

ZONEAMENTO DE FAVORABILIDADE CLIMÁTICA PARA MITIGAÇÃO DA ANTRACNOSE DE MANDIOCA (*Colletotrichum gloeosporioides*) NO MATO GROSSO DO SUL

João Antonio Lorençone¹

Pedro Antonio Lorençone²

Lucas Eduardo de Oliveira Aparecido³

Guilherme Botega Torsoni⁴

Rafael Fausto de Lima⁵

Claudiomir da Silva dos Santos⁶

Implementação de práticas agrícolas sustentáveis

Resumo

A mandioca (*Manihot esculenta*) representa um componente vital na matriz agrícola e econômica do Mato Grosso do Sul, desempenhando um papel fundamental na segurança alimentar e na indústria regional. Contudo, a sustentabilidade desse cultivo enfrenta desafios significativos devido à antracnose, causada pelo fungo *Colletotrichum gloeosporioides*. Este estudo concentrou-se na análise sazonal da favorabilidade da antracnose e na identificação de zonas de risco elevado para a doença, com enfoque particular na região de Naviraí. Observou-se uma variação marcante na incidência da doença ao longo do ano, com períodos de maior risco identificados nos meses de fevereiro e outubro, exigindo atenção especial dos produtores e pesquisadores. A pesquisa destacou a importância de uma abordagem integrada no manejo da antracnose, combinando estratégias como monitoramento climático, seleção de cultivares resistentes, práticas agrônômicas adaptadas e, quando necessário, o uso judicioso de medidas de controle químico e biológico. As conclusões reforçam a necessidade de adaptação contínua das práticas de manejo à dinâmica climática e fitossanitária, visando a mitigação eficaz da antracnose e a promoção de uma produção de mandioca mais resiliente e sustentável no Mato Grosso do Sul.

Palavras-chave: Resistência de Cultivares; Sazonalidade; Controle Fitossanitário; *Manihot esculenta*.

¹Aluno do curso de graduação em Agronomia, IFMS - Naviraí, joao.lorencone@gmail.com

²Aluno do curso de graduação em Agronomia, IFMS - Naviraí, pedroantonio.lorencone@gmail.com

³Prof. Dr. IFSULDEMINAS – Campus Muzambinho, lucas.aparecido@muz.ifsuldeminas.edu.br

⁴Prof. Dr. IFMS – Campus Naviraí, guilherme.torsoni@ifms.edu.br

⁵Prof. Dr. IFSULDEMINAS – Campus Muzambinho, claudiomir.santos@muz.ifsuldeminas.edu.br

⁵Aluno de Mestrado em Produção Vegetal, UNESP – Jaboticabal, rf.lima@unesp.br

⁶Prof. Dr. IFSULDEMINAS – Campus Muzambinho, claudiomir.santos@muz.ifsuldeminas.edu.br

INTRODUÇÃO

A produção de mandioca (*Manihot esculenta*), é um pilar da agricultura no Mato Grosso do Sul, reflete a sua importância global como um recurso vital tanto em termos socioeconômicos quanto nutricionais. Este cultivo desempenha um papel fundamental na alimentação de aproximadamente um bilhão de pessoas em todo o mundo, destacando sua relevância no contexto global e, em particular, no Mato Grosso do Sul (Padi; Chimphango; Roskilly, 2022).

No estado, as condições climáticas e de solo são ideais para o cultivo da mandioca, permitindo que esta cultura se desenvolva de maneira eficiente e produtiva. A janela de plantio, estendendo-se de março a setembro, alinha-se com a necessidade da planta de temperaturas entre 20°C e 27°C, que são típicas do clima tropical local. Esse período também coincide com a distribuição adequada de chuvas, essencial para o crescimento ótimo da planta.

A adaptabilidade da mandioca às diversas condições ambientais do Mato Grosso do Sul permite a diversificação das variedades cultivadas, desde as precoces até as tardias, oferecendo aos agricultores flexibilidade em termos de planejamento e gestão da colheita. Este fator é crucial para o planejamento agrícola e a otimização da produção, permitindo que os produtores maximizem o uso de suas terras e recursos (Versino; López; García, 2015).

A mandioca no Mato Grosso do Sul não apenas se destaca pela sua contribuição direta à alimentação e economia, mas também serve como matéria-prima em diversos setores industriais, inclusive na produção de alimentos para animais. Essa versatilidade amplia o impacto econômico da cultura, gerando empregos e fomentando o desenvolvimento regional.

No entanto, a sustentabilidade da produção de mandioca no estado enfrenta desafios significativos, particularmente devido à antracnose. Esta doença, causada pelo fungo *Colletotrichum gloeosporioides*, pode causar perdas substanciais, afetando a produtividade e a qualidade dos tubérculos. A ocorrência da antracnose é particularmente preocupante em plantas jovens, entre 3 e 6 meses de idade, sob condições de alta umidade e temperaturas favoráveis ao patógeno (Ntui *et al.*, 2021; Sangpueak *et al.*, 2023).

O impacto da antracnose não se limita apenas às perdas agrícolas; ele também exige dos agricultores investimentos significativos em medidas de controle e manejo. Tais investimentos podem ser onerosos, impactando a viabilidade econômica da produção de mandioca no estado. O gerenciamento eficaz dessa doença é, portanto, essencial para manter a competitividade e a sustentabilidade da cultura da mandioca no Mato Grosso do Sul (Ighalo; Igwegbe; Adeniyi, 2021).

Além disso, a importância da mandioca como cultura de subsistência e comercial no Mato Grosso do Sul resalta a necessidade de uma abordagem integrada na agricultura, que combine práticas tradicionais com inovações tecnológicas. A pesquisa e o desenvolvimento focados na resistência a doenças, melhoramento genético e técnicas agrônômicas avançadas podem proporcionar avanços significativos na produtividade e na sustentabilidade da mandioca, assegurando seu papel vital na economia agrícola do estado.

Em suma, a mandioca no Mato Grosso do Sul é mais do que uma cultura; é uma componente chave para o desenvolvimento socioeconômico e a segurança alimentar do estado. O enfrentamento dos desafios fitossanitários, a adoção de práticas agrícolas sustentáveis e o investimento contínuo em pesquisa e desenvolvimento são fundamentais para aproveitar plenamente o potencial da mandioca, garantindo seu valor duradouro para agricultores, indústria e a população em geral.

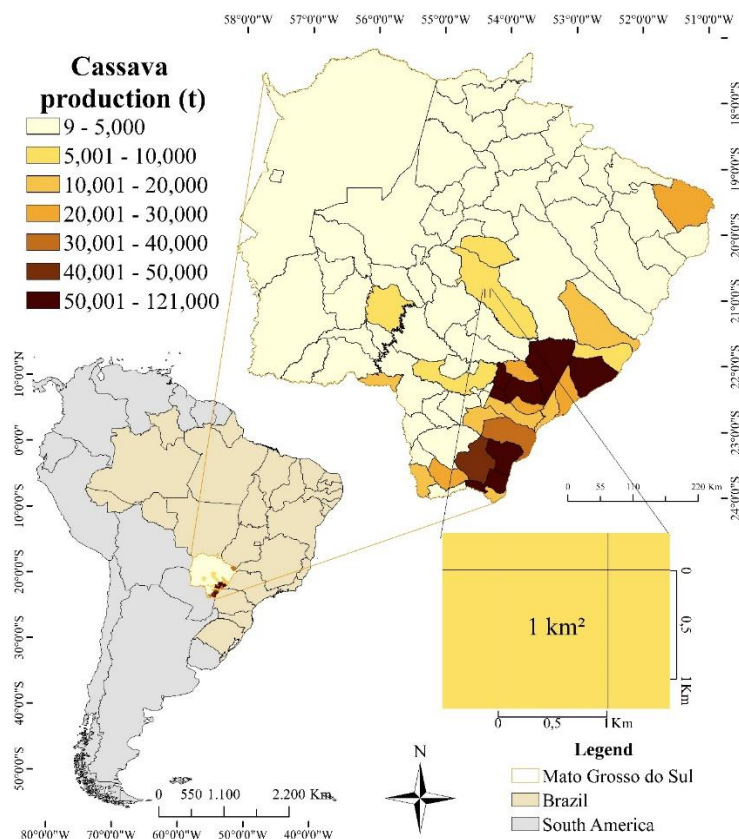
Assim, o objetivo deste estudo é não apenas entender os impactos potenciais das mudanças climáticas na antracnose da mandioca, mas também fornecer um mapa estratégico para auxiliar na adaptação da agricultura brasileira no manejo fitossanitário.

METODOLOGIA

A pesquisa foi realizada para o Mato Grosso do Sul, que abrange uma área de aproximadamente 357.145 km². O estado apresenta uma diversidade climática marcante, que predominantemente se enquadra na categoria tropical (A) de acordo com a classificação climática de Köppen (Köppen, 1936). O estado concentra uma área de encontro entre três biomas: o Cerrado, a Mata Atlântica e o Pantanal. O Cerrado ocupa a maior parte do estado com destaque para as regiões centrais e norte. O Pantanal ocupa uma porção significativa do sudoeste do estado. Na figura 1 é possível observar a distribuição geográfica da produção, que se intensifica significativamente no sul do estado nos municípios com produção acima de 50.000 toneladas.

Para obter dados climáticos contemporâneos, recorreremos à versão 2.1 do WorldClim (Stackhouse *et al.*, 2015), que fornece informações sobre temperatura e precipitação com uma granularidade de 30 segundos (aproximadamente 1 km²) em formato GeoTiff (.tif). Ou seja, a cada 1km² foram coletados dados de temperatura do ar e precipitação pluvial para a última normal climatológica (1990 – 2020). Foram utilizadas variáveis diárias de temperatura e precipitação para determinar a favorabilidade ao desenvolvimento de *Colletotrichum gloeosporioides*, criando uma chave de aptidão baseada nos parâmetros observados na tabela 1.

Figura 01: Mapa de localização dos municípios com maiores produções de mandioca no Mato Grosso do Sul.



Fonte: Próprio do autor

Tabela 01: Classes de favorabilidade para a incidência de *Colletrotrichum gloeosporioides*.

Temperatura do ar (Tar)	Precipitação diária (Prec)	Classes
$18\text{ }^{\circ}\text{C} \leq \text{Tar} < 23\text{ }^{\circ}\text{C}$	$\text{Prec} > 4\text{ mm}$	Muito favorável
$12\text{ }^{\circ}\text{C} \leq \text{Tar} < 18\text{ }^{\circ}\text{C}$	$\text{Prec} > 4\text{ mm}$	Favorável
$23\text{ }^{\circ}\text{C} \leq \text{Tar} < 26\text{ }^{\circ}\text{C}$	$\text{Prec} > 4\text{ mm}$	Favorável
$18\text{ }^{\circ}\text{C} \leq \text{Tar} < 23\text{ }^{\circ}\text{C}$	$\text{Prec} < 4\text{ mm}$	Relativamente favorável
$\text{Tar} < 12\text{ }^{\circ}\text{C}$	$\text{Prec} < 4\text{ mm}$	Não favorável
$\text{Tar} \geq 26\text{ }^{\circ}\text{C}$	$\text{Prec} < 4\text{ mm}$	Não favorável

Fonte: Adaptado de (Dalarosa *et al.*, 2022; Ikotun; Hahn, 1991; Nascimento *et al.*, 2024; Owolade *et al.*, 2005).

Os dados de uso e cobertura do solo foram obtidos por meio da plataforma MapBiomias Brasil (<https://brasil.mapbiomas.org/>), com uma resolução de 30 metros, da coleção 8 (agosto de 2023), para o ano de 2022, o período mais recente disponibilizado pela plataforma (Souza *et al.*, 2020). Esses dados foram utilizados para compor a classe “não cultivado” por meio das classes de uso do solo: Floresta, 1.1. Formação Florestal, 1.2. Formação Savânica, 1.3. Manguezal, 1.4. Floresta Inundável (beta), 1.5. Vegetação de Bancos Arenosos Arbórea, 2. Formação Natural Não Florestal, 2.1. Área Úmida, 2.2. Campo Graminoso, 2.3. Planície Salina Hipersalina, 2.4. Afloramento Rochoso, 2.5. Vegetação Herbácea de Bancos Arenosos, 2.6. Outras Formações Não Florestais, 4. Área Não Vegetada, 4.1. Praia, Duna e Mancha de Areia, 4.2. Área Urbana, 4.3. Mineração, 4.4. Outras Áreas Não Vegetadas, 5. Água, 5.1. Rio, Lago e Oceano, 5.2. Aquicultura.

Dados de uso e cobertura do solo foram obtidos através do MapBiomias (Souza *et al.*, 2020) Brasil, utilizando a resolução de 30 metros para classificar áreas não cultiváveis com base em várias categorias de uso do solo. Foi implementado um processo de várias etapas no software SIG QGIS para criar um zoneamento de favorabilidade para a antracnose, desde a reclassificação de dados até o cálculo de áreas de favorabilidade por município e estado, empregando Python para automatizar a análise e produção de mapas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O estudo de Aparecido *et al.* (2020) ressaltou que o Mato Grosso do Sul é uma região altamente favorável para o cultivo de mandioca devido às condições climáticas adequadas, especialmente com temperaturas médias entre 20°C e 27°C e precipitação anual de 1200 a 1500 mm, ideais para o desenvolvimento da cultura. O clima da região condiciona um ambiente favorável para a doença em meses com maior volume de chuvas.

Na análise de favorabilidade para a antracnose em mandioca no Mato Grosso do Sul, os resultados revelaram que, em janeiro, as condições Relativamente Favoráveis e Favoráveis predominaram, com 35.5% e 54.9%, respectivamente. Notavelmente, fevereiro apresentou um aumento na categoria Favorável, atingindo 58.1%, enquanto a categoria "Não Favorável" foi mínima, representando apenas 1.7% da área estudada. Em abril, a distribuição mudou drasticamente, com 78.9% do território classificado como Relativamente Favorável e um declínio acentuado na categoria Favorável, que caiu para apenas 0.1% (Tabela 1).

Durante os meses de junho a agosto, a predominância da categoria "Relativamente Favorável"

foi ainda mais acentuada, atingindo 91.1%, enquanto as categorias "Favorável" e Muito Favorável não foram observadas. Em outubro, a distribuição entre as categorias tornou-se mais diversificada: 24.5% da área foi classificada como Não Favorável, 6.4% como Relativamente Favorável, 44.0% como "Favorável" e 16.1% como Muito Favorável. Essa variação indica uma flutuação significativa nas condições climáticas que influenciam o desenvolvimento do patógeno.

A média anual apontou que 57.6% do estado se enquadrou na categoria "Relativamente Favorável", enquanto 27.2% foram considerados Favorável. Esses valores sugerem que, embora uma grande parte do estado seja propícia ao desenvolvimento da antracnose, a intensidade dessa favorabilidade varia ao longo do ano. Além disso, a categoria Muito Favorável teve uma média anual de 2.9%, indicando áreas de alta suscetibilidade à doença, embora representem uma porção menor do território.

Tabela 1: Percentuais de favorabilidade à incidência de antracnose por estado brasileiro para o cenário climático atual.

Meses	Não favorável	Relativamente favorável	Favorável	Muito favorável	Não cultivado
Janeiro	-	35.5%	54.9%	0.6%	9.0%
Fevereiro	1.7%	30.6%	58.1%	0.6%	9.0%
Março	4.8%	30.3%	55.4%	0.6%	9.0%
Abril	7.6%	78.9%	0.1%	4.4%	9.0%
Mai	0.0%	82.2%	-	8.9%	9.0%
Junho	0.0%	91.1%	-	-	9.0%
Julho	-	91.1%	-	-	9.0%
Agosto	-	91.1%	-	-	9.0%
Setembro	0.1%	88.7%	-	2.3%	9.0%
Outubro	24.5%	6.4%	44.0%	16.1%	9.0%
Novembro	2.1%	30.3%	58.3%	0.2%	9.0%
Dezembro	-	34.8%	55.7%	0.6%	9.0%
Média anual	3.4%	57.6%	27.2%	2.9%	8.9%

Fonte: Próprio do autor.

A região de Naviraí demonstrou variação sazonalmente, refletindo a favorabilidade para o desenvolvimento da antracnose. Durante os meses de verão, como janeiro (Figura 2A), e em fevereiro (Figura 2B), a área exibiu predominantemente uma condição Relativamente Favorável a Favorável para a doença, com valores de 35.5% e 54.9% em janeiro, e um leve aumento para 58.1% em Favorável em fevereiro. Este aumento sugere que medidas de controle devem ser priorizadas nesse período para evitar a proliferação da doença que poderia afetar negativamente a produção das feculares.



Avançando para o final do ano agrícola, observou-se em outubro (Figura 2J) uma combinação preocupante de áreas Favorável e Muito Favorável que aumentou significativamente, para 44.0% e 16.1%, respectivamente. Estes valores indicam um pico na favorabilidade para a antracnose, o que requer uma atenção especial dos produtores da região de Naviraí, já que esta é uma época crítica onde a doença pode afetar fortemente as lavouras de mandioca, comprometendo a matéria-prima essencial para as fecularias.

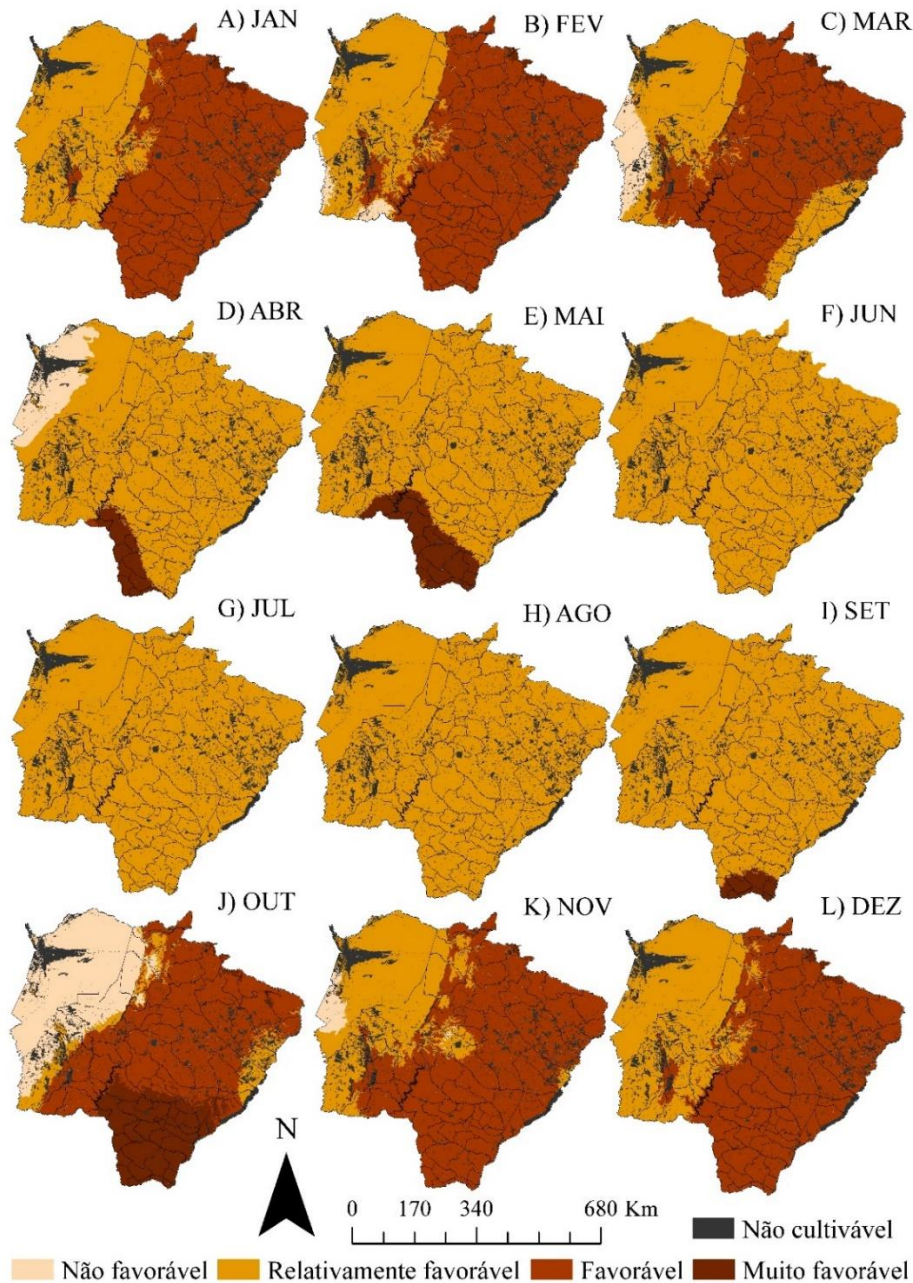
O zoneamento de favorabilidade climática para a Antracnose da mandioca no Mato Grosso do Sul revelou variações significativas ao longo do ano. Meses como fevereiro e outubro apresentaram um risco elevado para o desenvolvimento da doença. Logo se destaca a necessidade de um monitoramento constante e a adoção de práticas de manejo ajustadas às condições climáticas, com o objetivo de minimizar os impactos negativos da antracnose nas lavouras de mandioca (Dalarosa *et al.*, 2022).

Para os meses com alta favorabilidade para a doença, é recomendado que os produtores intensifiquem o monitoramento das plantações, em busca de sinais precoces da antracnose. A identificação antecipada da doença permite intervenções mais eficazes, contribuindo para a redução da propagação do patógeno e das perdas associadas (Owolade *et al.*, 2005). Além disso, práticas culturais adequadas, como o manejo correto de resíduos de cultura, rotação de culturas, utilização de quebra ventos e controle fitossanitário da propriedade auxiliam na diminuição da carga de inóculo no solo (Ighalo; Igwegbe; Adeniyi, 2021).

Uma das principais estratégias recomendadas para mitigar a antracnose nesses períodos críticos é o controle biológico. Peralta-Ruiz *et al.* (2023) destacam que a utilização de agentes biológicos como fungos antagonistas tem mostrado resultados promissores em culturas tropicais, reduzindo significativamente a severidade da doença. Além disso, as práticas culturais, como a rotação de culturas e o uso de cobertura vegetal, podem minimizar o impacto do patógeno no solo e criar barreiras naturais para o seu desenvolvimento. (Huang *et al.*, 2020) realizaram estudos em zonas de alta umidade da África Ocidental, a antracnose da mandioca e demonstraram a eficiência do controle biológico para o combate da Antracnose na mandioca.

Dessa forma, A integração de medidas fitossanitárias e o uso de zoneamento climático são ferramentas fundamentais para a tomada de decisões. O zoneamento de favorabilidade climática é uma ferramenta que auxilia na identificação do período corre para aplicação de defensivos agrícolas ou controle biológico, como forma de mitigar o impacto da antracnose, desde que combinada com o uso de variedades resistentes e práticas sustentáveis.

Figura 02: Zoneamento mensal da antracnose da mandioca para o Brasil



Fonte: Próprio do autor.

A utilização de variedades resistentes ou tolerantes à antracnose é uma estratégia crucial adotada pelos produtores. O investimento em genótipos adaptados melhorou a resiliência das lavouras e contribuiu para uma gestão integrada de doenças, combinando resistência genética com outras práticas de manejo para um controle mais eficiente e sustentável (Padi; Chimpango; Roskilly, 2022). Assim a aplicação de fungicidas é considerada uma medida complementar necessária. No entanto, sendo

obrigatório que os produtores seguissem as recomendações técnicas para o uso desses produtos, aplicando-os de forma criteriosa e rotacionando os princípios ativos para evitar o desenvolvimento de resistência (Sangpueak *et al.*, 2023).

Em menor escala, porém com maior preservação ambiental o controle biológico, utilizando organismos antagônicos ao patógeno, é uma excelente alternativa ou complemento aos fungicidas, alinhando-se às práticas de agricultura sustentável (Ntui *et al.*, 2021). Sendo essencial o correto monitoramento da lavoura, para entrada antecipada com agentes biológicos.

CONCLUSÕES

Em janeiro, condições predominantemente Relativamente Favoráveis e Favoráveis são mais frequentes, exigindo monitoramento cuidadoso, particularmente em áreas com alta produção como Naviraí. Com um aumento significativo em fevereiro para a condição "Favorável", destacando 58.1% do território, a necessidade de práticas de controle se torna ainda mais crítica para evitar impactos negativos na produção.

A mudança na distribuição de favorabilidade em abril, com uma vasta região se tornando Relativamente Favorável. A uniformidade observada de junho a agosto, com uma predominância de 91.1% na categoria Relativamente Favorável, sugere uma redução temporária na pressão da doença, permitindo aos produtores um respiro nas medidas de controle. Entretanto, outubro traz um retorno da preocupação, com um aumento nas áreas Favorável e Muito Favorável, chegando a 44.0% e 16.1% respectivamente.

Os dados coletados ressaltam a importância de os produtores manterem uma vigilância atenta, particularmente nos períodos mais propensos ao aparecimento da doença. Detectar a antracnose prontamente permite a adoção de medidas de controle que podem reduzir expressivamente a propagação do fungo e, conseqüentemente, as perdas na colheita.

O estudo também enfatiza a necessidade de práticas agrícolas bem-orientadas, como o manejo correto dos resíduos de plantas, a alternância de culturas e a seleção de variedades menos suscetíveis ao patógeno. Estas ações, aliadas ao uso judicioso de fungicidas e à aplicação de controle biológico, formam um conjunto robusto de estratégias para um manejo integrado de doenças, fortalecendo a resistência das plantações de mandioca à antracnose.

Conclui-se que, no Mato Grosso do Sul, a gestão da antracnose em mandioca deve ser proativa e responsiva às flutuações climáticas que influenciam a favorabilidade da doença. As práticas agrícolas devem ser especialmente focadas nos períodos de maior risco, como fevereiro e outubro.

REFERÊNCIAS

- DALAROSA, Leandro Escobar *et al.* Parâmetros e divergência genética para identificação de resistência à antracnose e à bacteriose em acessos de mandioca. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, [s. l.], v. 57, n. Z, p. 02790, 2022.
- HUANG, Huayi *et al.* Biological control of poplar anthracnose caused by *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) Penz. & Sacc. **Egyptian Journal of Biological Pest Control**, [s. l.], v. 30, n. 1, p. 104, 2020.
- IGHALO, Joshua O.; IGWEGBE, Chinenye Adaobi; ADENIYI, Adewale George. Multi-layer perceptron artificial neural network (MLP-ANN) prediction of biomass higher heating value (HHV) using combined biomass proximate and ultimate analysis data. **Modeling Earth Systems and Environment**, [s. l.], 2021. Disponível em: <https://link.springer.com/10.1007/s40808-021-01276-4>. Acesso em: 23 jul. 2022.
- IKOTUN, T; HAHN, SK. Screening cassava cultivars for resistance to the cassava anthracnose disease (CAD). *In*: SYMPOSIUM ON TROPICAL ROOT CROPS IN A DEVELOPPING ECONOMY 380, 1991. **Anais [...]**. [S. l.: s. n.], 1991. p. 178–183.
- KOPPEN, Wladimir. Das geographische system der klimat. **Handbuch der klimatologie**, [s. l.], p. 46, 1936.
- NASCIMENTO, José Henrique Bernardino *et al.* Phenotypic Variability in Resistance to Anthracnose, White, Brown, and Blight Leaf Spot in Cassava Germplasm. **Plants**, [s. l.], v. 13, n. 9, p. 1187, 2024.
- NTUI, Valentine Otang *et al.* Strategies to combat the problem of yam anthracnose disease: Status and prospects. **Molecular Plant Pathology**, [s. l.], v. 22, n. 10, p. 1302–1314, 2021.
- OWOLADE, OF *et al.* Sources of resistance to cassava anthracnose disease. **African Journal of Biotechnology**, [s. l.], v. 4, n. 6, p. 570–572, 2005.
- PADI, Richard Kingsley; CHIMPHANGO, Annie; ROSKILLY, Anthony Paul. Economic and environmental analysis of waste-based bioenergy integration into industrial cassava starch processes in Africa. **Sustainable Production and Consumption**, [s. l.], v. 31, p. 67–81, 2022.
- PERALTA-RUIZ, Yeimmy *et al.* Green Management of Postharvest Anthracnose Caused by *Colletotrichum gloeosporioides*. **Journal of Fungi**, [s. l.], v. 9, n. 6, p. 623, 2023.
- SANGPUEAK, Rungthip *et al.* Involvement of salicylic acid against anthracnose disease in cassava. **International Journal of Pest Management**, [s. l.], p. 1–9, 2023.
- SOUZA, Carlos M. *et al.* Reconstructing Three Decades of Land Use and Land Cover Changes in Brazilian Biomes with Landsat Archive and Earth Engine. **Remote Sensing**, [s. l.], v. 12, n. 17, 2020.
- STACKHOUSE, Paul W *et al.* Prediction of Worldwide Energy Resource (POWER)-Agroclimatology methodology-(1.0 latitude by 1.0 longitude spatial resolution). **Prediction of Worldwide Energy Resource (POWER)-Agroclimatology methodology-(1.0 latitude by 1.0 longitude spatial resolution)**., Hampton, NASA Langley Research Center, 2015. Disponível em: <https://www.google.com/url?q=http://power.larc.nasa.gov&sa=D&ust=1589978586738000&usg=AFQjCNEjqlxMiRet7nX2Bnc8Sex44oJNA>. Acesso em: 14 maio 2020.
- VERSINO, Florencia; LÓPEZ, Olivia V.; GARCÍA, M. Alejandra. Sustainable use of cassava (*Manihot esculenta*) roots as raw material for biocomposites development. **Industrial Crops and Products**, [s. l.], v. 65, p. 79–89, 2015.