastados na região semiárida, observa-se de modo acentuado em termos de área, grande impacto sob os biomas caatinga e cerrado, entretanto, os autores chamam atenção, para o fato que em termos percentuais, a maior perda se deu no bioma cerrado<sup>14</sup>. Na figura 02, pode ser visualizado a perda da cobertura vegetal, em quilômetros quadrados nos biomas, no período entre 2001 e 2017.

Figura 2

Perda da cobertura vegetal nos biomas entre 2001 e 2017



Fonte: Santos et al. (2020)

Análise realizada por Santos et al. (2020), constatou que o bioma Mata Atlântica, foi o menos devastado no semiárido no período analisado – até mesmo por ser o menos presente. Ao analisarmos as perdas de cobertura vegetal a partir da relação bioma x estados, verifica-se, que Sergipe, foi o estado que apresentou maior percentual de perda de cobertura de Mata Atlântica correspondendo a 55,92%, igual situação se apresenta para o bioma Caatinga, em que Sergipe respondeu por 51,60% das perdas. Já para o bioma cerrado, o estado que apresentou maior perda, foi a Bahia, com 43,75%.

Observa-se por fim, que os biomas Mata Atlântica e Caatinga apresentaram perda de cobertura vegetal, ao longo dos 18 anos estudado, de 20%, enquanto a perda do cerrado para o mesmo período, correspondeu a 37,16%. Outro destaque importante, trazido pela pesquisa, é

<sup>14</sup> Esta análise demonstra-se plausível quando se observa que, mesmo o bioma caatinga tendo quase o dobro de extensão territorial do cerrado, as áreas de perda equivalem-se. Ou seja, a caatinga com área de 127.339,43km<sup>2</sup> obteve perda de 29.408,77 km<sup>2</sup>, enquanto o cerrado, com área de 65.604,46 km<sup>2</sup>, apresentou uma perda total de cobertura de 24.376,04 km<sup>2</sup>, proporcionalmente o cerrado foi mais devastado, embora em termos de área, tenha sido a caatinga.

que, o processo de desmatamento observado, acentuou-se a partir do ano de 2010, sendo o período mais crítico, os dos anos de 2016 e 2012 respectivamente (Santos et al., 2020).

Colocação realizada por Beuchle et al. (2015) e Santos e Pacheco (2017), já nos chamava atenção à época, para esta acentuação na degradação dos biomas presentes no semiárido, afirmando que, embora a questão da ação humana e seus impactos sobre a Caatinga e demais biomas, seja uma temática discutida tanto nas mídias quanto em âmbito acadêmico, o processo de desgaste continua a crescer, afirma-se inclusive que, todo este processo de mudanças na cobertura da terra, tem sido relegado ao ostracismo, principalmente quando comparada a atenção dada a região amazônica, desta forma, conclui-se que torna-se cada vez mais imperioso que se busque meios para conservação da biodiversidade no semiárido e seus biomas, de modo igualitário ao que se aplica em demais regiões e biomas brasileiros.

Considerado um *hotspot* de biodiversidade e ecossistemas brasileiros, a cobertura vegetal no semiárido, demonstra-se essencial para o equilíbrio da vida local, entretanto como observado por Santos et al. (2020), a perda total de cobertura apresentou tendência crescente, e tal realidade, é atribuída a escolha de práticas agropecuárias diversas, em moldes ostensivos em detrimento da preservação por meio de manejos mais adequados e conscientes (Amaral et al., 2015; Costa, 2016; Montenegro et al., 2020; Nascimento et al., 2020; Santos et al., 2020; Silva 2019, & Silva et al., 2019).

Desta forma, há que se destacar, que para além do ponto de vista ambiental e econômico a situação apresentada para a região semiárida configura-se em uma fragilidade no tocante a aspectos socioculturais e demandam atenção, realidade que pode ser atenuada com a formulação, implementação, monitoramento e avaliação de políticas públicas transversais, mas específicas para as peculiaridades das regiões semiáridas do país.

### **As implicações do solo na cobertura vegetal do semiárido**

O solo é um importante recurso natural, mas que vem de toda sorte, sofrendo perturbações constantes, ao ser degradado pela ação humana, dentre as quais aponta-se o modelo de produção agrícola utilizado largamente, pautado na exploração exaustiva e em muitas vezes com falta de planejamento e em descumprimento a regras legais e naturais. Como efeitos do uso irresponsável e desmedido do solo, tem-se então, a redução da qualidade deste, que acaba por impactar de forma negativa e por vezes irreversível na biota.

Melo (2018) afirma, que o solo deve ser considerado bem mais que um suporte físico para as plantas, mas sim um sistema vivo, e salienta que são as formas de manejo que o matam, visto que um solo vivo, pressupõe a presença e interação entre de dispareos organismos e minerais existentes.

Composto por 45% de minerais, 25% de água, 25% de ar, e 5% de matéria orgânica, podemos afirmar que, embora em percentagem menor, são encontrados no solo, uma mescla de resíduos em dispareos estágios de decomposição, bem como microrganismos, que servem como indicativo da qualidade do mesmo, e é por meio de avaliação desta presença, que é possível estabelecer a percepção da inadequabilidade no sistema de manejo adotado, sendo possível inferir a existência de baixa fertilidade, excesso de revolvimento do solo, estágios da erosão etc (Melo et al., 2019, & Oliveira, 2012).

Corroborando com tal colocação, Melo (2018) declara que toda vida existente sobre o solo, depende da vida que nele existe. Desta forma, conclui-se que especialmente no caso da região semiárida, onde há uma maior fragilidade do solo, o direcionamento de um olhar mais cuidadoso para formas de manejo e uso deste recurso, são imprescindíveis.

Segundo Iwata (2015), características ambientais como as altas temperaturas, a baixa produção de fitomassa e de pluviosidade, assim como solos pouco intemperizados, acabam por tornar os solos da região semiárida vulneráveis, o que por sua vez acarretam queda de qualidade e potencial produtivo. Neste mesmo sentido, Montenegro et al. (2020) destacam, que a redução da qualidade do solo, associada ao déficit hídrico, causam efeitos adversos no desenvolvimento não apenas social, econômico, mas também no que concerne a aspectos ambientais.

A limitação do semiárido brasileiro, no que tange a disponibilidade de recursos hídricos e a susceptibilidade que o solo desta região tem para a erosão, podem ser atribuídas a quatro fatores: a) baixa capacidade de retenção de água no solo, devido a sua baixa profundidade; b) pluviometria irregular, com relação a distribuição espacial e temporal, visto que, chuvas podem ocorrer em grande concentração em alguns lugares e em outros serem inexistentes; c) elevadas temperaturas, que comumente encontradas nesta região, favorecem as elevadas taxas de evapotranspiração e d) baixa diversificação na cobertura vegetal, com o predomínio das caducifólias (Montenegro et al., 2020).

Como pode ser percebido ao longo deste trabalho, a degradação das regiões semiáridas - mas não apenas dela – se dá por conta de intempéries, mas também por conta da ação antrópica, e o desmatamento para dar lugar a atividades de pastoreio, agrícolas e a própria exploração da lenha, etc, configura entre uma, das várias ações degradantes ambientalmente

colocadas, como causadoras das perturbações geradoras de desequilíbrios neste ecossistema (Melo et al., 2019; Nascimento et al., 2020, & Silva et al., 2019).

O desmatamento é apontado como fator de forte fomento no processo erosivo do solo e perdas de nutrientes. Tal afirmação se apoia nos apontamentos de Santos et al. (2020), que indicam que, o nível de cobertura vegetal, assim como os tipos de vegetação demonstram-se extremamente relevantes no contexto da preservação do solo e proteção do ecossistema. Além disso, os autores apontam, que em áreas de grande vulnerabilidade como o semiárido, mudanças climáticas podem ser instauradas e/ou agravadas, a partir do mau uso do solo e desmatamentos.

Posto, há que se destacar, portanto, a extrema relevância, que a cobertura vegetal exerce na manutenção do equilíbrio ambiental. Segundo Clemente et al. (2019) esta, exerce função estabilizadora da temperatura do solo, bem como filtra o ar, diminuindo o índice de poluição e equilibrando os índices de umidade. Rodrigues (2016) e Almeida (2016) por sua vez, chamam atenção para o fato de que, o solo exposto, sem a presença de uma cobertura vegetal, acaba por conceber o contato direto deste, com água da chuva, oportunizando um maior escoamento superficial, de modo que verifica-se o livre movimento da água sob superfície, sendo então reduzida a capacidade de infiltração.

No tópico supra, existem dois pontos que são afetados pela diminuição/ ausência de cobertura vegetal e que merecem destaque: a infiltração da água no solo e o escoamento superficial. A infiltração da água, é um processo, no qual a água dispersada na superfície do solo, penetra em seu interior, sendo apontada por Silva (2019), como fonte de recarga para lençóis freáticos e repositório disponibilizado na nutrição das culturas. Uma boa taxa de infiltração portanto, reflete-se em maior capacidade de suporte do solo, o que implica dizer que esta, está diretamente associada a um maior incremento de matéria orgânica, fato que impacta na capacidade do ecossistema se recompor, na sua resiliência. Uma elevada taxa de escoamento por sua vez, é resultante de um processo de impermeabilização sofrido pelo solo, e está intimamente ligada a baixa infiltração. Ou seja, a medida em que o solo torna-se mais impermeabilizado, maior é o escoamento superficial, o que acaba por promover a lixiviação, que traz como consequência um empobrecimento do solo, com grande impacto na sua fertilidade.

Em síntese, destaca-se que a cobertura vegetal, exerce relevante papel na estruturação do solo, à medida que evita e/ou mitiga efeitos erosivos, por diminuir o impacto da água da chuva, reduzindo conseqüentemente o volume e o fluxo de circulação superficial da mesma, ampliando por sua vez, a estabilidade dos agregados e a infiltração da água, sem mencionar

que uma maior cobertura vegetal, representa maiores índices de matéria orgânica, aumento da biodiversidade e minimiza o uso de herbicidas químicos (Gama, 2019 & Melo et al., 2019).

Posto isso, reitera-se que, quaisquer alterações promovidas no solo e sua cobertura, ressoam diretamente na estrutura e atividades, biológicas, geológicas, físicas e químicas de um ecossistema, e conseqüentemente apresentam reflexos nos agrossistemas, podendo deste modo, promover prejuízos à qualidade e à produtividade das culturas. Salienta-se, que tais perturbações, possuem capacidade de interferência também nas estruturas sociais, econômicas e culturais, dos espaços agrários ou não, pois assim se configura um sistema socioecológico, com base em relações de interdependência de fatores e elementos socioambientais, com feedbacks e retroalimentações positivas e negativas, tudo dependendo dos estímulos propostos (Buschbacher, 2014 & Figueredo et al., 2017).

### **Discussão**

Verificou-se ao longo deste trabalho, que a retirada da vegetação natural, associada a formas de manejo inadequados, tem sido ao longo dos anos um grande problema para a sustentabilidade de diversos biomas, inclusive os pertencentes a região semiárida. Batista (2017), destaca que a situação configurada, é extremamente preocupante à medida que a perda de cobertura vegetal, implica em redução do estoque de carbono no solo, alterando o teor de matéria orgânica disponível, ocasionando como consequência a perda da fertilidade e qualidade deste.

Desta forma, é factível afirmar que, quando a inserção de matéria orgânica no solo é inferior ao seu processo de decomposição, o sistema entra em colapso, de modo que a sua exaustão e desequilíbrio, torna-se evidente.

Ressalta-se desta forma, que um agrossistema não possui capacidade de se manter a longo prazo, caso não sejam vislumbrados, mecanismos de manutenção da fertilidade. Diante de constatação óbvia e em posse do conhecimento das atividades que levam a degradação no semiárido, incluindo processos de desertificação, imperioso se torna que busquemos formas de convivência com a aridez, de modo a utilizarmos dos recursos disponibilizados, sem, contudo, esgotá-lo.

Sendo assim, é imprescindível destacar que ação predatória do homem sobre os recursos naturais deve ser freada. Formas de manejo mais conscientes e voltados a conservação da água, solo e vegetação devem ser utilizadas, e várias experiências

demonstram, que tal realidade é possível, inclusive numa região já tão fragilizada como o semiárido brasileiro.

Como forma de superação da pressuposta dicotomia produção e sustentabilidade, Iwata (2015) aponta que devem ser realizadas proposituras que possibilitem uma maior flexibilidade na adaptação dos espaços do semiárido, de modo que haja um equilíbrio entre a necessidade da preservação ambiental e elevação dos níveis de produtividade biológica.

Neste contexto, formas de produção por sistemas agroflorestais -SAFs, apresentam-se como alternativa viável, ao passo que assemelham-se aos sistemas naturais, na medida em que integram uma ampla gama de cultivos agrícolas, formas de pasteio e criação de animais, associada de forma deliberada a componentes florestais, propiciando assim, uma diversidade no uso da terra (Batista, 2017; Iwata, 2015, & Veras, 2015).

Batista (2017) acrescenta, que os SAFs, apresentam vantagens diversas, dentre as quais, estão: redução das emissões de gases de efeito estufa - GEE, fixação biológica de carbono e nitrogênio; contribuição numa maior ciclagem dos nutrientes, por meio de sistemas radiculares diversos; favorecimento de um maior aporte de matéria orgânica no solo; e provimento de uma maior cobertura vegetal.

Há que se destacar ainda, que a adoção de SAFs especificamente no semiárido, demonstra-se relevante na formação de serapilheiras, visto que a disponibilidade de biomassa para a localidade é deficitária. Desta forma, salienta-se que a serapilheira possui fundamental papel na manutenção da sustentabilidade do sistema, à medida que propicia o retorno paulatino dos nutrientes para a planta. E mais, a quantidade de serapilheira, bem como os nutrientes aportados no solo, refletem-se na capacidade produtiva e de regeneração ambiental do sistema, haja vista que estão intimamente ligadas as alterações nos atributos químicos do solo. Não obstante, destaca-se que a qualidade da serapilheira disponibilizada, apresentará influência na qualidade, composição e atividade dos microrganismos e fauna que compõe o solo, e que viabilizam os processos de decomposição, consequentemente determinando um maior acúmulo de matéria orgânica (Iwata, 2015).

Neste contexto, destaque deve ser feito ainda, ao fato de que serapilheiras oriundas de SAFs, possuem cadeia mais longa, e com isso solos em que se façam presente, são menos susceptíveis a degradação, ao que Iwata (2015) atribui ao fato de, por ser proveniente de interações ambientais e genéticas dispare, sobretudo de poda direcionada de árvores e espécies outras, caracterizam o aumento, tanto na produção quanto na diversificação da mesma, realidade distinta do que se vê nos manejos convencionais.

A prática de produção por de meio dos SAFs, tem recebido tamanho reconhecimento que figurou no Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura – Plano ABC<sup>15</sup>(2012), como uma das estratégias para mitigação da emissão de gases causadores de efeitos estufa, tendo sido estabelecido no mesmo, em consonância com a Política Nacional sobre Mudança do Clima ( PNMC, 2009), a implementação de 4 milhões de hectares até 2020, tendo sido verificado em relatório de estimativas parciais emitido pela Embrapa (2020), a implementação entre 2012 e 2016, de 5,83 milhões de hectares.

Apresentam-se também, como formas alternativas de conservação do equilíbrio ambiental nos agrossistemas do semiárido, a utilização de cobertura morta, feita a partir de restos vegetais, e uso dos cordões vegetativos, sendo tais opções apontadas como eficientes, tanto em termos econômicos, pois apresentam baixo custo, quanto em termos agroambiental, pois apresentam inúmeras utilidades e benefícios para o solo.

Segundo Montenegro et al. (2020), a utilização de cobertura morta com restos vegetais, pode reduzir principalmente a erosão hídrica, pois ela é capaz de amortizar o impacto da gota da chuva no solo, gerando um atraso no processo de escoamento superficial, com consequente incremento da infiltração. Silva (2019) por sua vez, afirma que esta se constitui, em relevante estratégia, à medida que promove a reposição de matéria orgânica no solo, imprescindível para a sua revitalização biológica e circulação de nutrientes. Este modo de produção, tem sido muito difundido, sendo utilizado inclusive em regiões semiáridas da Espanha, onde se utilizam da palha do trigo para efetivação da cobertura, bem como alvo de pesquisas constantes por instituições brasileiras (Montenegro et al., 2020).

No tocante aos cordões vegetativos, destacam-se o uso no semiárido de espécies que possuam adaptabilidade ao clima local, tais como a babosa (*Aloe Vera (L.)*) e a palma forrageira (*Opuntia sp.*), tal alternativa demonstrou-se eficiente na manutenção da umidade no solo (Montenegro et al., 2020).

Considerado um dos grandes reservatórios de carbono do planeta, o solo pode mitigar a emissão de gases de efeito estufa - como já mencionado, principalmente através do sequestro dióxido de carbono – CO<sub>2</sub>, e nesta seara a matéria orgânica exerce fundamental contribuição. Além disso, a matéria orgânica disposta no solo, possui a capacidade de

---

<sup>15</sup> O Plano ABC, nasce de uma demanda da Política Nacional sobre Mudança do Clima – PNMC, que que foi resultado da ratificação do acordo estabelecido na Conferência das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas - COP 15, ocorrida em Copenhague, no ano 2009. Constituído por sete programas, a produção por meio de SAFs, integra o segundo programa ‘Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (iLPF) e de Sistemas Agroflorestais (SAFs)’.

manutenção da produtividade dos agrossistemas, ao passo que, o carbono nela contida, influencia os atributos químicos, físicos e biológicos deste, dentre os quais estão, a estruturação, a capacidade de trocas iônicas, alocamento e suprimento de nutrientes, e tamponamento do pH, evitando neste último caso as grandes variabilidades. São apontadas ainda como benesses de uma maior presença de matéria orgânica, a redução da contaminação de águas subterrâneas e superficiais pela absorção de poluentes (Iwata, 2015).

Destaca-se ainda que, a promoção de uma maior capacidade de troca catiônica proveniente de uma maior presença de matéria orgânica, é responsável por uma maior contribuição na criação de coloides e microporos, que podem se refletir em um maior processo de absorção, com conseqüente resguardo de umidade e água, tão necessárias em tempos de estiagem (Schoeder, 1984 & Sodré, 2012).

Diante do que foi visto, vale destacar, que várias são as alternativas e adapta es que podem ser utilizadas na mitiga o dos impactos gerados nos ecossistemas pela perda da cobertura vegetal e degrada o do solo, podemos citar neste rol, a prática do pousio, que possui a capacidade de diminuir a perda de carbono pelo solo, o que proporcionar  por sua vez, melhor controle dos processos erosivos e maior qualidade físico química, favorecendo a amplia o da produtividade dos cultivos, sem deixar de lado o aspecto da conserva o ambiental (Silva, 2019). Esta prática   demandante de baixo investimento, visto que, para a recupera o da área, conta-se precipuamente com capacidade de resiliência do solo.

Como observado ao longo deste trabalho, o processo de degenera o ambiental se dá principalmente por conta das pressões humanas exercidas nos recursos naturais. Pressões estas, surgidas e fomentadas pelas demandas mercadológicas, que demonstram-se implacáveis e pouco preocupadas de fato, com as externalidades negativas que possam gerar. Neste sentido, Silva (2019) chama-nos aten o para a necessidade de promover o desenvolvimento de uma agropecuária sustentável, que seja capaz de conscientizar o produtor sobre a necessidade de práticas voltadas a conserva o e uso parcimonioso dos recursos. Embora os impactos negativos de tais atividades sejam inevitáveis, uma prática bem planejada e gerida, pode otimizar externalidades positivas intra e inter sistema, apresentando, portanto, ganhos efetivos tanto na dimensão biofísica quanto socioecon mica.

### **Considera es finais**

O forte indicativo de empobrecimento e desestabilização da região semiárida brasileira foi o desmatamento dos seus biomas, ocasionados principalmente pela ação antropogênica, que devasta as áreas já tão fragilizadas, para a prática de atividades agropecuárias e extrativistas.

E, portanto, o processo de desertificação do semiárido, apresenta-se em nível ascendente, tendo a erosão e a salinização como aliados.

Há que se destacar ainda, que a região semiárida carece de políticas públicas que a protejam de ações exploratórias irregulares, mas também que possuam transversalidade, ou seja, que abarquem para além da problemática ambiental, mas questões de cunho social, econômico e cultural, de modo integrado. E mais, que tais políticas e programas sejam monitorados e avaliados quanto a sua real aderência e efetividade.

Por fim, destaca-se que a manutenção de uma cobertura vegetal, é extremamente relevante para a constância de agrossistemas, sendo ela responsável pelo equilíbrio do solo, refletindo-se não apenas em ganhos ambientais, mas também econômicos e sociais, pois promove a produção de modo sustentável e viável. Porém para a prática de uma produção mais limpa, segura e viável, com formas alternativas de manejo, é importante a conscientização, mas também o acompanhamento de produtores e isso só é possível através de ações educativas e extensionistas, capazes de gerar a difusão de conhecimento e por consequência o empoderamento do sujeito rural.

### Referências

- Almeida, T. A. de. (2016). *Impactos decorrentes das mudanças ocasionadas pelo uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica urbana da UFJF: campus JF sobre o escoamento superficial*. Trabalho Final de Curso - Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, Minas Gerais, Brasil.
- Amaral, A. J. do, Pérez, D. V., Oliveira Neto, M. B, de, Hernani, L. C., Cunha, T. J. F., & Melo, A. da S. (2015). Atributos de um Neossolo Quartzarênico sob mangueira irrigada e sob vegetação de Caatinga – estudo comparativo em Petrolina, PE. In: S. S de Castro et al. (Org.). *Solos Frágeis: caracterização, manejo e sustentabilidade*. Brasília: Embrapa - DF.
- Araújo F., J. C. de, Correia, R. C., Cunha, T. J. F., Oliveira Neto, M. B. de, Araújo, J. L. P., & Silva, M. M. de L. (2019). Ambientes e solos do semiárido: potencialidades, limitações e aspectos socioeconômicos. In: L. F. Ximenes, S. L. da Silva, & L. T. de L. Brito (editores técnicos). *Tecnologias de convivência com o semiárido brasileiro*. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil.
- Asa. *Semiárido*. 2020. É no semiárido que a vida pulsa.  
<https://www.asabrasil.org.br/semiariado.?????>
- Baptista, N. de Q., & Campos, C. H. (2013). Caracterização do semiárido brasileiro. In: I. L. Conti, & E. O. Schroeder (Orgs.). *Convivência com o semiárido brasileiro*:

*autonomia e protagonismo social.* Editora IABS: Brasília – DF.

- Batista, M. C. (2017). *Estoque de carbono e frações da matéria orgânica em áreas sob sistemas agroflorestais e agricultura no agreste paraibano.* Trabalho de Graduação - Universidade Federal da Paraíba, Areia, Paraíba, Brasil.
- Beuchle, R., Grecchi, R. C., Shimabukuro, Y. E., Seliger, R., Eva, H. D., Sano, E., & Achard, F. (2015). Land cover changes in the Brazilian Cerrado and Caatinga biomes from 1990 to 2010 based on a systematic remote sensing sampling approach. *Applied Geography*, 58, 116-127.
- Brasil. (2017). *Resolução N° 107, de 27 de julho de 2017.* Estabelece critérios técnicos e científicos para delimitação do Semiárido Brasileiro e procedimentos para revisão de sua abrangência.  
[https://www.in.gov.br/materia/-/asset\\_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/19287874/do1-2017-09-13-resolucao-n-107-de-27-de-julho-de-2017-19287788](https://www.in.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/19287874/do1-2017-09-13-resolucao-n-107-de-27-de-julho-de-2017-19287788).
- Brasil. (2012). *Plano setorial de mitigação e de adaptação às mudanças climáticas para a consolidação de uma economia de baixa emissão de carbono na agricultura: plano ABC (Agricultura de Baixa Emissão de Carbono).* Brasília: MAPA/ACS.
- Brasil. (2009). *Lei n° 12.187, de 29 de dezembro de 2009.* Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima - PNMC e dá outras providências.  
[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2009/lei/112187](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/lei/112187).
- Buschbacher, R. (2014, jan-jun.). A teoria da resiliência e os sistemas socioecológicos: como se preparar para um futuro imprevisível? *Boletim Regional, Urbano e Ambiental*, 9.

Clemente, C. M. S., Pereira, D. M., Magalhães, H. P. C., & Araujo, C. G. (2019, dez.).

Cobertura vegetal e qualidade de vida: cidade de Guanambi, semiárido baiano.

*Caminhos de Geografia Uberlândia*, 20(72), 136 -148.

Costa, J. A. da. (2016). *Indicadores de qualidade do solo em diferentes modelos de agricultura familiar no semiárido pernambucano*. Dissertação de Mestrado -

Universidade Federal Rural de Pernambuco, Serra Talhada, Pernambuco, Brasil.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. (2020). Mitigação das emissões de Gases de Efeitos Estufa pela adoção das tecnologias do Plano ABC: estimativas parciais.

*Documentos*, 122.

Figueiredo, R. A. et al. (2017). Resiliência em sistemas socioecológicos, paisagem rural e agricultura. *Revista Ciência, Tecnologia e Ambiente*, 5(1), 49-57.

Gama, L. A. da. (2019). *Plantas de cobertura no manejo sustentável das infestantes e na produtividade do guaranazeiro (Paullinia cupana var. sorbilis (Mart.) Ducke)*. Tese

-Universidade Federal do Amazonas, Manaus, Amazonas, Brasil.

Gil, A. C. (2008). *Métodos e técnicas de pesquisa social* (6a ed.). São Paulo: Atlas.

Iwata, B. de F. (2015). *Adição de resíduos orgânicos em um argissolo sob sistema*

*agroflorestal no semiárido cearense*. Tese - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Ceará, Brasil.

Melo, F. A. de. (2018). *Olhares e saberes de produtores rurais da feira agroecológica de*

*Sumé sobre solos e agroecologia*. Monografia - Universidade Federal de Campina Grande, Sumé, Paraíba, Brasil.

- Melo, R. F., Giongo, V., Deon, D. S., & Anjos, J. B. dos. (2019). Uso e manejo do solo. In: R. F. Melo, & T. V. Voltolini (Eds.). *Agricultura familiar dependente de chuva no Semiárido*. Brasília, DF: Embrapa.
- Ministério do Meio Ambiente. *Biomass*. (2021). <https://antigo.mma.gov.br/biomass/>.
- Montenegro, A. A. A, Lopes, L., Almeida, T. A. B., Lima, J. L. M. P. de, Montenegro, H. G. L. A., & Araujo, B. G. (2020). Impacto de métodos naturais para conservação de água e solo no semiárido brasileiro. *Revista FAVE - Ciências Agrárias*, 19(2).
- Pinheiro, K. R., Alves, E. R., Alves, M. V., & Galvêncio, J. D. (2020). Impacto da precipitação e do uso e ocupação do solo na cobertura vegetal na Caatinga. *Journal of Environmental Analysis and Progress*, 5(2), 221–231.  
<https://doi.org/10.24221/jeap.5.2.2020.3058.221-231>.
- Oliveira F., J. de S. (2012). *Dinâmica do fósforo e da matéria orgânica em neossolo cultivado com cana – de- açúcar colhida sem queima*. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Ceará, Brasil.
- Partelli, F. L., Evangelista, C. R., Cavalcanti, A. C., & Gontijo, I. (2018). Propiedades de la fertilidad de un suelo cañero bajo diferentes tipos de gestión orgánica y convencional. *Cultivos Tropicales*. 39(4), 13-20.
- Organização das Nações Unidas. (2018). *Degradação de terras impacta 3,2 milhões de pessoas no mundo*. <https://news.un.org/pt/story/2018/06/1627442>.

- Rodrigues, R. do N. (2016). *Resposta hidrológica em cursos efêmeros no semiárido em função da cobertura vegetal e do padrão de chuva*. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Ceará, Brasil.
- Santos, R. de P. dos, & Pacheco, C. S. G. R. (2017). A ação antrópica e suas implicações na cobertura vegetal da comunidade rural de Paredão/BA: estudo comparativo de áreas intactas e degradadas. *Revista Semiárido de Visu*, 5(1), 45-51.
- Santos, C. A. G., Nascimento, T. V. M. do, & Silva, R. M. da. (2020). Analysis of forest cover changes and trends in the Brazilian semiarid region between 2000 and 2018. *Environmental Earth Sciences*, 79(418), 79 – 418.  
[https://link.springer.com/epdf/10.1007/s12665-020-09158-1?sharing\\_token=P0gLM9rvgirgaalMG8rlc\\_e4RwlQNchNByi7wbcMAY4BNe-tl5oX24E8cm5UVxe6Qc-3QysMqAySHA8vImHwmHN8eaIx6sAMpWbMPGMDheeWUgblW9PKmcqrxEe0cj9psiPG2KoKU5kxuyiEzm4cPEv3aNY\\_4ggk2A2YbC2UfKg%3D](https://link.springer.com/epdf/10.1007/s12665-020-09158-1?sharing_token=P0gLM9rvgirgaalMG8rlc_e4RwlQNchNByi7wbcMAY4BNe-tl5oX24E8cm5UVxe6Qc-3QysMqAySHA8vImHwmHN8eaIx6sAMpWbMPGMDheeWUgblW9PKmcqrxEe0cj9psiPG2KoKU5kxuyiEzm4cPEv3aNY_4ggk2A2YbC2UfKg%3D).
- Schroeder, D. (1984). *Solos: Fatos e conceitos* (4a ed., 245 p.). Suíça Ferdinand Hirt AG, CH-6314 Unterageri.
- Silva, F. C., & Cruz. M. L. B. (2016). Análise da fisionomia da cobertura vegetal em ambientes semiáridos: o caso do município de Jaguaratema, estado do Ceará. *REGNE*, 2, Especial.
- Silva, B. K. G. da. (2016). *Disponibilidade de biomassa e caracterização da caatinga sob manejo agroecológico*. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal Rural do Semiárido – UFRSA, Mossoró, Rio Grande do Norte, Brasil.

- Silva, F. G. M. (2019). *Alterações morfológicas de horizontes superficiais sob processo de desertificação após pousio*. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Ceará, Brasil.
- Silva, C. V. S., Silva, J. L. B. da, Moura, G. B. de A., Lopes, P. M. O., Nascimento, C. R., & Silva, L. C. da. (2019, nov./dez.). Monitoramento da cobertura vegetal por sensoriamento remoto no semiárido brasileiro através de índices de vegetação. *Nativa, Sinop*, 7(6), 708-717.
- Silva, D. D. da, Pereira, A. P. de A., Pinheiro, J. I., Campos A, S., & Maia, E. P. V. (2019). A comunidade de fungos micorrízicos arbusculares em áreas desertificadas do Semiárido brasileiro: um ‘hotspot’ de Biodiversidade inexplorado. *Encontros Universitários da Universidade Federal do Ceará*, 4.
- Silva, L. J. R., Laurindo, L. K., Kormann, S., Lucena, E. O. de, & Souza, T. (2020). Características químicas do solo em sistemas orgânicos de frutas temperadas. In: S. Tancredo, & L. J. R. da. Silva (Orgs.). *O agronegócio da pera asiática no Sul do Brasil*. PPGEAN.
- Sodré, F. F. (2012). Química de solos: uma introdução. *Artigos Temáticos do AQQUA*, 1, 17-29. <https://www.aqqua.unb.br/images/Artigos/Tematicos/solos.pdf>.
- Veras, C. M. dos A. (2015). *Áreas com potenciais para regeneração de Atributos do solo no norte maranhense*. Tese de Doutorado - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Jaboticabal, São Paulo, Brasil.
- Vital, A. de F. M., Sousa, M. M. S. P. de, Pereira, J. W, Nascimento, J. C. do, & Santos, R. V dos. (2018). Solos e agricultores: saberes locais. In: P. R. M. Francisco et al. (Orgs.). *Solos estudo e aplicações*. Campina Grande: Epgraf.

**Desenvolvimento Sustentável na Bovinocultura: Uma Análise da Relação entre  
Pecuária, Qualidade de Vida e Meio Ambiente São Félix do Xingu****The development of livestock and the driving force of deforestation and socioeconomic  
evolution in the municipality of São Félix do Xingu**Domingos Isaias Maia Amorim<sup>1</sup>DOI: <https://10.52719/bjas.v6i2.7027>**Resumo**

O município de São Félix do Xingu, localizado no Estado do Pará e integrante do Bioma Amazônico, destaca-se como o maior produtor de bovinos no Brasil, com a pecuária representando uma atividade econômica fundamental. No entanto, o aumento da demanda por carne bovina e a perspectiva de crescimento desse consumo acenderam alertas sobre a sustentabilidade desse modelo, caracterizado por ocupação desordenada do território e expansão de pastagens, resultando em desmatamentos, inclusive em áreas protegidas. A baixa educação da população e a falta de profissionalismo na força de trabalho, aliadas à prática extensiva de criação animal com baixa produtividade, também levantaram preocupações. Objetivou-se com esse estudo investigar a relação entre o desenvolvimento da pecuária bovina, a qualidade de vida da população e a preservação do meio ambiente em São Félix do Xingu. Utilizando métodos de coleta, análise e tratamento estatístico e geográfico de informações públicas, examinamos dados sobre o efetivo do rebanho bovino, extensão e qualidade das pastagens, formas de ocupação do território e indicadores socioeconômicos. Os resultados indicaram que, embora a agropecuária tenha contribuído para o crescimento do Produto Interno Bruto (PIB) municipal, esse avanço não se traduziu em melhorias significativas na renda e qualidade de vida da população. Além disso, evidenciou-se que a baixa escolaridade representava uma barreira para a adoção de tecnologias inovadoras, e a pressão sobre a vegetação comprometia a biodiversidade e o equilíbrio ecológico da região. Diante desses achados, o estudo destaca a necessidade de reavaliar as práticas na bovinocultura, buscando estratégias que promovam o desenvolvimento sustentável, considerando os aspectos econômicos e socioambientais. Propõe-se um equilíbrio entre o crescimento econômico e a preservação ambiental, visando a melhoria efetiva na qualidade de vida da comunidade de São Félix do Xingu.

**Palavras-chave:** Bovinocultura. Impacto socioeconômico. Preservação ambiental. Qualidade de vida. Sustentabilidade.

**Abstract**

The municipality of São Félix do Xingu, located in the State of Pará and part of the Amazon Biome, stands out as the largest producer of cattle in Brazil, with livestock representing a

<sup>1</sup> Universidade de São Paulo - USP. Email: [domingos\\_isaias@hotmail.com](mailto:domingos_isaias@hotmail.com)

fundamental economic activity. However, the increasing demand for beef and the prospect of growing consumption have raised concerns about the sustainability of this model, characterized by disordered territorial occupation and expansion of pastures, leading to deforestation, including in protected areas. The low education levels of the population and the lack of professionalism in the workforce, coupled with extensive livestock farming practices with low productivity, have also raised concerns. The main objective of this study was to investigate the relationship between the development of cattle farming, the quality of life of the population, and the preservation of the environment in São Félix do Xingu. Using methods of collection, analysis, and statistical and geographical treatment of public information, we examined data on the effective cattle herd, extent and quality of pastures, forms of territorial occupation, and socio-economic indicators. The results indicated that, although agriculture contributed to the growth of the municipal Gross Domestic Product (GDP), this progress did not translate into significant improvements in income and quality of life for the population. Furthermore, it was evident that low education levels posed a barrier to the adoption of innovative technologies, and the pressure on vegetation compromised biodiversity and the ecological balance of the region. Given these findings, the study highlights the need to reassess practices in cattle farming, seeking strategies that promote sustainable development, considering economic and socio-environmental aspects. A balance between economic growth and environmental preservation is proposed, aiming for effective improvement in the quality of life of the São Félix do Xingu community.

**Keywords:** Cattle farming. Socioeconomic impact. Environmental preservation. Quality of life. Sustainability.

### Introdução

Conforme dados da Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO, 2022), a projeção para o ano de 2050 indica uma população mundial estimada em 9,1 bilhões de habitantes. Diante desse crescimento demográfico, antecipa-se um aumento na demanda por alimentos. Essa busca por produtos alimentícios seguirá uma nova dinâmica, fundamentada no crescimento populacional de países em desenvolvimento, na concentração da população em áreas urbanas, e no aumento da renda e do nível educacional dos indivíduos (FAO, 2022).

Dessa maneira, com o objetivo de suprir as necessidades alimentares de uma população cada vez mais numerosa, urbanizada, próspera e instruída, prevê-se um aumento de aproximadamente 70% na demanda global por alimentos (Song et al., 2021). Essa projeção implica que a produção de cereais terá que ser elevada para 3 bilhões de toneladas, enquanto a produção de carne, de maneira geral, deverá atingir a marca de 470 milhões de toneladas por ano, conforme dados da Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO, 2009).

Para atender a essa crescente demanda, é essencial implementar estratégias sustentáveis e inovadoras na agricultura, buscando aumentar a eficiência na produção de

alimentos e promover práticas que minimizem os impactos ambientais (Costa, 2003). O desafio de garantir a segurança alimentar para uma população em constante crescimento requer uma abordagem abrangente, envolvendo tanto a expansão da produção quanto a adoção de práticas agrícolas sustentáveis, contribuindo assim para um futuro alimentar mais seguro e equitativo.

O crescimento da demanda por alimentos no mundo impõe às governanças públicas e privadas o desenvolvimento de estratégias para garantir a segurança alimentar de seus habitantes. No rol dessas estratégias, são necessárias medidas que estimulem o crescimento da produção mundial de alimentos por meio de sistemas produtivos mais eficientes e, ao mesmo tempo, sustentáveis (Song et al., 2021).

No que diz respeito ao Brasil, o aumento da demanda por alimentos em nível global representa uma oportunidade de crescimento econômico. De acordo com os índices de exportação apresentados pelo Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (CEPEA, 2022), o agronegócio brasileiro tem batido recordes de vendas ao exterior ano após ano. Nos primeiros seis meses de 2022, a participação do agronegócio no saldo comercial do Brasil atingiu 48%, superando a participação obtida no mesmo período de 2021. Conforme relatório do CEPEA (2022), a carne bovina *in natura* registrou um aumento de 21,6% no volume exportado durante o primeiro semestre de 2022 em comparação com o mesmo período de 2021. Em termos de valores, segundo o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), as exportações brasileiras de carne bovina apresentaram um crescimento de 52,1%, totalizando US\$ 6.198.400,00 no período de janeiro a junho de 2022 (IPEA, 2022).

Segundo o IBGE (2022), o rebanho bovino brasileiro atingiu um recorde histórico em 2021, alcançando 224,6 milhões de cabeças. São Félix do Xingu (PA) lidera o ranking municipal, com cerca de 2,5 milhões de cabeças, enquanto o estado do Pará, onde está localizado, lidera o desmatamento na Amazônia Legal, registrando 5.238 km<sup>2</sup> desmatados em 2021, conforme dados do PRODES (2022). Altamira (PA) ocupa o segundo lugar tanto em rebanho bovino (3.109.866 cabeças) quanto em extensão de desmatamento.

De acordo com vários autores, a pecuária bovina é uma das principais causas do desmatamento na Amazônia brasileira. Rivero et al. (2009) afirmam que o mercado de produtos pecuários está associado ao processo de desmatamento, e Kohler et al. (2021) registram que a demanda por carne bovina impulsiona a especulação de terras e o desmatamento na região. Pendrill et al. (2022) destacam que a conversão de pastagens para a criação de gado responde por cerca de metade do desmatamento, mas alertam que grande parte dessas áreas desmatadas não resulta em efetiva expansão produtiva, sendo palco de

conflitos e transações de terras. Rossoni e Moraes (2020) ressaltam a complexidade da dinâmica do desmatamento, envolvendo fatores como ocupação territorial, subsídios fiscais, atividade agropecuária e valor das terras.

Objetivou-se com esse trabalho compreender a relação entre o desenvolvimento da bovinocultura, a qualidade de vida da população e a preservação do meio ambiente em um município, considerando a relevância da pecuária para sua economia. A pesquisa empregou métodos de coleta, análise e tratamento estatístico e geográfico de informações públicas abrangendo as últimas duas décadas. A partir desse entendimento, buscou-se identificar estratégias que pudessem contribuir para o desenvolvimento sustentável da pecuária, visando especialmente a melhoria da qualidade de vida da comunidade, diante da crescente demanda global por carne bovina.

### **Metodologia**

Este artigo visa realizar uma análise abrangente da relação entre o desenvolvimento da bovinocultura, a qualidade de vida da população e a preservação ambiental em um determinado município. O estudo busca tanto abordar aspectos quantitativos, por meio da análise de dados estatísticos, quanto qualitativos, em uma compreensão mais aprofundada dos fatores socioambientais que influenciam essa interação. Assim, se caracteriza como uma pesquisa bibliográfica e documental (Gil, 2002).

Os dados utilizados neste estudo foram obtidos a partir de fontes secundárias, principalmente disponibilizados por órgãos governamentais, instituições de pesquisa e agências ambientais. Foram selecionadas informações referentes aos últimos 20 anos, abrangendo indicadores econômicos, dados demográficos, índices de qualidade de vida e registros ambientais.

A análise estatística empregada nesse estudo foi crucial para identificar padrões, características e variações nos dados coletados. Utilizando técnicas descritivas, como médias, desvios padrão e análise de variância, a pesquisa buscou fornecer uma compreensão detalhada das dinâmicas subjacentes ao desenvolvimento da pecuária. Essa análise estatística permitiu a identificação de tendências significativas e pontos críticos ao longo do período estudado (Gil, 2002).

A aplicação de técnicas de análise geoespacial, utilizando ferramentas de Sistema de Informações Geográficas (SIG), proporcionou uma visão espacial das transformações associadas à expansão da bovinocultura. Esse componente metodológico é crucial para

compreender as correlações espaciais entre o desenvolvimento da atividade pecuária, o uso da terra e os potenciais impactos ambientais. A visualização desses padrões espaciais ajuda a contextualizar as relações complexas entre a pecuária, o ambiente e as comunidades locais.

A identificação de estratégias sustentáveis é o ponto culminante desta pesquisa. Com base nos resultados das análises estatísticas e geoespaciais, o estudo buscou delinear estratégias que não apenas atendam à crescente demanda global por carne bovina, mas também promovam melhorias na qualidade de vida da população local e minimizem impactos ambientais adversos. Esse aspecto prático da pesquisa contribui diretamente para a aplicação dos resultados, transformando a análise em ações tangíveis para o desenvolvimento sustentável.

Os conjuntos de dados analisados foram obtidos de instituições proeminentes, incluindo o PRODES, MAPBIOMAS, IBGE, Sistema Nacional de Cadastro Ambiental Rural [SICAR], Cepea, IPEA, Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis [IBAMA], Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade [ICMBIO], Fundação Nacional dos Povos Indígenas [FUNAI], Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia [IMAZON], Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Sustentabilidade [SEMAS] do Pará e Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas [SEBRAE].

A inclusão dessas instituições no escopo da pesquisa não apenas reforça a robustez metodológica adotada, mas também destaca o comprometimento em utilizar fontes confiáveis e atualizadas. Essa abordagem multifacetada amplia a compreensão da relação entre a pecuária, o desenvolvimento local e os impactos ambientais, ao incorporar dados de entidades governamentais, organizações ambientais, e fontes especializadas em agricultura e desenvolvimento econômico.

Cada instituição contribuiu com dados específicos, enriquecendo a análise estatística e geoespacial, e permitindo uma visão mais abrangente das dinâmicas relacionadas à pecuária no município em questão. A diversidade de fontes também proporciona uma perspectiva mais completa das complexas interações entre a atividade pecuária, as comunidades locais e o ambiente, promovendo uma análise mais holística e abrangente.

Essa ampla gama de fontes de dados reflete o compromisso em abordar a complexidade do fenômeno estudado, proporcionando uma base sólida para as conclusões e recomendações apresentadas ao final do estudo. A transparência na origem dos dados fortalece a credibilidade da pesquisa e fornece uma base sólida para a interpretação dos resultados, garantindo, assim, a confiança e relevância dos achados deste estudo.

## Resultados e Discussão

### Caracterização do município de São Félix do Xingu

São Félix do Xingu, município localizado no estado do Pará e inserido no bioma Amazônia, pertence à mesorregião do Sudeste Paraense e à microrregião de São Félix do Xingu (IBGE, 2021). Com uma extensão territorial de aproximadamente 84.213 km<sup>2</sup>, é o sexto maior município do país (IBGE, 2022), abrigando uma população estimada em 135.732 habitantes (IBGE, 2021).

Quanto à ocupação do espaço, apenas 18,69 km<sup>2</sup> são destinados à urbanização (IBGE, 2019). Em uma análise comparativa da urbanização das vias públicas em São Félix do Xingu com os 5.570 municípios brasileiros, o município ocupa a 5.048<sup>a</sup> posição. No que se refere ao esgotamento sanitário, dentro do mesmo cenário comparativo, São Félix do Xingu se encontra na 3.508<sup>a</sup> colocação, com 22,5% dos domicílios contando com esgotamento sanitário adequado (IBGE, 2010).

Em 2020, enquanto a taxa de mortalidade infantil no Brasil era de 16 óbitos por mil nascidos vivos, São Félix do Xingu apresentava uma taxa mais elevada, registrando 21 óbitos por mil nascidos vivos (IBGE, 2020). Esses indicadores ressaltam desafios específicos enfrentados pelo município, especialmente nas áreas de infraestrutura urbana e saúde pública, merecendo uma atenção mais aprofundada para compreensão e possível implementação de políticas públicas adequadas.

Quanto à taxa de escolarização de crianças de 6 a 14 anos de idade, em comparação com os 5.570 municípios brasileiros, São Félix do Xingu se posiciona na 5.551<sup>a</sup> posição (IBGE, 2010). Uma análise temporal, representada na Figura 1, revela que, entre os anos de 2008 e 2021, o percentual de alunos matriculados nas redes pública e privada, nos ensinos fundamental e médio, demonstra uma tendência de queda (IBGE, Estimativa da População, 2023; IBGE, Censo Demográfico 2010; IBGE, Censo Escolar: Sinopse, 2023). Essa dinâmica suscita a necessidade de uma avaliação mais aprofundada dos fatores subjacentes a essa redução, permitindo uma compreensão mais abrangente do cenário educacional no município de São Félix do Xingu.

Os índices de urbanização, esgotamento sanitário, taxa de mortalidade infantil e taxa de escolarização de 6 a 14 anos de idade em São Félix do Xingu apontam para um cenário desafiador, caracterizado por condições desfavoráveis no que diz respeito à qualidade de vida, saúde e educação da população. Esses indicadores convergentes sugerem que o município

enfrenta obstáculos significativos que podem impactar negativamente o desenvolvimento socioeconômico de seus habitantes.

A baixa taxa de urbanização, associada a números limitados de esgotamento sanitário adequado, indica uma infraestrutura urbana insuficiente para atender às demandas crescentes da população, refletindo em condições habitacionais e de saneamento abaixo do ideal. A taxa de mortalidade infantil mais elevada do que a média nacional sugere desafios em termos de acesso a cuidados de saúde adequados e programas de prevenção. Ao mesmo tempo, a baixa taxa de escolarização na faixa etária de 6 a 14 anos ressalta questões relacionadas ao acesso e à qualidade do sistema educacional local.

### **Pecuária bovina em São Félix do Xingu**

A análise do crescimento do rebanho bovino em São Félix do Xingu revela um aumento significativo, passando de 1.157.707 cabeças em 2002 para 2.468.764 em 2021, o que representa um crescimento de aproximadamente 113% ao longo desse período. Este aumento destaca o papel importante da atividade pecuária na economia local, conforme evidenciado por dados que mostram a ascensão contínua do efetivo bovino na região (Silva, 2023).

As variações anuais do efetivo bovino em São Félix do Xingu apresentam flutuações, mas a tendência geral é de crescimento consistente. Anos como 2004, 2008, 2010, 2013, 2020 e 2021 se destacam, com taxas de crescimento mais acentuadas, indicando um dinamismo contínuo no setor (Silva & Furtado, 2020). Comparando esses resultados com o panorama nacional, observa-se que, embora o Brasil também tenha experimentado um crescimento no rebanho bovino, a intensidade desse crescimento foi inferior ao observado em São Félix do Xingu. As taxas médias de crescimento anual para o município foram de 6%, em contraste com os 2% a nível nacional, o que evidencia o protagonismo do município no cenário pecuário brasileiro (Silva, 2023).

Esse crescimento expressivo do rebanho bovino não apenas contribui para a produção de carne, mas também gera empregos e fortalece a economia regional. A pecuária, sendo uma das principais atividades econômicas da região, tem implicações significativas para o desenvolvimento socioeconômico local, refletindo-se em melhorias nas condições de vida e na infraestrutura (Mota et al., 2021). A análise dos dados sugere que a atividade pecuária em São Félix do Xingu não é apenas um motor econômico, mas também um catalisador para o desenvolvimento social, com impactos que vão além das fronteiras regionais e reverberam no contexto nacional (Silva, 2023).

Em suma, a importância estratégica da pecuária em São Félix do Xingu é inegável, destacando seu crescimento expressivo e seu potencial como um impulsionador do desenvolvimento socioeconômico no município. A continuidade desse crescimento, no entanto, requer uma gestão sustentável e práticas que minimizem os impactos ambientais associados à expansão da atividade pecuária (Fearnside, 2006).

Tabela 1

*Efetivo do rebanho bovino no Brasil e no município de São Félix do Xingu*

Ano	Rebanho de São Félix de Xingu (cabeças)	Variação anual do rebanho do município (%)	Rebanho do Brasil (cabeças)	Variação anual do rebanho Nacional (%)
2002	1.157.707		185.347.198	
2003	1.264.991	9	195.551.576	6
2004	1.527.017	21	204.512.737	5
2005	1.581.518	4	207.156.696	1
2006	1.596.411	1	205.886.244	-1
2007	1.653.231	4	199.752.014	-3
2008	1.812.870	10	202.287.191	1
2009	1.912.009	5	214.230.967	6
2010	2.022.366	6	218.518.879	2
2011	2.101.726	4	212.815.311	-3
2012	2.143.760	2	211.279.082	-1
2013	2.282.445	6	211.764.292	0
2014	2.213.310	-3	212.366.132	0
2015	2.222.949	0	215.220.508	1
2016	2.200.338	-1	218.190.768	1
2017	2.240.496	2	215.003.578	-1
2018	2.256.734	1	213.809.445	-1
2019	2.241.537	-1	214.689.984	0
2020	2.361.887	5	217.836.282	1
2021	2.468.764	5	224.602.112	3
Crescimento do rebanho de São Félix do Xingu no período				113
Crescimento do rebanho de São Félix do Xingu no período				21

Fonte: Resultados originais da pesquisa.

De 2010 a 2021, São Félix do Xingu se destacou como líder incontestável no cenário nacional em termos de efetivo de rebanho bovino. Ao longo desse período, o município não apenas manteve uma posição de vanguarda, mas também demonstrou um crescimento expressivo ano após ano. Em 2021, o rebanho bovino total do município alcançou a impressionante marca de 2.468.764 cabeças.

A liderança de São Félix do Xingu torna-se ainda mais evidente quando comparada com outros municípios do país. Em particular, destaca-se a comparação com Corumbá, no

Mato Grosso do Sul, que ocupou a segunda posição em 2021, com um efetivo de rebanho de 1.838.542 cabeças. A diferença entre os dois municípios é notável, representando um acréscimo de 34,28% no rebanho bovino de São Félix do Xingu em relação ao segundo colocado.

Essa liderança consecutiva evidencia não apenas a pujança do setor pecuário em São Félix do Xingu, mas também seu impacto expressivo no contexto nacional. O município não apenas mantém uma posição proeminente, mas seu crescimento contínuo destaca a importância estratégica da atividade pecuária para a economia local. O resultado apresenta um panorama onde São Félix do Xingu se consolida como referência nacional no que diz respeito ao efetivo de rebanho bovino, consolidando-se como protagonista em um setor vital para a economia brasileira.

### **Desmatamento em São Félix do Xingu**

Uma perspectiva reveladora sobre as mudanças significativas ocorridas na formação vegetal do município de São Félix do Xingu a partir do ano de 1985. O gráfico ilustra de forma clara e gradual como as áreas anteriormente cobertas por vegetação natural foram sendo progressivamente convertidas em terrenos destinados à agricultura e, predominantemente, à formação de pastagens (Figura 1).

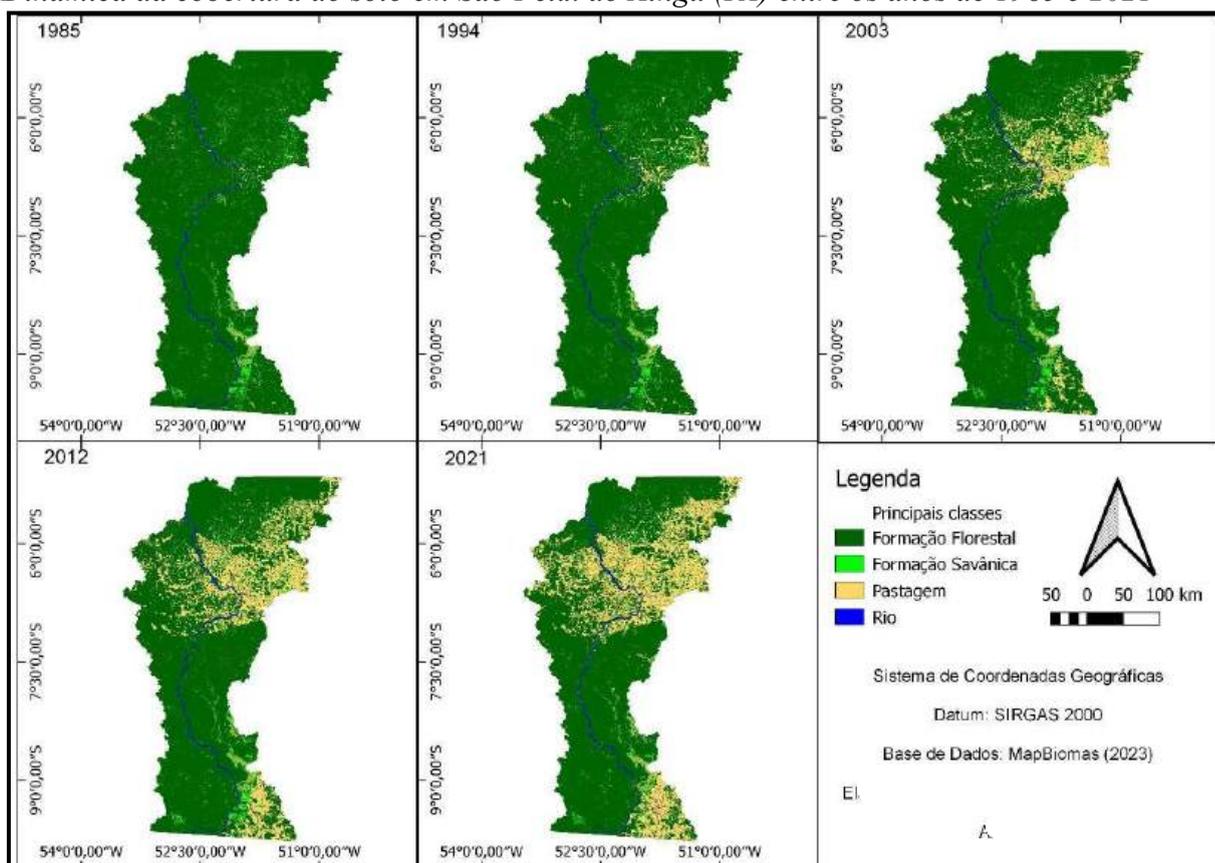
Esse padrão de transformação reflete diretamente o modelo de desenvolvimento adotado no estado do Pará, ao qual São Félix do Xingu está inserido. O fenômeno observado é caracterizado pela substituição contínua de ecossistemas florestais por sistemas agrícolas e áreas de pastagem. Essa mudança de uso do solo evidencia a dinâmica intensiva de alterações ambientais e agrícolas que ocorreram ao longo do tempo na região.

A expansão das áreas agrícolas e de pastagem no município não apenas sinaliza o impacto do crescimento econômico e da atividade agropecuária na região, mas também levanta questões relacionadas à sustentabilidade ambiental. A conversão gradual da vegetação natural para fins agropecuários está intrinsecamente ligada a desafios ambientais, como o desmatamento e a perda de biodiversidade, destacando a necessidade de considerar abordagens mais equilibradas e sustentáveis em políticas de desenvolvimento regional.

Os dados fornecidos pelo Projeto MapBiomias em 2023 corroboram a trajetória de transformação no uso do solo em São Félix do Xingu, oferecendo uma base informativa essencial para a compreensão das dinâmicas ambientais e socioeconômicas em curso na região. A análise dessas mudanças ao longo do tempo é crucial para embasar estratégias de manejo e planejamento que visem a harmonização entre o desenvolvimento econômico e a

preservação dos ecossistemas naturais.

Figura 1  
Dinâmica da cobertura do solo em São Félix do Xingu (PA) entre os anos de 1985 e 2021



Fonte: Mapas elaborados pelo autor a partir de dados do Projeto MapBiomias (2023).

A expansão territorial no município de São Félix do Xingu ao longo de cinco anos específicos - 1985, 1994, 2003, 2012 e 2021. As quatro classes principais de cobertura de solo - Formação Florestal, Formação Savânica, Pastagem e Rio - são apresentadas, permitindo uma compreensão mais aprofundada das mudanças ocorridas nas extensões territoriais ao longo desse período crucial (Tabela 2).

Em 1985, a Formação Florestal predominava com 79.152,17 km<sup>2</sup>, seguida pela Formação Savânica, Pastagem e Rio. No entanto, ao avançarmos para 2021, observamos uma diminuição significativa na Formação Florestal para 61.129,32 km<sup>2</sup>, indicando uma notável conversão dessas áreas para outros usos, particularmente para pastagens.

A expansão das áreas de Pastagem é notável, especialmente entre 2003 e 2021, atingindo 19.312,36 km<sup>2</sup>. Essa tendência destaca a intensificação da atividade agropecuária na região, caracterizando o impacto do desenvolvimento econômico na cobertura do solo.

A Formação Savânica também experimentou uma diminuição gradual ao longo do período, sugerindo uma transição para outras classes de cobertura do solo. Esse fenômeno pode estar relacionado a mudanças no uso da terra, refletindo adaptações nas práticas agrícolas e no manejo do solo.

Por outro lado, a área ocupada por rios permaneceu relativamente estável ao longo dos anos, indicando mudanças menores nesse componente ambiental. Essa estabilidade pode ser um indicativo de medidas de conservação ou de regulamentações que visam preservar os recursos hídricos na região.

Essa análise detalhada proporciona uma visão abrangente das dinâmicas de mudanças na paisagem de São Félix do Xingu ao longo do tempo. As transformações expressas na tabela reforçam a necessidade de uma gestão equilibrada, considerando o desenvolvimento econômico, a sustentabilidade ambiental e a preservação dos recursos naturais como pilares fundamentais para o planejamento e manejo futuro do município.

Tabela 2  
*Expansão territorial por classes*

Ano	Classes			
	Formação Florestal	Formação Savânica	Pastagem	Rio
	Extensão territorial (km <sup>2</sup> )			
1985	79.152,17	2.509,72	409,43	958,07
1994	77.794,56	2.460,32	1.803,05	994,06
2003	71.267,76	2.360,41	8.455,38	961,17
2012	65.325,08	2.218,07	14.548,84	970,25
2021	61.129,32	1.532,44	19.312,36	950,95

Fonte: Resultados originais da pesquisa.

A análise das quatro principais classes de cobertura de solo em São Félix do Xingu revela um cenário abrangente que abrange 99% da área total do município. Em particular, observam-se mudanças substanciais na cobertura vegetal natural e um aumento expressivo na área destinada à pastagem, conforme os dados de 2021 Souza et al. (2020). No ano em questão, a cobertura vegetal natural registrou uma diminuição de 19.000,13 km<sup>2</sup>, indicando uma considerável alteração na paisagem original do município. Essa redução pode ser interpretada como resultado das atividades de conversão de áreas florestais e vegetação nativa

para outros usos, especialmente a expansão das pastagens, que é uma característica marcante da dinâmica territorial da região (Brito et al., 2021).

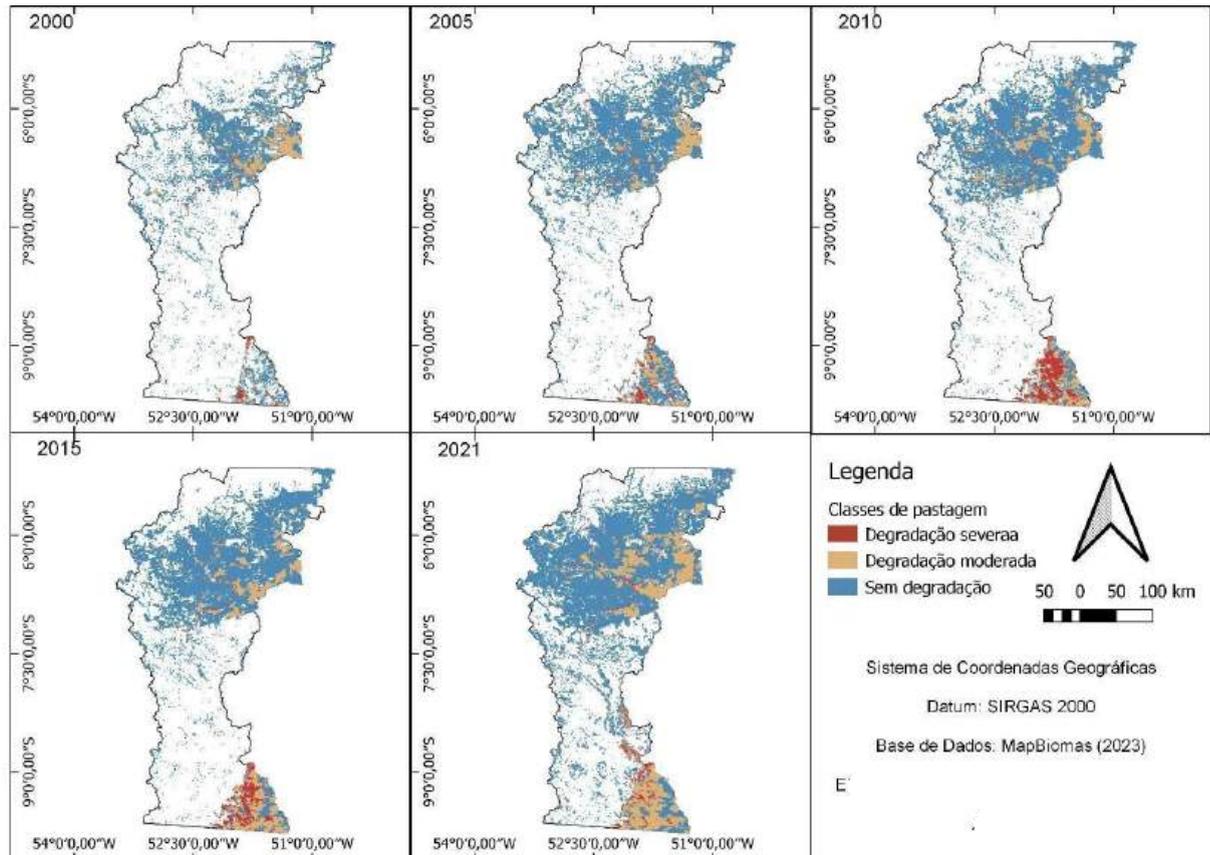
Contrastando com a diminuição da cobertura vegetal natural, a área destinada à pastagem alcançou 19.312,36 km<sup>2</sup> em 2021. Esse aumento significativo destaca a expansão das atividades agropecuárias na região, evidenciando o papel preponderante da pecuária no processo de transformação do uso do solo em São Félix do Xingu (Olimpio et al., 2022). Em termos percentuais, aproximadamente 23% do território municipal foi convertido em áreas de pastagem, o que ressalta os desafios associados à busca por um equilíbrio entre o desenvolvimento econômico e a preservação ambiental (Garcia et al., 2017).

Os dados fornecidos pelo Projeto MapBiomias em 2023 oferecem uma visão clara da dinâmica em curso no município, onde a expansão da pastagem emerge como um fator-chave moldando a paisagem de São Félix do Xingu. A compreensão desses padrões é crucial para orientar políticas e práticas que visem uma gestão sustentável do território, garantindo a conservação dos recursos naturais e promovendo o desenvolvimento de maneira equilibrada (Miranda et al., 2021). A análise das mudanças na cobertura do solo não apenas reflete a pressão da atividade agropecuária, mas também destaca a necessidade de estratégias que integrem a produção agrícola com a conservação ambiental, visando mitigar os impactos negativos da expansão das pastagens sobre a biodiversidade e os ecossistemas locais (Schmink et al., 2017).

Figura 2

*Evolução da qualidade das pastagens em São Félix do Xingu (PA) entre os anos de 2000 e 2021*

**Pastagens: expansão, qualidade, posicionamento geográfico e eficiência**



Fonte: Mapas elaborados pelo autor a partir de dados do Projeto MapBiomass (2023).

Ao registrar as extensões das classes de pastagem nos anos de 2000, 2005, 2010, 2015 e 2021, bem como a proporção da conversão de área de pastagem em São Félix do Xingu, oferece uma visão detalhada e preocupante sobre a dinâmica dessa atividade crucial para a economia regional. A análise desses dados evidencia transformações significativas nas áreas destinadas à pecuária, revelando um cenário que demanda atenção e ação imediata (Tabela 3).

No ano 2000, a extensão total das pastagens era de 5.060,70 km<sup>2</sup>, com 6,01% dessa área apresentando algum grau de degradação. Em 2005, esse número aumentou para 10.825,01 km<sup>2</sup>, representando 12,85% de degradação. O crescimento expressivo das áreas degradadas ao longo desses cinco anos levanta sérias preocupações quanto à sustentabilidade ambiental da atividade pecuária, sugerindo a necessidade de estratégias mais eficazes de manejo e conservação (Figura 2).

Em 2010, as pastagens alcançaram uma extensão de 14.221,41 km<sup>2</sup>, e a proporção de degradação atingiu 16,89%. Esse aumento contínuo da degradação aponta para a urgência de políticas e práticas de manejo do solo que visem a preservação dos recursos naturais. A relação direta entre a expansão das áreas de pastagem e o aumento da degradação indica um desafio crescente para conciliar o crescimento econômico com a conservação ambiental.

Em 2015, a extensão total das pastagens foi de 15.072,09 km<sup>2</sup>, com 17,90% dessa área apresentando algum nível de degradação. O aumento constante da degradação reflete a necessidade de medidas mais assertivas para reverter essa tendência prejudicial ao ecossistema local.

A análise mais recente, em 2021, revela uma extensão total das pastagens de 19.328,09 km<sup>2</sup>, com alarmantes 22,95% dessa área sofrendo degradação. Esse dado indica uma aceleração preocupante do processo de degradação, exigindo uma abordagem urgente e abrangente para reverter essa tendência e garantir a sustentabilidade da pecuária na região.

Tabela 3  
*Classes de pastagem*

Ano	Classes de pastagem				Proporção de conversão de área de pastagem no município (%)
	Degradação severa	Degradação moderada	Sem degradação	Extensão total	
Extensão territorial (km <sup>2</sup> )					
2000	275,09	1.986,46	2.799,15	5.060,70	6,01
2005	523,73	3.662,19	6.639,09	10.825,01	12,85
2010	1.292,69	4.864,73	8.063,99	14.221,41	16,89
2015	1.200,73	4.907,69	8.963,67	15.072,09	17,90
2021	1.108,40	7.086,67	11.133,02	19.328,09	22,95

Fonte: Resultados originais da pesquisa.

As três classes de pastagem apresentaram uma expansão progressiva de suas áreas. Este fenômeno aponta para uma dinâmica preocupante, onde as áreas destinadas à pecuária têm aumentado de maneira contínua, sem uma prática correspondente de recuperação ou reabilitação das áreas de pastagem degradadas. Essa ausência de iniciativas de restauração ressalta um desafio crítico na gestão do uso do solo em São Félix do Xingu (Tabela 3).

A constatação de que não houve práticas efetivas de recuperação de áreas de pastagem indica um ciclo prejudicial. À medida que as pastagens sofrem degradação, a ausência de esforços para revitalizar essas áreas resulta na incorporação de novas extensões de terra à atividade pecuária. Esse padrão cria um ciclo vicioso, onde a expansão contínua das pastagens não é acompanhada por medidas que promovam a regeneração do solo e a recuperação das áreas já impactadas (Figura 3).

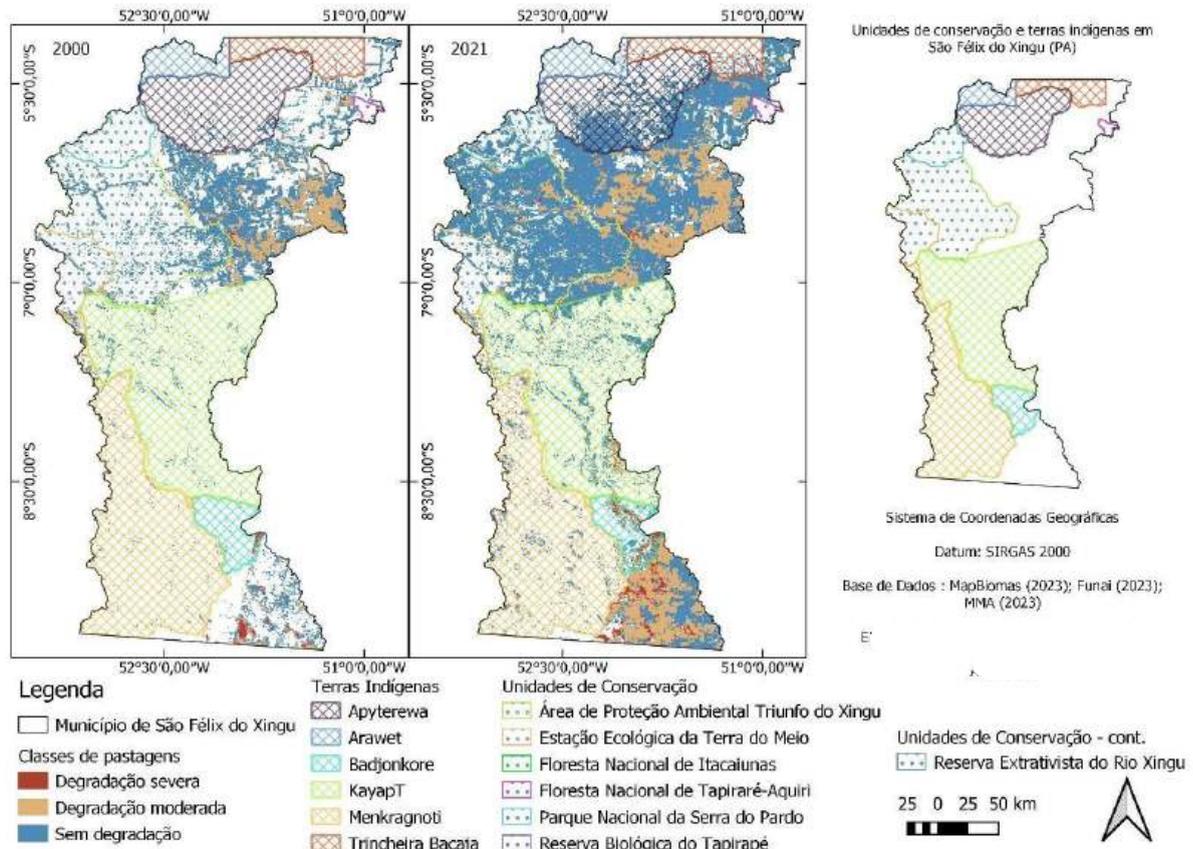
Esse cenário tem implicações sérias, pois a expansão não regulamentada das pastagens amplia a pressão sobre a vegetação natural que originalmente cobria o município. A degradação contínua das pastagens, sem um contrapeso efetivo de práticas sustentáveis, contribui para a perda progressiva da biodiversidade e a diminuição da resiliência dos ecossistemas locais.

A ausência de estratégias de recuperação de áreas de pastagem degradadas não apenas compromete a saúde do solo e a qualidade ambiental, mas também prejudica a sustentabilidade da atividade pecuária em longo prazo. É imperativo que a gestão do uso do solo em São Félix do Xingu incorpore políticas e práticas que promovam a recuperação ativa de áreas de pastagem degradadas, visando uma harmonia entre o crescimento da atividade pecuária e a conservação dos recursos naturais, essenciais para a resiliência e equilíbrio do ecossistema local.

A Figura 4 mostra que, entre 2000 e 2021, as pastagens avançaram em direção a áreas especialmente protegidas, como terras indígenas (FUNAI, 2023) e unidades de conservação (MMA, 2023).

Figura 3

*Interferência de pastagens em Unidades de Conservação e Terras Indígenas em São Félix do Xingu (PA) entre os anos de 2000 e 2021*



Fonte: Mapas elaborados pelo autor a partir de dados do Projeto MapBiomas (2023), FUNAI (2023) e MMA (2023).

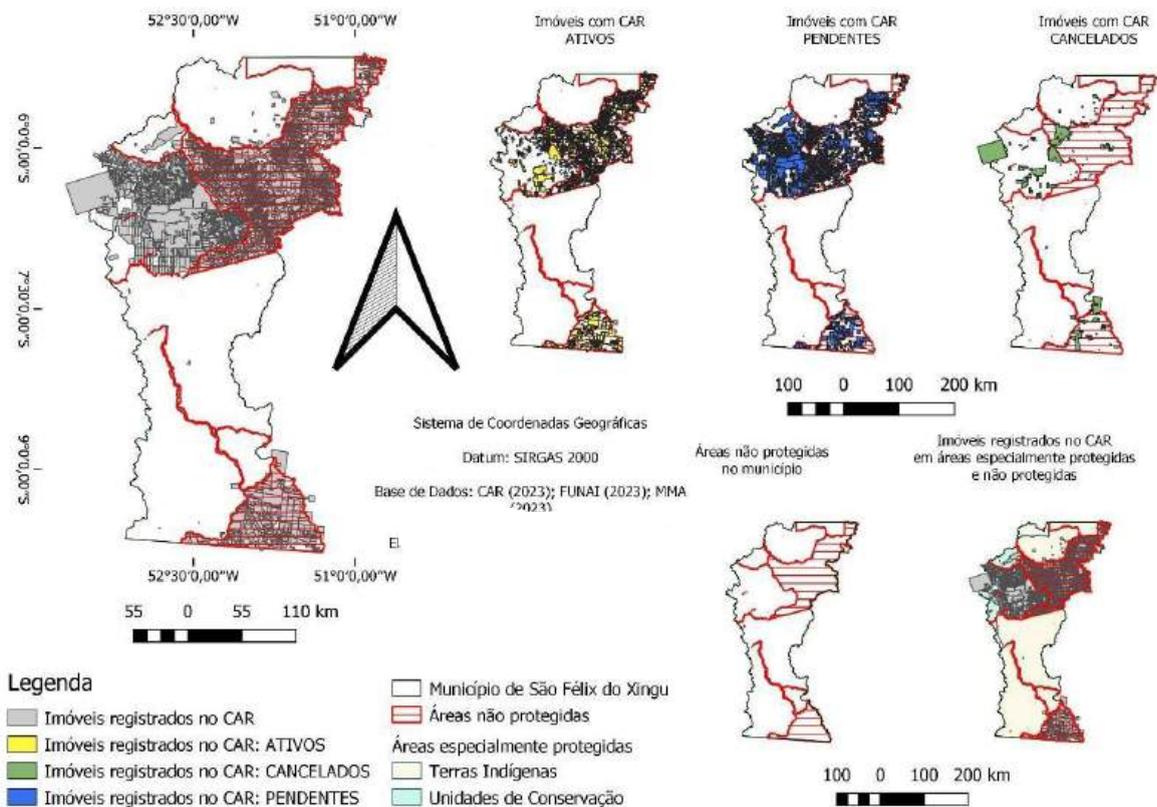
A análise da extensão territorial de São Félix do Xingu revela uma situação complexa em relação à proteção ambiental, com apenas 23.218 km<sup>2</sup> não abrangidos por categorias de Unidade de Conservação e Terras Indígenas. Essa constatação destaca a significativa presença de áreas especialmente protegidas no município, indicando um esforço para preservar ecossistemas sensíveis e promover a conservação da biodiversidade Souza et al. (2020) e Cavalcante et al. (2020). No entanto, a situação se torna preocupante ao considerar os dados do Cadastro Ambiental Rural (CAR) de 2023, que indicam a existência de 10.027 registros de imóveis, dos quais 4.284 estavam ativos, 158 cancelados e 5.585 pendentes. Esses imóveis ocupavam uma extensão de 47.885,04 km<sup>2</sup>, representando 56,86% da área total do município (Gebara, 2019).

A coexistência de uma considerável extensão de imóveis rurais, especialmente nas áreas não protegidas, levanta questões críticas sobre a eficácia das políticas de conservação e a necessidade de regulamentações mais robustas. A presença expressiva de imóveis em áreas especialmente protegidas suscita preocupações quanto à integridade desses ecossistemas, destacando a importância de estratégias de gestão que garantam a preservação efetiva dessas regiões (Kawakubo et al., 2013 & Ferreira, 2024). A interseção entre áreas protegidas,

imóveis rurais e sua distribuição no território de São Félix do Xingu evidencia a complexidade dos desafios ambientais enfrentados pelo município.

A busca por um equilíbrio sustentável entre o desenvolvimento econômico e a conservação ambiental emerge como uma prioridade, demandando ações coordenadas entre as esferas governamentais, comunidades locais e stakeholders envolvidos na preservação desse ecossistema fundamental (Silva, 2024 & Silva-Melo et al., 2018). A análise dos dados do CAR e a compreensão da dinâmica de uso do solo são cruciais para o desenvolvimento de políticas públicas que integrem a conservação ambiental com as necessidades socioeconômicas da população local, promovendo um modelo de desenvolvimento que respeite os limites ecológicos e assegure a proteção dos recursos naturais (Cavalcante et al., 2020 & Costa, 2023).

Figura 4  
*Imóveis registrados no CAR em São Félix do Xingu*



Fonte: Mapas elaborados pelo autor a partir de dados do CAR (2023), FUNAI (2023) e MMA (2023).

A análise dos registros no Cadastro Ambiental Rural (CAR) revela uma concentração significativa de imóveis, independentemente da situação cadastral, nas áreas não protegidas de São Félix do Xingu. Este padrão sugere uma intensa atividade de uso do solo

nesses locais, levantando questões críticas sobre a sustentabilidade ambiental dessas áreas (Figura 5).

Observou-se, no entanto, que há uma presença notável de imóveis em Unidades de Conservação, com destaque para a Área de Proteção Ambiental Triunfo do Xingu. A constatação de imóveis mesmo em áreas sob regime de proteção ambiental aponta para a necessidade de uma análise mais aprofundada das políticas de conservação e para a implementação de medidas que garantam a preservação efetiva dessas áreas sensíveis.

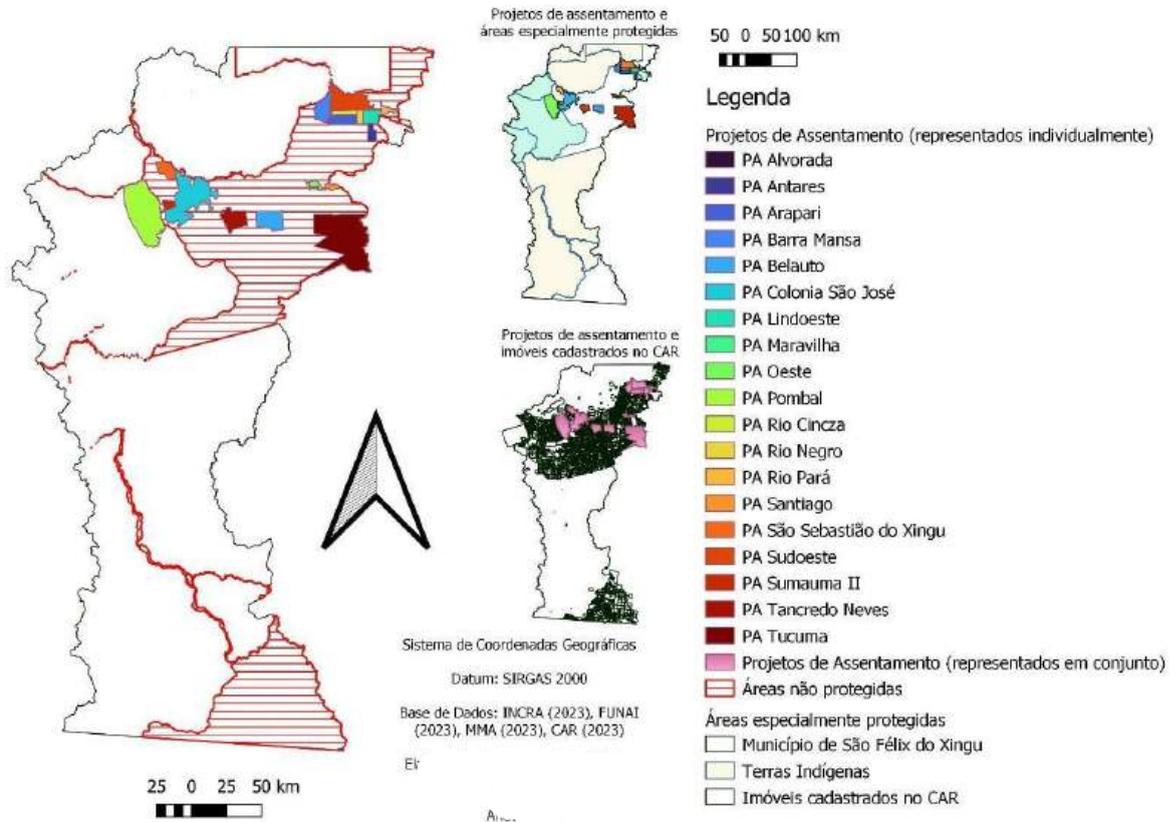
As Terras Indígenas também enfrentam pressão de uso do solo, com alguns registros de imóveis, embora em número reduzido. Vale ressaltar que, até o momento da análise, os registros de imóveis dentro das Terras Indígenas estavam cancelados ou pendentes, indicando uma situação que requer atenção especial e a implementação de estratégias para salvaguardar a integridade dessas áreas.

No âmbito dos projetos de assentamento criados e reconhecidos pelo Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA), identificou-se a existência de 19 projetos de assentamento (PA) em São Félix do Xingu. Esses PAs, em sua maioria, concentravam-se ao norte, dentro da área não protegida do município. No entanto, um ponto de destaque foi o Projeto de Assentamento Pombal, situado no interior da Área de Proteção Ambiental Triunfo do Xingu. A coexistência de projetos de assentamento em áreas protegidas sublinha a complexidade das interações entre desenvolvimento agrário e conservação ambiental.

É relevante notar que não foram identificados projetos de assentamento em Terras Indígenas, indicando um alinhamento com a legislação vigente que proíbe tal ocupação nessas áreas. Ao confrontar os projetos de assentamento com os registros de imóveis no CAR, observou-se que não havia PAs em regiões onde já não houvesse imóveis cadastrados. Essa correlação sugere que a criação de assentamentos pode seguir a presença ou ausência de imóveis, indicando a importância de uma abordagem coordenada na gestão do uso e ocupação do solo.

Figura 5

*Projetos de assentamento em São Félix do Xingu*



Fonte: Mapas elaborados pelo autor a partir de dados do CAR (2023), FUNAI (2023) e MMA (2023).

A análise da distribuição do efetivo bovino em São Félix do Xingu, em relação à extensão das áreas de pastagens, revela um cenário preocupante, caracterizado pela prática de uma pecuária extensiva e de baixa eficiência entre 2002 e 2021. Um indicador crucial a ser considerado é a densidade de unidades animais (UA) por hectare, especialmente em pastagens não degradadas, que são consideradas de boa qualidade. Durante o período analisado, a média de UA por hectare em pastagens não degradadas permaneceu consistentemente abaixo de 3, variando entre 2,20 e 2,63, o que indica uma baixa intensificação da atividade pecuária e uma subutilização dos recursos disponíveis (Souza et al., 2020 & Grego et al., 2011).

Além disso, ao examinar a distribuição de UA por hectare em toda a extensão das áreas de pastagens, os resultados se tornam ainda mais alarmantes, com valores que variam entre 1,28 e 1,68. Essa média extremamente baixa ressalta a ineficiência na utilização da terra para a criação de gado, evidenciando a necessidade de uma revisão nas práticas de manejo e na gestão das pastagens em São Félix do Xingu (Martinez et al., 2007 & Leal et al., 2020). A predominância de um modelo extensivo, onde vastas áreas são utilizadas para criar um número relativamente pequeno de animais, é insustentável diante dos desafios ambientais

contemporâneos, como a preservação de ecossistemas naturais e a redução das emissões de gases de efeito estufa (Silva et al., 2018 & Silva, 2023).

A continuidade desse modelo de pecuária pode resultar em sérios impactos ambientais, incluindo desmatamento, erosão do solo e perda de biodiversidade. Esses efeitos adversos não apenas comprometem a sustentabilidade da pecuária local, mas também afetam a integridade do ecossistema como um todo (Prates & Bacha, 2011 & Anjos et al., 2021). Portanto, é urgente uma transição para práticas pecuárias mais sustentáveis e eficientes em São Félix do Xingu. Isso implica na adoção de técnicas de manejo que maximizem a produção por hectare, reduzindo a pressão sobre áreas naturais e contribuindo para a conservação ambiental (Souza et al., 2021 & Andrade et al., 2017).

A implementação de sistemas integrados de produção agropecuária, que combinam a pecuária com práticas agrícolas e florestais, pode ser uma solução viável para aumentar a eficiência da produção e minimizar os impactos ambientais (Miranda et al., 2021; Silva & Furtado, 2020). A adoção de tais sistemas não apenas atende à demanda por uma produção responsável, mas também promove a resiliência a longo prazo da atividade pecuária na região, que é de importância estratégica para o Brasil (Bento et al., 2020 & Claudino et al., 2016).

Tabela 4

*Distribuição de animais por pastagens*

Ano	Rebanho de São Félix de Xingu (cabeças)	Extensão de pastagens (hectares)		UA/hectare/tipo de pastagem	
		Sem degradação	Extensão total	Sem degradação	Extensão total
2002	1.157.707	432.174	689.681	2,68	1,68
2003	1.264.991	546.856	845.870	2,31	1,50
2004	1.527.017	626.157	978.708	2,44	1,56
2005	1.581.518	663.909	1.082.501	2,38	1,46
2006	1.596.411	698.588	1.180.875	2,29	1,35
2007	1.653.231	750.383	1.264.785	2,20	1,31
2008	1.812.870	792.662	1.342.123	2,29	1,35
2009	1.912.009	816.439	1.388.182	2,34	1,38
2010	2.022.366	806.399	1.422.141	2,51	1,42
2011	2.101.726	842.446	1.446.385	2,49	1,45
2012	2.143.760	847.281	1.455.496	2,53	1,47
2013	2.282.445	867.353	1.471.275	2,63	1,55
2014	2.213.310	889.092	1.482.561	2,49	1,49
2015	2.222.949	896.367	1.507.209	2,48	1,47
2016	2.200.338	895.993	1.533.668	2,46	1,43
2017	2.240.496	887.811	1.563.506	2,52	1,43
2018	2.256.734	904.814	1.604.731	2,49	1,41

2019	2.241.537	912.968	1.641.178	2,46	1,37
2020	2.361.887	928.741	1.703.558	2,54	1,39
2021	2.468.764	1.113.302	1.932.809	2,22	1,28

Fonte: Resultados originais da pesquisa.

O padrão da pecuária bovina desenvolvida em São Félix do Xingu caracterizava-se pela incorporação de novas áreas de pastagem, provenientes de desmatamentos, inclusive em áreas especialmente protegidas, e pela baixa produtividade da criação animal. Ambas as questões enfrentadas pelo município indicavam que a bovinocultura não era uma atividade sustentável e que medidas deveriam ser buscadas para reverter tal situação, baseadas na adoção de técnicas e tecnologias modernas e na disponibilidade de força de trabalho qualificada.

### **Desenvolvimento socioeconômico do município**

A análise dos dados fornecidos pelo Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (SEBRAE), conforme apresentados, revela um panorama significativo da distribuição da força de trabalho no município de São Félix do Xingu ao longo dos anos. A Administração Pública e a agropecuária emergem como os principais empregadores na região, desempenhando um papel crucial na dinâmica econômica local (Tabela 5).

De acordo com os registros, a Administração Pública, Defesa e Seguridade Social mantiveram uma presença constante, variando entre 32% e 33,7% ao longo do período de 2016 a 2021. Este setor representa uma fatia substancial da força de trabalho, indicando a relevância das atividades governamentais e de serviços públicos para a economia local.

Por outro lado, a agricultura, pecuária e serviços relacionados também se destacam como pilares fundamentais na geração de empregos, mantendo uma participação expressiva que varia de 29,9% a 32,6%. Esta constância indica a importância contínua do setor agropecuário na oferta de oportunidades de trabalho, ressaltando a relevância da atividade rural para a economia local.

No entanto, é crucial observar a evolução de outros setores ao longo do período analisado. O comércio varejista, a fabricação de produtos alimentícios, os serviços de escritório e de apoio, bem como outros setores, exibem flutuações que merecem atenção. A diversificação da economia, representada por esses setores, pode indicar uma busca por alternativas de emprego além das áreas tradicionalmente dominantes.

A análise desses dados permite inferir que a dependência significativa da Administração Pública e da agropecuária como principais empregadores pode apresentar

desafios, principalmente em termos de diversificação econômica. A concentração em setores específicos pode tornar a economia vulnerável a flutuações, demandando uma estratégia de desenvolvimento mais ampla e equilibrada.

Tabela 5

*Distribuição da força de trabalho por setor da economia*

Ano	Administração Pública, Defesa e Seguridade Social (%)	Agricultura, Pecuária e Serviços relacionados (%)	Comércio Varejista (%)	Fabricação de Produtos Alimentícios (%)	Serviços de Escritório e de Apoio (%)	Outros (%)
2016	33,40	31,50	12,50	9,10	2,00	10,30
2017	33,90	30,50	12,10	9,10	3,00	10,10
2018	32,40	32,10	11,80	4,80	4,80	12,60
2019	32,60	32,60	10,70	7,40	5,70	9,90
2020	32,00	30,50	11,10	8,30	7,60	9,55
2021	33,70	29,90	11,30	9,60	4,80	9,90

Fonte: Resultados originais da pesquisa

A análise dos valores adicionados brutos, conforme apresentados, evidencia uma disparidade significativa entre os setores da agropecuária e a Administração Pública no contexto do Produto Interno Bruto (PIB) de São Félix do Xingu. Embora a distribuição de empregos entre esses setores não apresentasse discrepâncias expressivas, a contribuição para o PIB revela uma disparidade econômica substancial (Tabela 6).

Ao longo do período de 2002 a 2020, a agropecuária demonstrou uma presença marcante no montante do PIB do município, mantendo uma fração que variou de 31,37% a 45,69%. Esse protagonismo reiterado ressalta a importância do setor agrícola e pecuário como motor da economia local, contribuindo significativamente para a geração de riqueza e sustentando grande parte da atividade econômica municipal.

Por outro lado, a Administração Pública, Defesa, Educação e Saúde Públicas, e Seguridade Social, embora empregassem uma proporção considerável da força de trabalho, não apresentaram a mesma expressividade em termos de participação no PIB. A fração correspondente variou entre 18,97% e 38,17%, revelando uma contribuição econômica menor em comparação com a agropecuária.

Essa disparidade nos valores adicionados brutos sugere que a agropecuária desempenha um papel preponderante na geração de riqueza em São Félix do Xingu. A concentração significativa de recursos na atividade agropecuária também aponta para a

vulnerabilidade econômica do município, uma vez que a dependência excessiva de um único setor pode tornar a economia suscetível a flutuações e desafios específicos desse setor.

Nesse contexto, torna-se imperativo buscar estratégias que promovam a diversificação econômica, reduzindo a dependência excessiva da agropecuária. A adoção de políticas que incentivem o desenvolvimento de setores complementares, como o comércio, a indústria e os serviços, pode contribuir para a construção de uma base econômica mais robusta e resiliente em São Félix do Xingu.

Em suma, a análise dos valores adicionados brutos ressalta a necessidade de abordagens que visem equilibrar a contribuição econômica dos diferentes setores, promovendo um desenvolvimento mais sustentável e diversificado para o município. A busca por estratégias de crescimento que considerem a ampla gama de atividades econômicas pode ser fundamental para impulsionar o progresso econômico de São Félix do Xingu e garantir sua resiliência frente a desafios futuros.

Tabela 6  
*Valores a preços constantes por setor da economia*

Ano	Agropecuária (x 1.000)	Fração do agro no PIB (%)	Administração, defesa, educação e saúde públicas e seguridade social (x 1.000)	Fração da Adm. Pub. no PIB (%)	PIB (x 1.000)
2002	R\$ 343.535,69	62,32	R\$ 104.585,15	18,97	R\$ 551.284,59
2003	R\$ 371.910,84	64,34	R\$ 102.011,23	17,65	R\$ 578.034,23
2004	R\$ 336.065,80	60,19	R\$ 112.562,10	20,16	R\$ 558.384,03
2005	R\$ 343.236,74	59,11	R\$ 115.352,18	19,86	R\$ 580.692,98
2006	R\$ 339.098,56	56,53	R\$ 139.755,59	23,30	R\$ 599.802,99
2007	R\$ 313.222,57	45,41	R\$ 190.992,99	27,69	R\$ 689.735,32
2008	R\$ 323.889,06	43,05	R\$ 224.010,23	29,77	R\$ 752.343,98
2009	R\$ 342.732,27	42,28	R\$ 226.756,13	27,98	R\$ 810.535,74
2010	R\$ 426.986,67	42,58	R\$ 259.492,14	25,88	R\$ 1.002.734,81
2011	R\$ 446.117,11	40,31	R\$ 301.887,87	27,28	R\$ 1.106.617,92
2012	R\$ 561.737,82	42,68	R\$ 355.018,37	26,98	R\$ 1.316.067,21
2013	R\$ 637.194,68	42,68	R\$ 443.499,11	29,71	R\$ 1.492.844,11
2014	R\$ 665.157,99	40,51	R\$ 542.283,59	33,03	R\$ 1.641.835,14
2015	R\$ 730.733,42	41,82	R\$ 566.733,74	32,43	R\$ 1.747.439,57
2016	R\$ 876.553,50	45,69	R\$ 580.567,19	30,26	R\$ 1.918.313,33
2017	R\$ 678.137,80	36,97	R\$ 648.414,14	35,35	R\$ 1.834.428,28
2018	R\$ 598.119,65	33,76	R\$ 676.163,72	38,17	R\$ 1.771.509,37
2019	R\$ 553.705,93	31,37	R\$ 682.736,50	38,68	R\$ 1.764.979,24
2020	R\$ 700.818,63	38,15	R\$ 589.028,47	32,07	R\$ 1.836.847,15

Fonte: Resultados originais da pesquisa

Nota: O índice de referência para a correção dos valores correntes foi o IPCA ano base 2022. A data de início correspondeu a primeiro mês do ano subsequente ao ano examinado – Exemplo: Para janeiro de 2002, a data de início foi jan/2003. A data de fim foi sempre dez/2022.

Ao longo das décadas analisadas, o PIB do município apresentou flutuações significativas. Destacam-se os anos de 2007, 2010 e 2012, onde observamos variações expressivas, respectivamente, de 15%, 24%, e 19%. Esses momentos indicam períodos de rápido crescimento econômico, muitas vezes associados a mudanças substanciais nas atividades econômicas dominantes, como a expansão da agropecuária (Tabela 7).

No entanto, o PIB per capita revela uma dinâmica diferente. Apesar do crescimento expressivo do PIB, especialmente em 2010, o PIB per capita apresenta variações menos pronunciadas e, em alguns casos, declínios. Isso sugere que o crescimento econômico pode não ter se traduzido de maneira equitativa para todos os habitantes do município, levantando questões sobre a distribuição da riqueza e o acesso a oportunidades econômicas.

O ano de 2007, por exemplo, registrou um crescimento expressivo do PIB, mas uma redução significativa do PIB per capita, indicando uma possível concentração de recursos ou atividades econômicas que beneficiaram apenas determinados setores da população.

É crucial notar que, mesmo em anos de crescimento do PIB per capita, como em 2012 e 2016, as variações não acompanham proporcionalmente o crescimento do PIB total. Isso destaca a importância de se considerar não apenas o crescimento econômico bruto, mas também a distribuição desse crescimento para garantir um desenvolvimento econômico mais inclusivo e sustentável.

A análise conjunta do PIB e do PIB per capita em São Félix do Xingu sugere a necessidade de políticas que promovam não apenas o crescimento econômico, mas também a equidade na distribuição da riqueza. A busca por estratégias que assegurem um desenvolvimento econômico mais equitativo pode contribuir para a construção de uma comunidade mais próspera e resiliente ao longo do tempo.

Tabela 7

*Valores a preços constantes do PIB e do PIB per capita do município*

Ano	PIB (x 1.000)	Varição do PIB em relação ao ano anterior (%)	PIB per capita (x 1)	Varição do PIB per capita em relação ao ano anterior (%)
2002	R\$ 551.284,59		R\$ 14.733,93	
2003	R\$ 578.034,23	5	R\$ 15.008,03	2
2004	R\$ 558.384,03	-3	R\$ 14.038,92	-6
2005	R\$ 580.692,98	4	R\$ 14.261,69	2
2006	R\$ 599.802,99	3	R\$ 14.344,89	1
2007	R\$ 689.735,32	15	R\$ 11.643,47	-19
2008	R\$ 752.343,98	9	R\$ 11.714,57	1

2009	R\$ 810.535,74	8	R\$ 12.060,10	3
2010	R\$ 1.002.734,81	24	R\$ 10.983,71	-9
2011	R\$ 1.106.617,92	10	R\$ 11.564,13	5
2012	R\$ 1.316.067,21	19	R\$ 13.173,19	14
2013	R\$ 1.492.844,11	13	R\$ 13.959,65	6
2014	R\$ 1.641.835,14	10	R\$ 14.707,44	5
2015	R\$ 1.747.439,57	6	R\$ 15.040,02	2
2016	R\$ 1.918.313,33	10	R\$ 15.909,04	6
2017	R\$ 1.834.428,28	-4	R\$ 14.698,24	-8
2018	R\$ 1.771.509,37	-3	R\$ 14.198,99	-3
2019	R\$ 1.764.979,24	0	R\$ 13.737,27	-3
2020	R\$ 1.836.847,15	4	R\$ 13.900,98	1

Fonte: Resultados originais da pesquisa

Nota: O índice de referência para a correção dos valores correntes foi o IPCA ano base 2022. A data de início correspondeu a primeiro mês do ano subsequente ao ano examinado – Exemplo: Para janeiro de 2002, a data de início foi jan/2003. A data de fim foi sempre dez/2022.

Ao longo do período analisado, a agricultura se destaca como o setor que paga a maior proporção do salário-mínimo ao trabalhador xinguense. Em 2021, por exemplo, a remuneração média na agricultura era de 1,71 salários-mínimos, indicando um valor superior em relação aos demais setores econômicos.

Por outro lado, o setor de comércio aparece com a menor proporção do salário-mínimo, indicando que, em média, os trabalhadores nesse setor recebem uma remuneração inferior em comparação com os demais setores mencionados.

A Administração Pública, por sua vez, mostra uma tendência de oferecer uma remuneração média mais elevada, superando a média geral de todos os setores. Esse padrão é consistente ao longo dos anos analisados, indicando que os trabalhadores no setor público em São Félix do Xingu tendem a receber remunerações mais robustas em relação ao salário-mínimo.

É relevante notar que a remuneração média do trabalhador em todos os setores aumentou ao longo do tempo, acompanhando os reajustes do salário-mínimo nacional. Isso pode refletir tanto políticas de valorização do salário-mínimo quanto melhorias nas condições econômicas locais.

Tabela 8

*Proporção do salário-mínimo correspondente à remuneração média do trabalhador por setor econômico em São Félix do Xingu*

Ano	Valor do salário-míni mo (R\$)	Salário-mínimo proporcional					Adm. Pub.	Todos os setores
		Agricultura	Indústri a	Comércio	Serviços			
2016	880,00	1,67	1,89	1,61	2,06	2,73	2,08	

2017	937,00	1,65	1,85	1,52	1,95	2,90	2,11
2018	954,00	1,72	1,79	1,53	1,96	3,14	2,20
2019	998,00	1,75	1,72	1,49	1,85	3,22	2,21
2020	1.045,00	1,70	1,63	1,44	1,77	3,13	2,13
2021	1.100,00	1,71	1,65	1,47	1,75	3,27	2,20

Fonte: Resultados originais da pesquisa

A despeito de São Félix do Xingu liderar nacionalmente em efetivo bovino, conforme dados do IBGE em 2010, a realidade socioeconômica do município apresenta um cenário desafiador. Surpreendentemente, quase metade de sua população, correspondendo a 44,8%, possui um rendimento nominal mensal per capita inferior a meio salário-mínimo. Essa situação coloca o município em uma posição desfavorável quando comparado aos demais municípios brasileiros, ocupando a 2.167ª posição em termos de rendimento per capita entre os 5.570 municípios do país.

A disparidade socioeconômica também é evidente quando se analisa a posição de São Félix do Xingu dentro do próprio estado do Pará. No contexto paraense, o município ocupa a 115ª colocação em rendimento per capita, em uma lista composta por 143 municípios. Esse posicionamento revela que, apesar da liderança na produção bovina, São Félix do Xingu enfrenta desafios significativos no que diz respeito à distribuição de renda e ao bem-estar econômico de sua população.

A discrepância entre a riqueza gerada pela atividade pecuária e os indicadores socioeconômicos desfavoráveis destaca a necessidade de abordagens abrangentes para melhorar as condições de vida da população. A implementação de políticas que visem à diversificação da economia local, a promoção de oportunidades de emprego e o fortalecimento da educação e capacitação profissional podem ser estratégias essenciais para mitigar as disparidades socioeconômicas em São Félix do Xingu. Essas ações são fundamentais não apenas para impulsionar o desenvolvimento econômico do município, mas também para garantir uma distribuição mais equitativa dos benefícios gerados pela atividade pecuária, contribuindo para a melhoria da qualidade de vida da população local.

A análise dos índices de desenvolvimento humano para São Félix do Xingu, revela uma trajetória de evolução ao longo dos anos, porém, com desafios persistentes em relação à desigualdade econômica. Os dados referentes aos anos 1991, 2000 e 2010 indicam um aumento progressivo no Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) do município, refletindo melhorias em indicadores-chave relacionados à educação, renda e longevidade (Tabela 9).

Entretanto, mesmo com esse progresso, é notável que o IDHM ainda permanece em patamares consideravelmente baixos, sinalizando a necessidade contínua de esforços para aprimorar as condições de vida da população. Além disso, o Índice de Theil-L, que avalia a desigualdade econômica, não apresentou avanços significativos no período analisado. Isso sugere que, embora o município tenha experimentado um desenvolvimento global, as disparidades socioeconômicas entre diferentes grupos podem persistir.

A persistente concentração de rendas, evidenciada pelo Índice Gini, reforça a importância de abordagens equitativas e inclusivas nas políticas públicas locais. Apesar do crescimento econômico e das melhorias nos indicadores globais, a desigualdade econômica e social continua a ser um desafio central em São Félix do Xingu. A implementação de medidas específicas voltadas para a redução das disparidades socioeconômicas, juntamente com a promoção de oportunidades igualitárias, se mostra crucial para um desenvolvimento mais equitativo e sustentável no município.

Tabela 9

*Índices de desenvolvimento humano*

Ano	IDHM	Índice de Theil-L	Gini
1991	0,315	0,50	0,55
2000	0,435	0,89	0,71
2010	0,594	0,58	0,62
2021	-	0,55	-

Fonte: Resultados originais da pesquisa

O indicador que mais influenciou o crescimento do IDHM foi a longevidade, representada pelo IDHM-L, que apresentou um aumento notável ao longo dos anos. Esse avanço reflete melhorias nas condições de saúde e na expectativa de vida da população xinguese, contribuindo positivamente para o desenvolvimento humano (Tabela 10).

No entanto, a dimensão da escolaridade (IDHM-E) teve um crescimento mais modesto em comparação com os outros componentes, indicando que os avanços na educação foram menos expressivos no período analisado. Essa constatação sugere a necessidade de investimentos adicionais em políticas educacionais para impulsionar o desenvolvimento desta dimensão e, por consequência, do IDHM como um todo.

Quanto à renda (IDHM-R), observa-se uma trajetória de crescimento, mas com oscilações ao longo dos anos. Essa variabilidade pode refletir dinâmicas econômicas específicas do município, demandando uma análise mais aprofundada das condições socioeconômicas locais.

Dessa forma, a análise detalhada das dimensões do IDHM permite identificar áreas específicas que demandam maior atenção e investimento. Enquanto a longevidade apresenta avanços notáveis, a educação emerge como uma área crítica, sugerindo que estratégias direcionadas para o fortalecimento do sistema educacional podem desempenhar um papel fundamental no desenvolvimento humano sustentável em São Félix do Xingu.

Tabela 10

*Dimensões do IDHM de São Félix do Xingu*

Ano	IDHM-E	IDHM-L	IDHM-R
1991	0,090	0,623	0,557
2000	0,168	0,741	0,663
2010	0,411	0,798	0,638

Fonte: Resultados originais da pesquisa

A análise da classificação do Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) de São Félix do Xingu em comparação com os demais municípios do Pará e do Brasil revela dinâmicas interessantes ao longo dos anos (Tabela 11).

No âmbito estadual, observa-se uma melhora consistente na classificação do município em relação aos demais municípios paraenses. Em 1991, São Félix do Xingu ocupava a 65ª posição, subindo para o 68º lugar em 2000 e, finalmente, alcançando a 54ª posição em 2010. Essa evolução sugere avanços significativos nas condições de vida e bem-estar da população xinguese em relação aos seus pares no estado.

No entanto, quando comparada com todos os municípios do Brasil, a classificação do município de São Félix do Xingu apresentou uma tendência oposta. Em 1991, ocupava a 3876ª posição, piorando para a 4184ª posição em 2000 e, finalmente, para a 4284ª posição em 2010. Esse declínio relativo sugere que, apesar dos avanços locais, São Félix do Xingu não acompanhou o ritmo de progresso observado em outros municípios brasileiros.

Essa dualidade nas tendências estadual e nacional aponta para a complexidade dos desafios enfrentados pelo município. Enquanto avanços significativos foram alcançados em relação aos municípios paraenses, a necessidade de estratégias específicas para alinhar o desenvolvimento local com as médias nacionais torna-se evidente. Esse contraste destaca a importância de políticas públicas adaptadas à realidade local, considerando as particularidades socioeconômicas de São Félix do Xingu.

Tabela 11

*Classificação do IDHM de São Félix do Xingu no Estado do Pará e no Brasil*

Ano	Estado do Pará	Brasil
1991	65°	3876°
2000	68°	4184°
2010	54°	4284°

Fonte: Resultados originais da pesquisa.

Apesar do papel central desempenhado pela bovinocultura em São Félix do Xingu, observa-se que essa atividade não tem sido eficiente o suficiente para promover melhorias substanciais na qualidade de vida da população local. Embora o município lidere nacionalmente o efetivo bovino, indicando uma expressiva presença na produção pecuária, os benefícios dessa atividade não têm se refletido de maneira proporcional no bem-estar e nas condições socioeconômicas dos habitantes.

A concentração na bovinocultura, caracterizada por práticas extensivas e baixa eficiência produtiva, parece não estar contribuindo de maneira adequada para impulsionar indicadores-chave de desenvolvimento humano, como educação, renda, saúde e qualidade de vida. Isso sugere a necessidade de avaliar e reformular estratégias econômicas e sociais, a fim de diversificar fontes de renda, promover o desenvolvimento sustentável e melhorar os índices socioeconômicos do município.

Dessa forma, é fundamental explorar alternativas econômicas mais inclusivas e sustentáveis, que possam gerar impactos positivos significativos para a comunidade local. Isso pode envolver investimentos em setores como educação, saúde, infraestrutura e diversificação econômica, visando criar uma base mais sólida e equitativa para o desenvolvimento de São Félix do Xingu.

### **Considerações Finais**

Diante da crescente demanda global por carne bovina, a pecuária desempenha um papel crucial na economia, não apenas em níveis locais, mas também em âmbitos nacional e regional. Contudo, é imperativo que o desenvolvimento dessa atividade esteja alinhado com práticas ambientalmente responsáveis e socialmente sustentáveis. Infelizmente, em São Félix do Xingu, observa-se que o crescimento da bovinocultura tem sido marcado por uma ocupação desordenada do território, expansão descontrolada de pastagens através de desmatamentos e uma baixa eficiência produtiva, caracterizada pela manutenção de aproximadamente 2 unidades animais por hectare.

Para garantir a eficiência e a sustentabilidade da bovinocultura, bem como promover uma efetiva melhoria na qualidade de vida da população xingense, é essencial enfrentar

alguns desafios cruciais. Em primeiro lugar, é necessário investir significativamente em educação e treinamento, visando capacitar a mão de obra local e proporcionar oportunidades para o desenvolvimento humano. Além disso, a adoção de práticas pecuárias sustentáveis é essencial para minimizar impactos ambientais adversos, promover o bem-estar animal e garantir a produção de carne bovina de maneira responsável.

Outro ponto crucial a ser abordado é o controle do desmatamento. A expansão desenfreada de pastagens por meio de desmatamentos tem efeitos adversos no ecossistema local, contribuindo para a perda de biodiversidade e alterações climáticas. Assim, é imperativo implementar políticas e práticas que promovam a conservação ambiental, evitando o desmatamento descontrolado e incentivando a restauração de áreas degradadas.

Portanto, a busca por um desenvolvimento sustentável em São Félix do Xingu demanda ações coordenadas e comprometidas, envolvendo tanto os setores público quanto privado. Somente por meio de práticas pecuárias sustentáveis, investimentos em educação e controle efetivo do desmatamento, será possível garantir um futuro mais promissor e equitativo para a população local, ao mesmo tempo em que se atende à demanda global por carne bovina de maneira responsável.

O presente estudo, embora ofereça observações valiosas sobre a bovinocultura em São Félix do Xingu, está sujeito a algumas limitações que devem ser reconhecidas. Primeiramente, a abrangência temporal do trabalho se encerra em 2021, o que significa que desenvolvimentos posteriores podem não ser refletidos nas conclusões apresentadas. Além disso, a utilização de dados provenientes de fontes específicas, como o Projeto MapBiomas, IBGE e SEBRAE, pode implicar variações nas metodologias de coleta, impactando a precisão e generalização das conclusões. A falta de uma análise mais detalhada do contexto socioeconômico local também representa uma limitação, já que fatores como políticas governamentais, estrutura educacional e iniciativas de desenvolvimento não foram abordados de forma abrangente. A complexidade ambiental associada à expansão da bovinocultura também merece consideração, incluindo aspectos como desmatamento, perda de biodiversidade e emissões de gases de efeito estufa, que não foram totalmente explorados neste estudo.

Em vista dessas limitações, sugere-se que futuras pesquisas se aprofundem nas causas subjacentes ao desmatamento na região, identificando impulsionadores essenciais e fatores socioeconômicos relacionados. Além disso, uma avaliação mais detalhada da eficiência produtiva da bovinocultura pode ser conduzida, considerando práticas inovadoras e tecnologias sustentáveis para melhorar a relação entre produção e impacto ambiental.

Recomenda-se também uma análise mais abrangente dos impactos sociais da bovinocultura, abordando o bem-estar dos trabalhadores, a distribuição de renda e o acesso a serviços básicos. Uma avaliação crítica das políticas públicas existentes relacionadas à atividade pecuária pode proporcionar insights valiosos, culminando em recomendações para melhorar a sustentabilidade e o desenvolvimento socioeconômico. Adicionalmente, uma abordagem prospectiva, considerando cenários futuros, poderia antecipar desafios e oportunidades decorrentes de mudanças climáticas, demanda global e políticas ambientais. Por fim, é imperativo incluir a participação ativa da comunidade local nas pesquisas futuras, garantindo que suas perspectivas e necessidades sejam consideradas na formulação de políticas e práticas sustentáveis. Ao abordar essas sugestões, pesquisas futuras podem contribuir de maneira mais abrangente para uma compreensão holística do desenvolvimento, sustentabilidade e impacto socioeconômico da bovinocultura na região.

## Referências

- Andrade, R., Bolfe, É., Victoria, D., & Nogueira, S. (2017). Avaliação das condições de pastagens no cerrado brasileiro por meio de geotecnologias. *Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável*, 7(1). <https://doi.org/10.21206/rbas.v7i1.376>.
- Anjos, M., Pazdiora, R., Andrade, E., Vieira, A., Barboza, B., Turcato, C., ... & Machado, P. (2021). Sistemas integrados de produção agropecuária e os efeitos do componente animal. *Research Society and Development*, 10(16), e498101624014. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i16.24014>.
- Bento, G., Filho, A., & Faita, M. (2020). Sistemas silvipastoris no brasil: uma revisão sistemática. *Research Society and Development*, 9(10), e7019109016. <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i10.9016>.
- Brito, H., Sasaki, J., & Ribeiro, M. (2021). Avaliação de conflitos pela posse de terras em São Félix do Xingu - Pará: abordagem à luz dos princípios de ostrom e cenários de cobertura do solo. *Revista de Geografia*, 38(2), 185. <https://doi.org/10.51359/2238-6211.2021.246655>.
- Cavalcante, J., Filho, J., Vale, R., & Costa, D. (2020). Análise multicriterial na definição de áreas prioritárias à conservação florestal em São Félix do Xingu – PA. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 13(1), 167-181. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v13.1.p167-181>.

Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (CEPEA). (2022). *Índices de exportação do agronegócio. 1º semestre de 2022.*

Claudino, L., Darnet, L., & Pocard-Chapuis, R. (2016). Migrando e construindo espaços: pecuária bovina, degradação das pastagens e agrupamentos socioeconômicos na microrregião de São Félix do Xingu – Pará. *Revista Geoamazonia*, 4(07), 01. <https://doi.org/10.18542/geo.v4i07.12480>.

Costa, A. (2023). Uso de drone para cadastro ambiental rural (car) na região amazônica: um estudo de caso no município de Vitória do Xingú (PA). *Cuadernos de Educación Y Desarrollo*, 15(12), 15441-15459. <https://doi.org/10.55905/cuadv15n12-021>.

Costa, N. (2003). *A Embrapa Rondônia e o desenvolvimento sustentável.*

Fearnside, P. (2006). Desmatamento na Amazônia: dinâmica, impactos e controle. *Acta Amazonica*, 36(3), 395-400. <https://doi.org/10.1590/s0044-59672006000300018>.

Ferreira, P. (2024). Terras indígenas e unidades de conservação. *Revista Geopantanal*, 18(35). <https://doi.org/10.55028/geop.v18i35.19703>.

Garcia, É., Filho, F., Mallmann, G., & Fonseca, F. (2017). Costs, benefits and challenges of sustainable livestock intensification in a major deforestation frontier in the Brazilian Amazon. *Sustainability*, 9(1), 158. <https://doi.org/10.3390/su9010158>.

Gebara, M. (2019). Understanding institutional bricolage: what drives behavior change towards sustainable land use in the eastern Amazon?. *International Journal of the Commons*, 13(1), 637. <https://doi.org/10.18352/ijc.913>.

Gil, A. C. (2002). *Como elaborar projetos de pesquisa* (4a ed.). São Paulo: Editora Atlas S.

A.

Grego, C., Rodrigues, C., Vierira, S., Kobayashi, A., & Furtado, A. (2011). *Degradação de pastagem avaliada por atributos físicos do solo de fácil obtenção analisados por geoestatística*. <https://doi.org/10.12702/ii-sgea-a20>.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). (2021). *Divisão Territorial Brasileira: DTB 2021*.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Pesquisa da Pecuária Municipal [PPM].

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). (2022). *Área territorial brasileira 2021*. Rio de Janeiro: IBGE.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). (2019). *Diretoria de Geociências, Coordenação de Meio Ambiente, Áreas Urbanizadas do Brasil 2019*.

Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA). (2022). *Comércio exterior do agronegócio: primeiro semestre de 2022*.

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Coordenação Geral de Observação da Terra. Programa de Monitoramento da Amazônia e demais biomas. *Desmatamento – Amazônia legal*.

Kwakubo, F., Morato, R., & Luchiari, A. (2013). Mapeamento do desmatamento em são Félix do Xingu utilizando composição colorida multitemporal de imagens frações sombra. *Revista da Anpege*, 9(11), 119-133. <https://doi.org/10.5418/ra2013.0911.0010>.

Kohler, M. R., Bampi, A. C., Silva, C. A. F., Arantes, A., & Gaspar, W. J. (2021). O

desmatamento da Amazônia brasileira sob o prisma da pecuária: a degradação dos recursos hídricos no contexto da região norte de Mato Grosso. *Research, Society and Development*, 10(11), 1-24.

Leal, F., Almeida, M., & Leal, G. (2020). Aplicação do modelo linear de mistura espectral

para mapeamento de pastagens degradadas e solo exposto na Amazônia. *Nativa*, 8(3), 352-360. <https://doi.org/10.31413/nativa.v8i4.9495>

Martinez, L., Fiedler, N., & Lucatelli, G. (2007). Análise das relações entre desflorestamentos

e focos de calor: estudo de caso nos municípios de Altamira e São Félix do Xingu, no estado do Pará. *Revista Árvore*, 31(4), 695-702.

<https://doi.org/10.1590/s0100-67622007000400014>.

Matheus, F. (2018). The role of forests and protected areas in climate change mitigation: a

review and critique of the ecosystem services and REDD+ approaches. *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, 46. <https://doi.org/10.5380/dma.v46i0.54187>.

Miranda, R., Nogueira, L., Rodrigues, M., Monteiro, A., Costa, M., & Amador, M. (2021).

Análise do desmatamento nos períodos de 2016 a 2020 na mesorregião sudeste paraense. *Revista Ibero-Americana de Humanidades Ciências e Educação*, 7(5),

498-517. <https://doi.org/10.51891/rease.v7i5.1209>.

Mota, M., Filgueira, J., Franca, M., & Araújo, R. (2021). A importância da pecuária para o

desenvolvimento regional no estado do Rio Grande do Norte: uma análise de matriz insumo-produto. *Desenvolvimento em Questão*, 19(56), 322-336.

<https://doi.org/10.21527/2237-6453.2021.56.11241>.

- Olimpio, S., Gomes, S., & Santana, A. (2022). Patterns of production and sustainability of cattle ranching in the state of Pará - brazilian amazon. *Semina Ciências Agrárias*, 43(2), 541-560. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2022v43n2p541>.
- Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO). (2022). *Global agriculture towards 2050*.
- Pendrill, F., Gardner, T. A., Meyfroidt, P., Persson, U. M., Adams, J., Azevedo, T., Lima, M. G. B. L., Baumann, M., Curtis, P. G., De Sy, V., Garret, R., Godar, J., Goldman, E. D., Hansen, M. C., Heilmayr, R., Herold, M., Kuemmerle, T., Lathuillière, M. J., Ribeiro, V., Tyukavina, A., Weisse, M. J., & West, C. (2022). Disentangling the numbers behind agriculture-driven tropical deforestation. *Science*, 377(1168).
- Prates, R. & Bacha, C. (2011). Os processos de desenvolvimento e desmatamento da Amazônia. *Economia e Sociedade*, 20(3), 601-636.  
<https://doi.org/10.1590/s0104-06182011000300006>
- Projeto de Monitoramento do Desmatamento na Amazônia Legal por Satélite (PRODES). (2022). Monitoramento do Desmatamento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite. Projeto MapBiomass – Coleção 7 (1985-2021) da Série Anual de Mapas de Cobertura e uso da Terra do Brasil.
- Queiroz, J., Maneschy, R., Filgueiras, G., & Homma, A. (2020). Indicadores de viabilidade econômica para sistemas.
- Rivero, S., Almeida, O., Ávila, S., & Oliveira, W. (2009). Pecuária e desmatamento: uma análise das principais causas diretas do desmatamento na Amazônia. *Nova Economia*, 19(1), 41-66.

Rossoni, R. A., & Moraes, M. L. (2020). Agropecuária e desmatamento na Amazônia Legal brasileira: uma análise espacial entre 2007 e 2017. *Geografia em Questão*, 13(3), 130-148.

XP. Song, et al. (2021). Massive soybean expansion in South America since 2000 and implications for conservation. *Nature Sustainability*, 4(9), 784-792.

## Variabilidade Temporal da Temperatura do Solo em Diferentes Profundidades e sua Relação com Variáveis Meteorológicas no Semiárido Paraibano

Euclides Miranda Silva<sup>1</sup>, Madson Tavares Silva<sup>2</sup>, Sílvia Maria Dantas<sup>3</sup>

DOI: <https://10.52719/bjas.v6i2.6539>

### Resumo

A temperatura do solo ( $T_s$ ) é uma variável de estado fundamental que descreve tanto os processos da superfície terrestre como as condições ambientais e climáticas regionais e consequentemente na agricultura. Estudar sobre os processos dinâmicos do solo é de grande relevância para entender as interações do sistema solo-planta-atmosfera. Nesse sentido, o objetivo deste trabalho é analisar o comportamento da temperatura do solo em diferentes níveis de profundidades diferentes (0, 5, 10, 15, 20 e 50 cm) em três horários distintos (9, 15 e 21 horas), durante o intervalo de um ano completo. Assim como investigar a relação entre a variação de temperatura do solo com outros dois parâmetros de temperatura média do ar ( $T_{ar}$ ) e precipitação (PCP). Os dados utilizados são do período de doze meses, com seus respectivos valores diários e mensais. Com auxílio do Microsoft Excel, e do Qgis, analisou-se as variáveis de precipitação, temperatura média do ar e temperatura do solo. Calculou-se o gradiente térmico entre os dois níveis e a correlação entre a temperatura do solo e as variáveis meteorológicas ( $T_{ar}$  e PCP). Verificou-se que o horário das 15h horas apresentou maior temperatura do solo em 5 cm, enquanto nas 21 horas em 50 cm não teve uma diminuição relevante dessa variável. Além de mostrar que as temperaturas do solo tiveram forte relação apenas com a temperatura média do ar, indicando a influência direta dessa variável nos processos referentes ao solo.

**Palavras-chave:** Temperatura do ar. Gradiente de temperatura. Precipitação.

---

<sup>1</sup> Universidade Federal de Campina Grande – UFCG. E-mail: [engeuclidesmirandasilva@gmail.com](mailto:engeuclidesmirandasilva@gmail.com)

<sup>2</sup> Universidade Federal de Campina Grande– UFCG. E-mail: [madson.tavares@professor.ufcg.edu.br](mailto:madson.tavares@professor.ufcg.edu.br)

<sup>3</sup> Universidade Federal de Campina Grande – UFCG. E-mail: [silviadantasrn@gmail.com](mailto:silviadantasrn@gmail.com)

**Abstract**

Soil temperature ( $T_s$ ) is a fundamental state variable that describes both land surface processes and regional environmental and climatic conditions and consequently in agriculture. Studying dynamic soil processes is of great relevance to understanding the interactions of the soil-plant-atmosphere system. In this sense, the objective of this work is to analyze the behavior of soil temperature at different levels of different depths (0, 5, 10, 15, 20 and 50cm) at three different times (9, 15 and 21 hours), during the interval of a full year. As well as investigating the relationship between soil temperature variation with two other configurations of average air temperature ( $T_{ar}$ ) and offers (PCP). The data used is for a period of two months, with their respective daily and monthly values. With the help of Microsoft Excel QGis, we analyzed variations in variations, average air temperature and soil temperature. The thermal gradient between the two levels and the transparency between soil temperature and harmful variables ( $t_{ar}$  and PCP) were calculated. It was found that the 3pm hour had a higher soil temperature of 5 cm, while the 9pm hour of 50 cm had no significant decrease in this variable. In addition to showing that soil temperatures had a strong relationship only with the average air temperature, they reduce the direct influence of this variable on soil processes.

**Keywords:** Air temperature. Temperature gradiente. Precipitation.

**Introdução**

A obtenção de informação sobre o comportamento da temperatura em solos sob clima tropical facilita o entendimento da condução térmica para a produtividade agrícola, das relações solo-planta-atmosfera nessas regiões e permite ainda fornecer subsídios para o estudo de técnicas de cultivo ecologicamente adequadas as condições climáticas locais (Silva et al., 2013).

As trocas de energia que ocorrem entre a camada limite planetária e a superfície do solo são de fundamental importância em diversos estudos de modelagem agrometeorológica e atmosférica. A pesquisa sobre esses processos ajuda a compreender melhor o processo de ocorrência de geadas e orvalho e a previsão de temperaturas extremas (Ramana Rao & Vianello, 1977). Zhu et al. (2018) estabelece a temperatura do solo como uma variável de estado fundamental que descreve tanto os processos da superfície terrestre como as condições ambientais e climáticas regionais.

Segundo Varejão-Silva (2005), a temperatura do solo, seja na superfície ou nos níveis subjacentes inferiores, podem variar muito, tanto no espaço quanto no tempo. Como o fluxo de calor no solo é afetado principalmente pela absorção da energia solar pela superfície, a oscilação da temperatura do solo apresenta um ciclo diário e anual, embora haja certo atraso, ainda acompanha o movimento aparente do sol.

As camadas superficiais são mais sensíveis às alterações de temperatura por estarem mais expostas tornando-as mais suscetíveis à radiação solar. Essa radiação tem um efeito significativo no solo, porque ele tem uma boa capacidade de absorver energia radiante. A quantidade de absorção depende da intensidade da radiação e da inclinação dos raios solares. Além disso, também depende das características e propriedades do solo, especialmente sua estrutura, textura, cor e umidade (Rosa et al., 2009).

O fluxo de calor no solo representa a energia disponível para os processos físicos e biológicos que ocorrem e é transferida para as camadas inferiores do solo. O fluxo de calor no solo é função dos diferentes níveis de temperatura e da condutividade térmica do solo. Nos estudos de balanço energético é importante quantificar o fluxo de calor no solo, pois corresponde à entrada/saída de energia de um determinado ambiente, favorecendo um aumento e/ou diminuição do fluxo de calor latente e sensível e assim um aumento e/ou diminuição ou diminuição da taxa de evaporação e transpiração.

A água e o solo são fatores chave para a apropriada exploração de uma área para prática agrícola. O conhecimento da distribuição espaço-temporal dos parâmetros físico-hídricos do solo é o princípio fundamental para o manejo adequado de irrigação (José et al., 2012). Ramana Rao et al. (2005) ressaltam a importância de analisar regularmente da temperatura do solo em diferentes profundidades, pois possibilitam entender seu comportamento térmico e o conhecimento de importantes características e compreender propriedades importantes como difusividade e condutividade térmica. Diniz et al. (2017), acrescenta que as medições de temperatura em diferentes profundidades do solo a partir de estações meteorológicas são rotineiras, no entanto, poucos estudos exploraram essas observações

De acordo com Silva et al. (2006), para assegurar uma produtividade adequada, outros elementos também são importantes para as plantas, especialmente a disponibilidade de água e a temperatura do solo, pois podem afetar o balanço hídrico no solo. Sobretudo, a temperatura do solo afeta a emergência das mudas e o crescimento das plantas.

Segundo Silva et al. (2013) o cálculo das temperaturas médias do solo em diferentes profundidades sempre foi um desafio, visto que as leituras em estações meteorológicas são

convencionalmente feitas em horários determinados, cujas médias aritméticas resultam valores incongruentes, sobretudo para as camadas mais superficiais, onde a oscilação térmica é bem mais acentuada. Dentre os vários métodos desenvolvidos para a estimativa da temperatura do solo usando dados meteorológicos, não foi desenvolvido ainda nenhum que se enquadre às peculiaridades climatológicas para região semiárida. Em vista disso, considerando o tipo de solo e as condições climáticas da região, faz-se necessário um modelo que melhor represente as condições locais.

Nesse sentido, esse trabalho foi conduzido com o objetivo de determinar a variabilidade espacial da temperatura do solo em seis profundidades distintas do solo (0, 5, 10, 15, 20 e 50 cm) e também seu comportamento ao longo de um ano e as correlações da camada superficial e camada mais profunda com os parâmetros de precipitação e temperatura do ar, em uma área experimental, localizada no município de São João do Cariri, no semiárido paraibano.

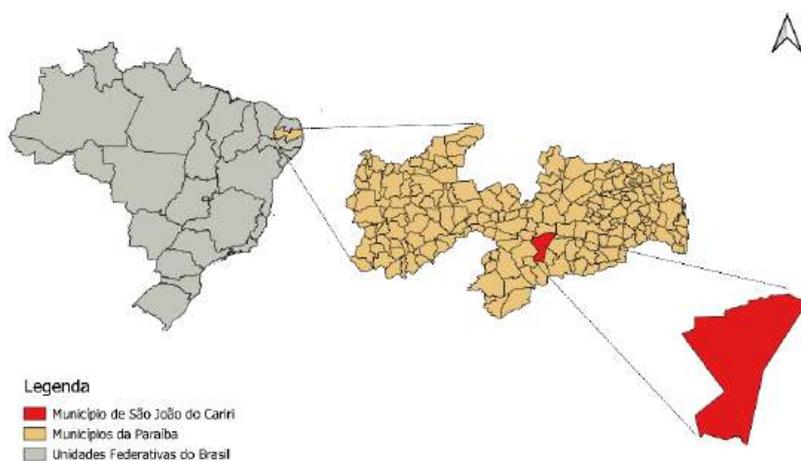
## **Metodologia**

### **Caracterização da área de estudo**

O estudo foi conduzido na Estação Experimental Bacia Escola, pertencente a Universidade Federal da Paraíba – UFPB, localizada no município São João do Cariri, semiárido paraibano, com coordenadas geográficas 7° 24' S e 36°32' W (Figura 1). Com uma altitude média de 445 metros e área total aproximada de 612.966 km<sup>2</sup> (IBGE, 2023). A área está inserida zona fisiográfica do Planalto da Borborema, na mesorregião da Borborema e da microrregião do Cariri Oriental na, com altitude variando entre 400 a 600 metros (Araújo, et al.2011).

Figura 1

Localização do município de São João do Cariri no estado da Paraíba



Fonte: Elaborados pelos autores (2023).

Conforme a classificação climática de Köppen (1928), o clima da região em análise é do tipo semiárido quente (BSh), a qual a temperatura média mensal do mês mais ameno é superior a 18°C, a estação chuvosa ocorre de fevereiro a abril, e a precipitação pluvial média anual é inferior a 600 mm, sendo os totais de chuva na curta estação chuvosa inferiores aos da evapotranspiração, que são, em média, 1.600 mm anuais (Alves & Azevedo, 2013).

Os principais tipos de solos encontrados na Estação experimental de acordo com Chaves e Chaves (2002) são o Luvisolo Crômico Vértico, Vertissolo e Neossolo Litólico. Em toda a área de estudo a vegetação é do tipo Caatinga hiperxerófila. É uma região tradicionalmente pastoril onde tem predominado a criação de caprinos. No passado, esta era uma região com produção expressiva de algodão. Na atualidade, é cultivada com palma e culturas alimentares de subsistência (Francisco, 2010 & Souza Filho *et al.*, 2011). O bioma é a Caatinga hiperxerófila, decorrente do tipo climático que envolve a região, BSh – semiárido quente com chuvas de verão, segundo Köppen e um bioclima do tipo 2b (9 a 11 meses secos) – sub desértico quente de tendência tropical.

### Obtenção e tratamento dos dados

Os equipamentos da Bacia Escola estão distribuídos em uma Estação Climatológica de Superfície e estação meteorológica digital, situada junto à sede da Fazenda Experimental e em outros locais da Bacia. Os equipamentos instalados estão agrupados conforme a natureza dos

dados. O grupo do abrigo meteorológico conta com termohigrógrafo, psicrômetro e evaporígrafo Piche. O grupo de pluviometria é composto de pluviômetros e pluviógrafos (Araújo, 2006). Os dados analisados são referentes aos meses de janeiro a dezembro do ano de 2007. Para o monitoramento térmico do solo foram utilizados sensores de temperatura que se encontram instalados em seis profundidades distintas do solo dispostos nas profundidades de 0, 5, 10, 15, 20 e 50 cm. Os dados de temperatura do solo foram coletados às 12:00 h, 18:00 h e 24:00 h (TMG), que corresponde às 9:00 h, 15:00 h e 21:00 h (horário de Brasília).

As variáveis presentes no banco de dados foram temperatura máxima, mínima e média, amplitude térmica ( $^{\circ}\text{C}$ ), precipitação pluvial (mm), temperatura do solo ( $^{\circ}\text{C}$ ) em 0, 5, 10, 15, 20 e 50 cm, todos com três horários disponíveis, sendo eles 9h, 15h e 21h.

Para análise e representação dos resultados obtidos pelo trabalho foi utilizado planilha eletrônica e o software QGIS 3.33 para tratamento dos dados, bem como a geração de gráficos e diagramas. Para avaliar a influência da temperatura do ar sobre e precipitação pluvial a variação da temperatura do solo nas diferentes profundidades em estudo, foi testada a significância da regressão por meio do teste F e o ajuste da equação por meio do coeficiente de determinação ( $R^2$ ).

### **Resultados e discussão**

A Figura 2 (A- C) registra as médias mensais (de janeiro a dezembro) de temperatura do solo obtidas a partir de dados diários coletados no ano de 2007, para diferentes profundidades (0, 5, 10, 15, 20, e 50 cm), temperatura média do ar, precipitação pluviométrica mensal nos horários de 9h, 15h e 21h.

Os dados referentes ao horário de 9h, estão dispostos na Figura 2-A. Observa-se que o comportamento da temperatura do solo interanual é similar para todas as profundidades de solo, atingindo seu valor maior de  $36,64^{\circ}\text{C}$  no mês de dezembro e menor de  $24,6^{\circ}\text{C}$  no mês de julho. A maior amplitude entre essas temperaturas foi identificada na camada superior entre 0 a 5 cm, com até  $10,8^{\circ}\text{C}$ . A temperatura média do ar mostrou-se inferior a todas as médias de temperatura do solo para todo os meses do ano e horários. E os dados de precipitação pluvial permaneceram-se iguais para todos os meses, horários e profundidades.

Na Figura 2-B, que correspondente ao horário de 15h, observa-se que o comportamento da temperatura média anual é similar para todos os níveis de profundidade, atingindo seu valor máximo de  $45,3^{\circ}\text{C}$  no mês de dezembro e menor valor de  $26,8^{\circ}\text{C}$  no mês de julho. A maior variação entre essas temperaturas foi identificada na camada superior (0 a 5 cm) com amplitude térmica de até  $16,4^{\circ}\text{C}$ . As temperaturas das demais profundidades de 10,

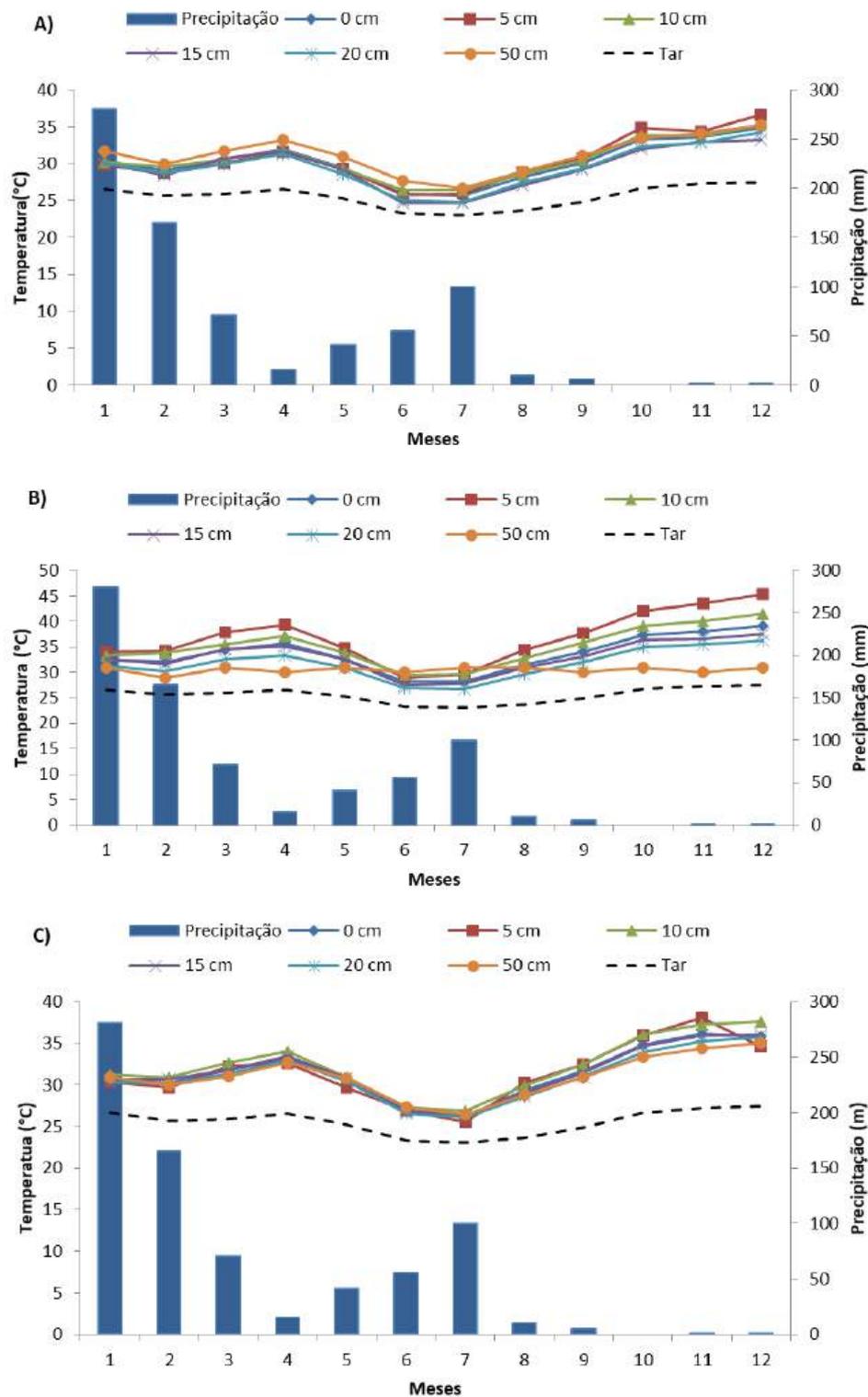
15 e 20 cm, ficaram abaixo da profundidade de 5 cm e superior a profundidade de 50cm.

Na Figura 2-C, representa temperaturas do solo no horário de 21h, constata-se que o comportamento da temperatura média anual registra pouca variação para todos os níveis de profundidade, atingindo seus maiores valores de 38 e 37,7 °C, nas profundidades de 5 e 10 cm respectivamente, nos meses novembro e dezembro. Já o menor valor registrou-se 25,6 °C na profundidade de 5cm, no mês de julho. Entretanto, a amplitude térmica da camada de 5 a 10 cm foi maior que as demais profundidades com até 12,4 °C de diferença e a menor amplitude térmica foi registrada na camada mais profunda de 50cm com até 8,6 °C de diferença.

Ainda analisando o comportamento da temperatura do solo na Figura 2(A-C), observa-se que ocorreu um aquecimento entre o período de fevereiro a abril para os três horários correspondentes, destacando-se o maior valor de 39,4 °C que ocorreu no mês de abril às 15h na profundidade de 5 cm. Seguido de uma acentuada queda chegando aos menores patamares nos meses entre junho e julho. Após esse período mais ameno, as temperaturas do solo voltam a crescer atingindo suas maiores médias de 45,3°C na profundidade de 5 cm nos meses de novembro e dezembro, como afirmado anteriormente.

## Figura 2

*Temperatura do solo média mensal em diferentes profundidades, temperatura média do ar e precipitação pluvial, nos horários de 9h (A), 15h (B) e 21h (C) para a localidade de São João do Cariri-PB, em diferentes profundidades.*



Fonte: Elaborados pelos autores (2023).

Examinando a temperatura do solo em função das profundidades, as amplitudes são menos perceptíveis no nível mais profundo de 50 cm (aproximadamente 8,6 °C), enquanto que o maior valor de variação destaca-se na camada de 0 a 5 cm, (podendo atingir até

16,4°C). Corroborando com Belan *et al.* (2013) e Oliveira *et al.* (2019), que contataram que a temperatura no perfil de solo varia em função da profundidade bem como da sua cobertura, resultado também encontrado neste trabalho.

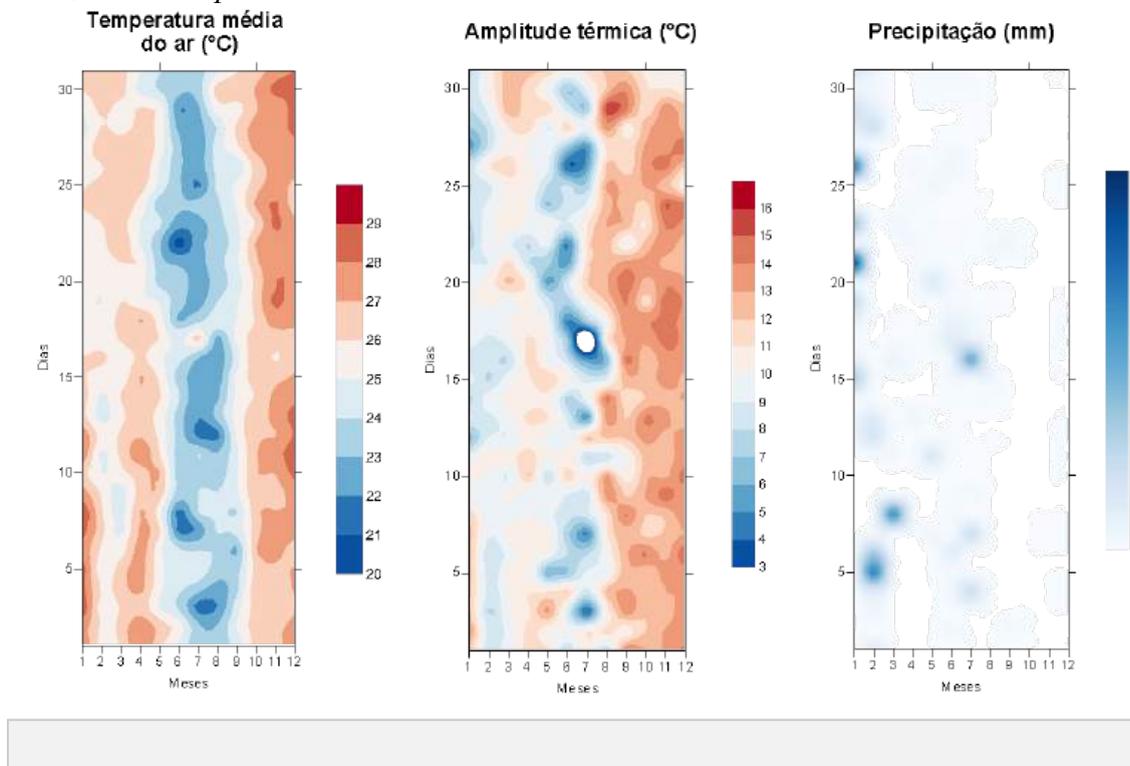
Verificou-se no período de 9h as menores variações de temperatura para todos os níveis, em relação aos outros dois horários observados, podendo chegar a uma diferença de 10,8 °C, seguido pelo horário de 21h com variação máxima de 12,43 °C. As 15h é o horário com maior discrepância podendo chegar até 16,4°C. Santos *et al.* (2022) discute em seus resultados que a amplitude térmica mais significativa do solo foi registrada na camada de 0 a 5 cm chegando até 9°C.

Os resultados encontrados nesse trabalho são compatíveis com Dantas *et al.* (2017) e Kunz *et al.* (2002), que verificaram que a máxima temperatura do solo ocorreu nas camadas mais superficiais entre os horários de 14h a 16h, independentemente da condição de cobertura do solo (com ou sem).

O diagrama de Hovmöller é uma excelente ferramenta gráfica utilizada amplamente na análise de dados espaciais e temporais, principalmente nos campos como a meteorologia, geociências e afins. Na figura 3, estão plotados os registros da variação da temperatura média do ar, amplitude térmica do ar e a precipitação pluvial durante o período de 12 meses do mesmo ano. A temperatura do solo apresentou a mesma tendência da temperatura do ar, porém com oscilações diferentes em resposta aos diferentes horários e profundidades do solo.

Figura 3

*Variabilidade da temperatura média do ar, amplitude térmica do ar e precipitação pluvial mensal, do município de São João do Cariri-PB.*



Observa-se, ainda na Figura 3, que a temperatura média do ar apresenta aquecimento de fevereiro a abril, seguido de um decréscimo significativa no período de maio a julho, atingindo seu menor valor até 23 °C em julho, sequencialmente a partir de agosto, a temperatura volta a crescer atingindo seu maior valor no mês de dezembro com 27,5 °C. Os meses de janeiro, abril e outubro a dezembro, registraram temperaturas acima de 25°C. Segundo Varejão-Silva (1984), sobre a mesma região estudada, o período mais quente do ano é novembro-janeiro atingindo valores máximos de 25°C e o mês de temperatura mais amena é julho com mínima podendo atingir 21°C.

Conforme observado na Figura 3 no diagrama de precipitação pluviométrica, as chuvas se concentraram nos sete primeiros meses registrando um total de 745 mm, destacando-se os dois primeiros meses janeiro e fevereiro, com os maiores acumulados 280 e 165 mm, respectivamente. Nos meses seguintes agosto a dezembro, seguiu a característica regional como período mais seco, e precipitações pluviais abaixo de 10 mm, chegando a zerar no mês agosto.

A irregularidade espacial e temporal das chuvas no semiárido é uma das suas principais características. Segundo Francisco et al. (2020) o limite da semiaridez é considerado para valores médios anuais de precipitação pluvial, menores ou iguais a 800 mm/ano. Esta

pluviosidade relativamente baixa e irregular é concentrada em uma única estação de três a cinco meses caracterizada, ainda, pela insuficiência e pela irregularidade temporal e espacial (Souza Filho, 2011).

Encontra-se na Figura 4 (A-F) a plotagem das temperaturas médias do solo nos níveis de 5 e 50 cm nos horários de 9h (4-AB), 15h (4-CD) e 21h (4-EF), ao longo de um ano completo. Observa-se nas Figuras 4-A e 4-B as temperaturas do solo nos níveis 5 e 50 cm, respectivamente registrados às 9h, como já visto anteriormente através da Figura 1, as menores temperaturas estão concentradas nos meses de junho a agosto e as maiores temperaturas nos meses de novembro e dezembro. Além disso, a temperatura do solo é maior no nível superior de 5 cm do que no de 50 cm.

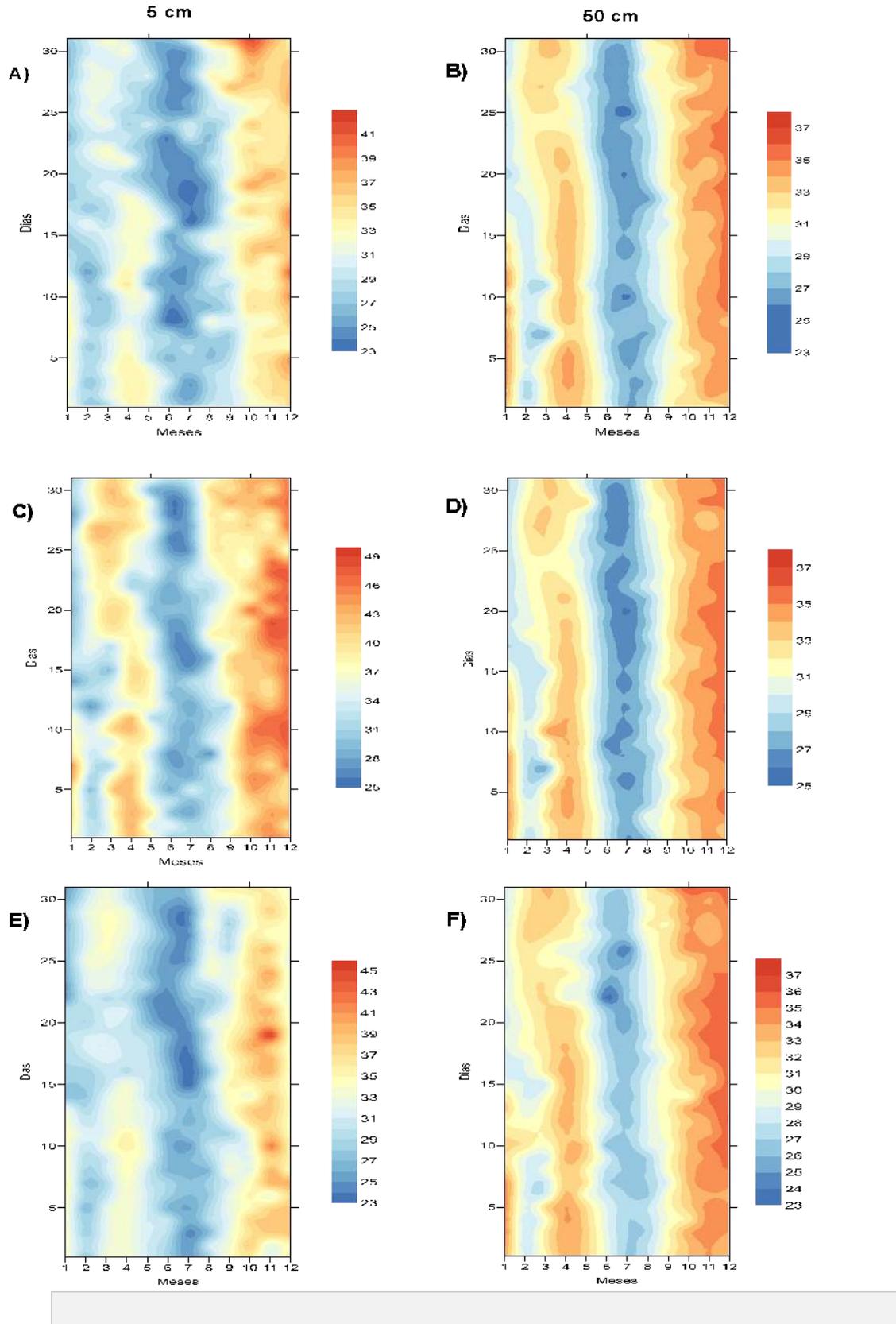
Nas Figuras 4-C e 4-D identificam-se as temperaturas do solo nos níveis de 5 e 50 cm as 15h, nesse horário as temperaturas estão mais elevadas nos dois níveis e demais períodos, principalmente nos meses de dezembro e abril. Na figura 4-C no período de março e abril, há um moderado aquecimento, se comparado a Figura 4-A e 4-E. De modo geral, esse horário (15h) observado é o que apresenta as maiores temperaturas, em comparação aos demais horários de 9h e 21 horas.

Nota-se nas Figuras 4-E e 4-F, as temperaturas do solo nos níveis de 5 e 50 cm, respectivamente, registrados às 21h, no qual observa-se que no nível de 5 cm as temperaturas são superiores, quando comparado com as temperaturas do nível de 50 cm. Desse modo, as temperaturas no nível de 5 cm elevam-se nos meses de novembro e dezembro, que coincidentemente correspondem ao verão.

Esses resultados corroboram com Matos *et al.* (2013), que afirma que a temperatura modifica de acordo com a incidência da radiação solar, tendo seus valores máximos entre 12 e 15 horas. Pelo fato da absorção e da perda de energia ocorrer na superfície, aliado à baixa velocidade de propagação do calor no interior do solo, as variações térmicas se limitam aos horizontes mais superficiais.

Figura 4

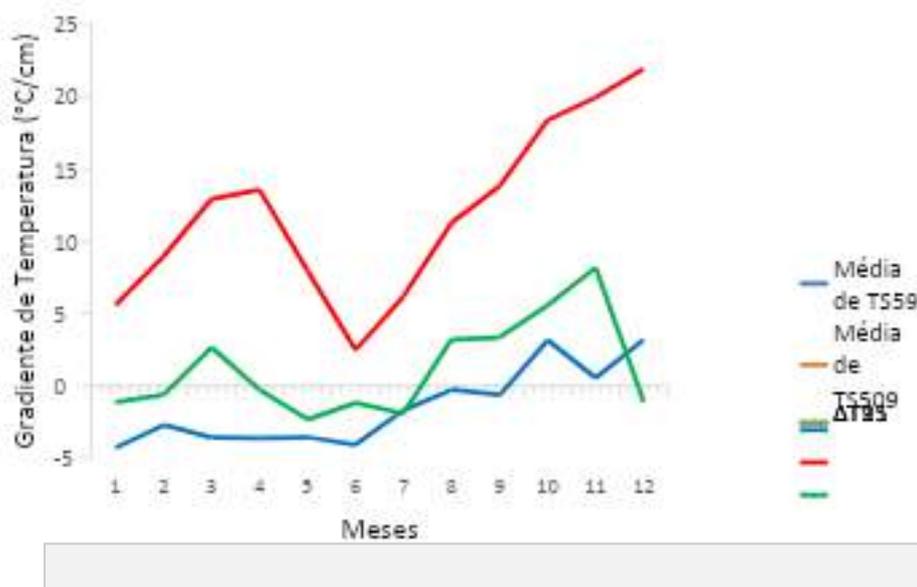
Diagrama de Hovmoller da variabilidade anual da temperatura média do solo às 9h (A-B), 15h (C-D) e 21h (E-F).



A Figura 5 demonstra o gradiente térmico ( $^{\circ}\text{C}/\text{cm}$ ) entre os níveis de 5 e 50 cm nos três horários estudados, no qual constata-se que o gradiente térmico das 15h é o único que não apresenta nenhum valor negativo, pois nesse período apresenta as maiores temperaturas do solo. Enquanto, o gradiente térmico dos horários de 9h e 21h em determinados momentos apresentam valores positivos e em outros valores negativos. Nota-se ainda que o gradiente térmico das 9h é o que apresenta mais valores negativo e o gradiente de 21h é o mais homogêneo, visto que consta menores oscilações dos valores negativos e positivos, tendendo a se aproximar mais do gradiente nulo, se comparado aos dois anteriores. Tal comportamento pode ser explicado pela ausência da radiação solar neste horário (21h).

Figura 5

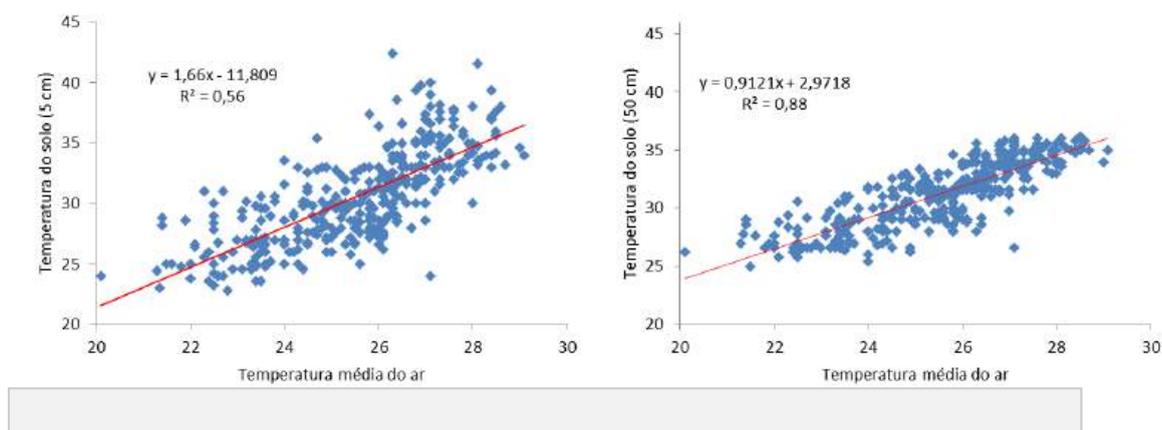
*Gradiente térmico da temperatura do solo entre as profundidades (5 e 50 cm), para os três horários analisados (9h, 15h e 21h).*



Observou-se na Figura 6 os diagramas de dispersão entre temperatura do solo (5 e 50 cm) e a temperatura média do ar referente às 9h. Nota-se que nas duas profundidades (0 e 50 cm) apresenta correlação positiva entre as duas temperaturas, com indicadores estatísticos satisfatórios. O  $R^2$  apresenta maior valor no nível de 50 cm registrando  $R^2 = 0,88$ , porém sem grande vantagem comparado a 5 cm de profundidade ( $R^2 = 0,56$ )

Figura 6

Diagrama de dispersão entre temperatura do solo (5 e 50 cm) e temperatura média do ar às 9h.

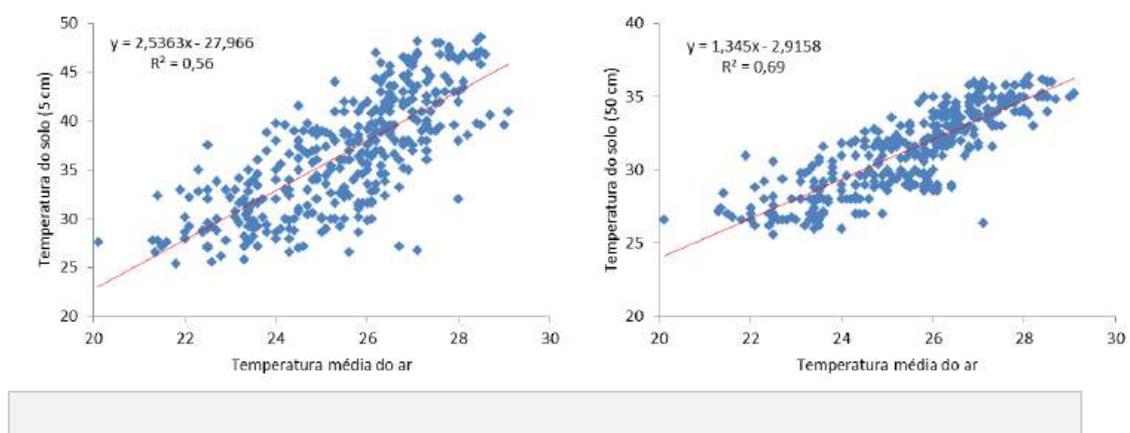


Verificou-se que na profundidade de 5 cm ocorreram as maiores variações da temperatura do solo, registrando  $R^2$  igual ao horário de 9h (0,56), já na camada mais profundo de 50 cm as observações ficaram menos dispersas e mais próximas da linha de tendência, o que explica o aumento da relação,  $R^2 = 0,69$ . Quando colacionado entre os horários 9h e 15h, o primeiro apresenta a maior correlação no nível de 50 cm (Figura 7).

Segundo Oliveira et al. (2019), variação da temperatura média do solo acompanha o curso anual da temperatura média do ar. Ressaltando a influência da temperatura do ar sobre a dinâmica da temperatura no perfil do solo. Apesar da diferença entre os valores absolutos do  $R^2$ , os resultados analisados corroboram com Matos et al. (2017), que analisou os dados de temperatura horária do solo e do ar em Londrina-PR, seus resultados mostraram valores de  $R^2$  superiores a 0,95 onde foi possível identificar uma grande relação entre elas. Também apontam para a mesma tendência desse estudo.

Figura 7

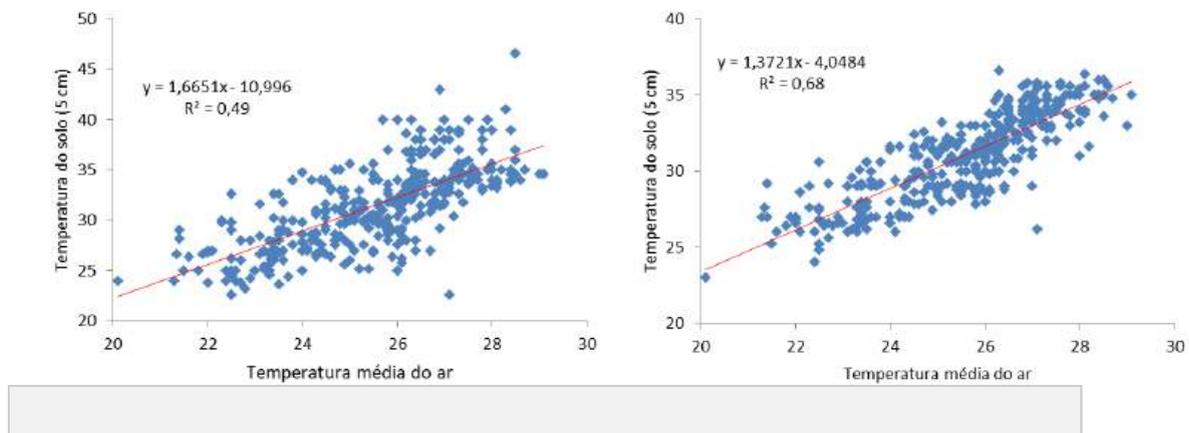
Diagrama de dispersão entre temperatura do solo (5 e 50 cm) e temperatura média do ar às 15h.



Observa-se na Figura 8 os diagramas de dispersão entre temperatura do solo (5 e 50 cm) e a temperatura média do ar referente às 21h. Nota-se que nas duas profundidades existe uma correlação positiva entre as duas temperaturas, assim como já visto nos outros horários (9h e 15h), com indicadores estatísticos satisfatórios. Na profundidade de 5 cm, as observações são mais dispersas, gerando um  $R^2$  menor de 0,49, entretanto no nível 50 cm, os dados se aproximam mais da reta elevando a correlação  $R^2$  chegando a 0,68.

Figura 8.

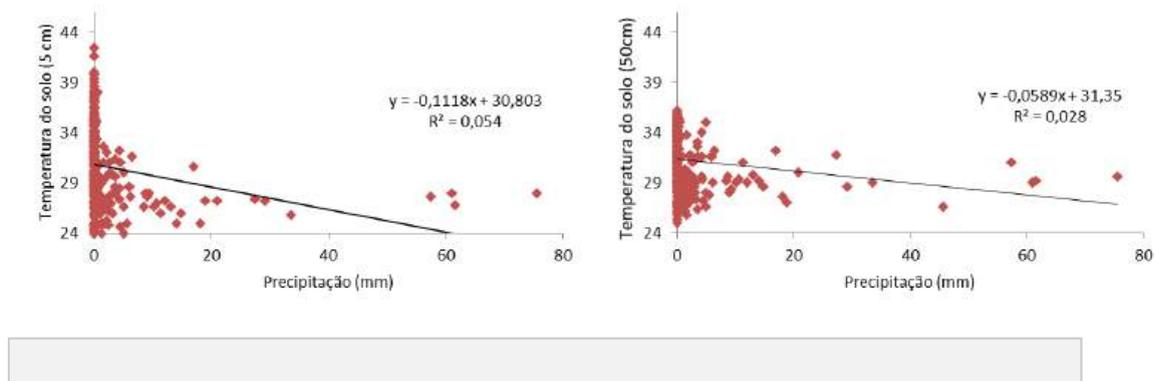
Diagrama de dispersão entre temperatura do solo (5 e 50 cm) e temperatura média do ar às 21h.



A Figura 9 evidencia os diagramas de dispersão entre temperatura do solo (5 e 50 cm) em função da precipitação pluvial referente ao horário de 9h. Os valores encontrados para  $R^2$  ficaram entre 0,054 e 0,028, ou seja, muito próximo de zero, significando uma baixa correlação entre as duas variáveis analisadas em ambos os níveis (5 e 50 cm).

Figura 9

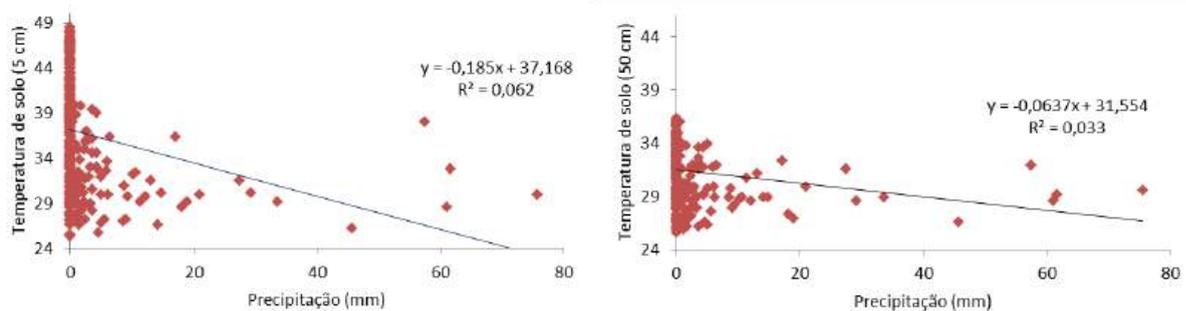
Diagrama de dispersão entre a temperatura do solo (5 e 50 cm) e precipitação para às 9h.



Observou-se na Figura 10 os diagramas de dispersão entre temperatura do solo (5 e 50 cm) e a temperatura média do ar referente às 15h. Nota-se que nas duas profundidades (0 e 50 cm) apresenta correlação negativa entre as duas temperaturas, com indicadores estatísticos insatisfatórios, entre 0,062 e 0,033. O  $R^2$  apresentou maior valor no nível de 5 cm registrando  $R^2 = 0,062$ , porém sem grande vantagem comparado a 50 cm de profundidade ( $R^2 = 0,062$ ).

Figura 10

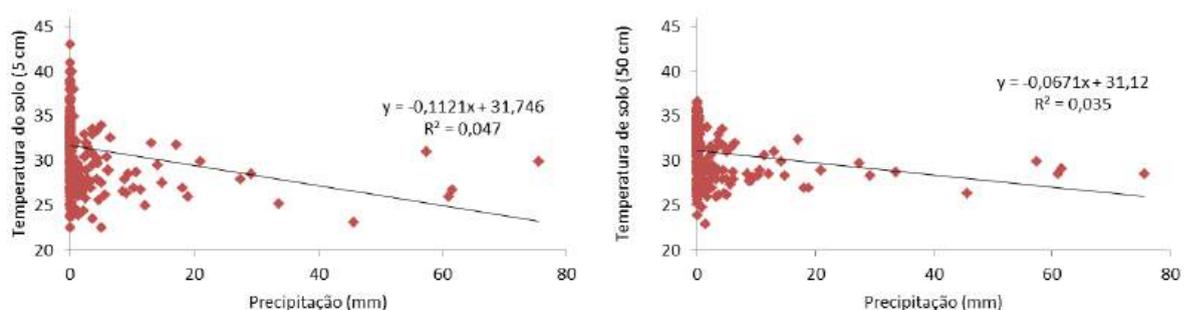
Diagrama de dispersão entre a temperatura do solo (5 e 50 cm) e precipitação no horário de 15h.



Observa-se na Figura 11 os diagramas de dispersão entre temperatura do solo (5 e 50 cm) e precipitação pluvial referente às 21h. Nota-se que nas duas profundidades existe uma correlação negativa entre os dois parâmetros, assim como já visto nos outros horários (9h e 15h), com indicadores estatísticos insatisfatórios. Na profundidade de 5 cm os dados observados estão tão dispersos quanto na profundidade de 50 cm, resultando no  $R^2$  muito baixo, 0,047 e 0,035 respectivamente.

Figura 11

Diagrama de dispersão entre a temperatura do solo (5 e 50 cm) e precipitação no horário de 21h.



### **Considerações Finais**

Foram analisadas no presente estudo as temperaturas do solo em dois níveis distintos, em 5 e 50 cm e suas relações com duas variáveis meteorológicas, temperatura média do ar e a precipitação. Com isso, verificou-se que a temperatura do solo é maior no horário das 15 horas no nível de 5 cm, enquanto eles se mantem mais constante no período da noite (21 horas) no nível de 50 cm.

Além disso, notou-se que a interpolação demonstrada pelo diagrama de Hovmoller nas variáveis estudadas, mostrou valores satisfatórios e condizentes com os dados. Os resultados para  $R^2$  corroboram com a hipótese de existir uma relação entre as variáveis da temperatura média do ar com os valores das temperaturas do solo nos dois níveis, toda via o mesmo não foi observado para a variável da precipitação.

### **Agradecimentos**

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo financiamento da bolsa de mestrado ao primeiro autor (Processo n°. 403699/2022-3), como também a Bolsade Produtividade em Pesquisa (Processo n°. 307608/2022-0) ao segundo autor.

Assim como ao Grupo de Pesquisa em Geotecnologias e modelagem de risco ambiental da Universidade Federal de Campina Grande por todo suporte, humano e físico fornecido e também o professor doutor Madson Tavares da Silva pela orientação, todos substanciais para o artigo. Os autores ainda agradecem pelo financiamento do Projeto de Pesquisa sob Termo de Outorga n° 3033/2021, Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado da Paraíba (FAPESQ).

## Referências

- Alves, T. L. B., & de Azevedo, P. V. (2013). Estimativa da erosividade das chuvas na bacia do riacho Namorado, no município de São João do Cariri (PB). *AMBIÊNCIA*, 9(1), 13-23.
- Araújo, K. D. (2006) *Caracterização geral da Estação Experimental Bacia Escola*. Centro de Ciências Agrárias da UFPB. <http://www.cca.ufpb.br/lavouraxerofila/pdf/sjc.pdf>.
- Belan, L. L., Xavier, T. M. T., Torres, H., Toledo, J. V., & Pezzopane, J. E. M. (2013). Dinâmica entre temperaturas do ar e do solo sob duas condições de cobertura. *Revista Acadêmica Ciência Animal*, 11, 147-154.
- Chaves, L. H. G., CHAVES, I. D. B., Vasconcelos, A. C. F., & Silva, A. P. P. (2002). Salinidade das águas superficiais e suas relações com a natureza dos solos na Bacia Escola do Açude Namorado e diagnóstico do uso e degradação das terras. *Relatório Técnico. Convênio Banco do Nordeste do Brasil/UFPB/FINEP. Campina Grande*, 114.
- Dantas, D., Barbosa, G. P., Cunha, E. G. S., Souza, M. J. H. de, & de Souza, C. M. P. (2017). Temperatura do ar e do solo em diferentes profundidades, em Diamantina-MG *Caderno de Ciências Agrárias*, 9(3), 61-66.
- Diniz, J. M. T., Sousa, E. P. de, Wanderley, J. A. C., Fideles Filho, J., & Maracajá, P. B. (2013). Variabilidade diária da temperatura do solo: um estudo de caso. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, 8(1), 47.
- Francisco, P. R. M. (2010). *Classificação e mapeamento das terras para mecanização agrícola do estado da paraíba utilizando sistema de informações*

*geográficas*. Dissertação Mestrado - Universidade Federal da Paraíba, Areia, Paraíba, Brasil.

Gasparim, E., Ricieri, R. P., Lima Silva de, S., Dallacort, R., & Gnoatto, E. (2005).

Temperatura no perfil do solo utilizando duas densidades de cobertura e solo nu. *Acta Scientiarum. Biological Sciences*, 27(1), 107-114.

José, J. V., Rezende, R., Marques, P. A. A., Gonçalves, A. C. A., & Souza, R. S. de. (2012).

Variabilidade espacial de variáveis físico-hídricas de dois Latossolos da região noroeste do estado do Paraná. *Irriga*, 17(2), 208-219.

Kunz, M., Reinert, D. J., Reichert, J. M., Silva, V. R. D., Streck, C. A., Kaiser, D. R., &

Sequinatto, L. (2002). Temperatura do solo influenciado pelo sistema de manejo dado ao solo para a cultura do feijoeiro. In: *Reunião brasileira de manejo e conservação do solo e da água*. Porto Alegre: UFRGS.

Matos, B. de, Nitsche, P. R., Ricce, W. da R., & Caramori, P. H. (2013). Estimativa da

temperatura do solo com base na temperatura do ar em Londrina, PR. In: *18 Congresso Brasileiro de Agrometeorologia*. Belém. <http://www.sbagro.org/files/biblioteca/3300.pdf>.

Oliveira, K. A. S., Dallacort, R., Barbieri, J. D., Daniel, D. F., Tieppo, R. C., & dos SANTOS,

S. B. (2019). Variabilidade mensal e sazonal da temperatura do solo em diferentes condições de cobertura e de profundidades na região de Tangará da Serra, Mato Grosso. *Científica*, 47(3), 256-268.

Ramana Rao, T. V., & Vianello, R. L. (1977). *Características térmicas do solo de Cachoeira*

*Paulista, SP*. São José dos Campos: INPE.

- Rao, T. V. R., Silva, B. B. D., & Moreira, A. A. (2005). Características térmicas do solo em Salvador, BA. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 9, 554-559.
- Rosa, C. E., Rodrigues, R. A. F., & Alves, M. C. (2009). Variação da temperatura do solo em áreas de recuperação de solo degradado. *Revista Científica do Centro Universitário de Jales - Unijales*, 1, 53-58.
- <https://reuni.unijales.edu.br/edicoes/13/variacao-da-temperatura-do-solo-em-areas-de-r-ecuperacao-de-solo-degradado.pdf>.
- Silva, T. T. F., Sobrinho, J. E., Oliveira, A. K. S. de, Freitas, I. A. da S., Silva, J. L. B. da, & Fernandes, G. S. T. (2019). Estimativa da temperatura do solo e comparação de variáveis meteorológicas em anos extremos de pluviosidade em Mossoró-RN. *Brazilian Journal of Agroecology and Sustainability*.
- Silva, M. A. V. (2005). *Meteorologia e climatologia*. Recife. PE.
- Souza Filho, F. D. A. D. (2011). *A política nacional de recursos hídricos: desafios para sua implantação no semiárido brasileiro*.
- Souza, B. I., Suertegaray, D. M. A., & Lima, E. R. V. de. (2009). Desertificação e seus efeitos na vegetação e solos do Cariri Paraibano. *Mercator*, 8(16), 217.
- Varejão-Silva, M. A. (1984). *Atlas climatológico do Estado da Paraíba*. João Pessoa: UFPB.
- Zhu, F., Cuo, L., Zhang, Y., Luo, J. J., Lettenmaier, D. P., Lin, Y., & Liu, Z. (2018). Spatiotemporal variations of annual shallow soil temperature on the Tibetan Plateau during 1983–2013. *Climate Dynamics*, 51, 2209-2227.