



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE BIOCÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE MICOLOGIA
CURSO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS - BACHARELADO

GABRIEL ROSEMBERG LUNA DE SOUZA RODRIGUES

**ASSOCIAÇÃO MICORRÍZICA E TOLERÂNCIA DE MUDAS DE MANDIOCA
(*Manihot esculenta* CRANTZ) AO ESTRESSE HÍDRICO**

RECIFE
2025

GABRIEL ROSEMBERG LUNA DE SOUZA RODRIGUES

**ASSOCIAÇÃO MICORRÍZICA E TOLERÂNCIA DE MUDAS DE MANDIOCA
(*Manihot esculenta* CRANTZ) AO ESTRESSE HÍDRICO**

Trabalho de Conclusão apresentado
ao Curso de Ciências Biológicas
Bacharelado da Universidade Federal
de Pernambuco, como requisito
parcial para obtenção do título de
Bacharel em Ciências Biológicas.

Orientadora: Leonor Costa Maia

Coorientadora: Joana Suassuna da Nóbrega Veras

Recife

2025

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Rodrigues, Gabriel Rosemberg Luna de Souza.

Associação micorrízica e tolerância de mudas de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) ao estresse hídrico / Gabriel Rosemberg Luna de Souza Rodrigues. - Recife, 2025.

47 p. : il., tab.

Orientador(a): Leonor Costa Maia

Coorientador(a): Joana Suassuna da Nóbrega Veras

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Biociências, Ciências Biológicas - Bacharelado, 2025.

Inclui referências, apêndices.

1. Fungos micorrízicos arbusculares. 2. Glomeromycota. 3. inoculação. I. Maia, Leonor Costa . (Orientação). II. Veras, Joana Suassuna da Nóbrega . (Coorientação). IV. Título.

570 CDD (22.ed.)

GABRIEL ROSEMBERG LUNA DE SOUZA RODRIGUES

**ASSOCIAÇÃO MICORRÍZICA E TOLERÂNCIA DE MUDAS DE MANDIOCA
(*Manihot esculenta* CRANTZ) AO ESTRESSE HÍDRICO**

Trabalho de Conclusão apresentado ao Curso de Ciências Biológicas Bacharelado da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Ciências Biológicas.

Aprovado em: 19/03/2025

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Leonor Costa Maia (Orientadora)
Universidade Federal de Pernambuco

Profa. Dra. Danielle Karla Alves da Silva (Examinadora Interna)
Universidade Federal de Pernambuco

Ma. Joana Sherylyn Nicodemos Cordeiro (Examinadora interna)
Universidade Federal de Pernambuco

AGRADECIMENTOS

A realização deste Trabalho de Conclusão de Curso foi um desafio enriquecedor, e não teria sido possível sem o apoio de diversas pessoas e instituições, às quais expresso minha mais profunda gratidão.

Primeiramente, agradeço ao Laboratório de Micorrizas e a todas as pessoas que fazem parte por fornecer o ambiente acadêmico e amigável propício ao desenvolvimento deste trabalho e por todo o suporte oferecido ao longo da graduação.

À minha orientadora Prof. Leonor e à minha coorientadora Dra. Joana, pelo conhecimento compartilhado, pela paciência e pela dedicação em me guiar ao longo deste processo. Suas contribuições foram essenciais para a construção deste estudo.

Expresso também meu sincero agradecimento aos membros da banca examinadora, Profa. Dra. Danielle Karla Alves da Silva e Ma. Joana Sherylyn Nicodemos Cordeiro por suas valiosas sugestões e considerações que enriqueceram ainda mais este trabalho.

A todos os colaboradores do IPA e, em especial, ao Dr. Félix por toda ajuda e disponibilidade durante as etapas deste trabalho.

Ao Laboratório de Fisiologia Vegetal do Departamento de Botânica da UFPE e a todos que fazem parte pelo apoio e parceria durante a realização deste trabalho.

Aos órgãos de fomento, CNPq e FACEPE pelo apoio financeiro e incentivo à pesquisa, fundamentais para a viabilização deste estudo.

Aos meus familiares e amigos, que estiveram ao meu lado, oferecendo apoio incondicional, palavras de incentivo e compreensão nos momentos mais desafiadores.

Por fim, a todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho, meu muito obrigado!

A farinha é feita de uma planta
Da família das euforbiáceas, euforbiáceas
De nome manihot utilíssima
Que um tio meu apelidou de macaxeira
E foi aí que todo mundo achou melhor

A farinha tá no sangue do nordestino
Eu já sei desde menino o que ela pode dar
E tem da grossa, tem da fina, se não tem da quebradinha
Vou na vizinha pegar pra fazer pirão ou mingau

Farinha com feijão é animal
O cabra que não tem eira nem beira
Lá no fundo do quintal tem um pé de macaxeira

A macaxeira é popular
É macaxeira pr'ali, macaxeira pra cá
E em tudo que é farinhada a macaxeira tá

Você não sabe o que é farinha boa
Farinha é a que a mãe me manda lá de Alagoas
Você não sabe o que é farinha boa
Farinha é a que a mãe me manda lá de Alagoas
Ui, ui

Você não sabe o que é farinha boa
Farinha é a que a mãe me manda lá de Alagoas
Você não sabe o que é farinha boa
Farinha é a que a mãe me manda lá de Alagoas

DJAVAN, Farinha (2001)

RESUMO

O estresse hídrico reduz a absorção de água e nutrientes, ocasionando efeitos adversos no crescimento, inibindo a fotossíntese e a expansão radicular, diminuindo a produtividade das plantas de interesse econômico. Diante dos desafios impostos pelo déficit hídrico, os fungos micorrízicos arbusculares (FMA) apresentam potencial para mitigar os efeitos da seca nas plantas. Os FMA são um importante grupo da microbiota edáfica, promovendo diversos serviços ecossistêmicos e exibindo potencial uso em plantas de interesse comercial. Dentre essas, a mandioca é de grande relevância econômica, mas sofre prejuízos devido, entre outros, às mudanças climáticas que afetam a produção. Considerando que plantas de mandioca apresentam respostas positivas à inoculação micorrízica, o objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos de FMA em *Manihot esculenta* var. BRS Kiriris sob déficit hídrico, a partir do crescimento, da concentração de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K), e dos teores de clorofila *a* e *b* e carotenoides nas folhas. Um experimento com delineamento inteiramente casualizado foi montado com quatro tratamentos com e sem estresse hídrico: controle (sem inoculação) e inoculado com *Gigaspora albida* e *Acaulospora longula* de maneira isolada e em consórcio. Em geral, o estresse hídrico reduziu o número de folhas, a concentração de N e P, e de clorofila *a*. A simbiose foi bem estabelecida independentemente do estresse hídrico; os tratamentos com *G. albida* de forma isolada e em consórcio com *A. longula* tiveram maior percentual de colonização. Porém, apenas no tratamento com *G. albida* o efeito da inoculação foi refletido em maior número de folhas. As plantas inoculadas com *A. longula* tiveram maior produção de carotenoides do que as associadas com *G. albida*, demonstrando respostas diferentes à inoculação. No geral, as plantas foram suscetíveis aos efeitos negativos do estresse hídrico. A resposta à inoculação depende, entre outros fatores, da compatibilidade da planta com o simbionte, podendo resultar em benefícios como o aumento do número de folhas. Isso reforça a importância da inoculação com FMA, sobretudo para culturas de interesse econômico. Os resultados obtidos e pesquisas futuras sobre a associação micorrízica em plantas de mandioca poderão contribuir para otimizar e aumentar a produtividade da cultura.

Palavras-chave: fungos micorrízicos arbusculares; Glomeromycota; inoculação.

ABSTRACT

Water stress reduces the absorption of water and nutrients, causing adverse effects on growth by inhibiting photosynthesis and root expansion, and decreasing the productivity of economically important plants. In the face of the challenges posed by water deficit, arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) show potential to mitigate the effects of drought on plants. AMF are an important group within the soil microbiota, promoting various ecosystem services and exhibiting potential for use in commercially relevant plants. Among these, cassava stands out for its significant economic importance, but suffers losses due, among other factors, to climate change, which affects production. Considering that cassava plants respond positively to mycorrhizal inoculation, the aim of this study was to evaluate the effects of AMF on *Manihot esculenta* var. BRS Kiriris under water deficit, based on growth, nitrogen (N), phosphorus (P), and potassium (K) concentrations, as well as chlorophyll *a* and *b* and carotenoid contents in the leaves. A completely randomized design experiment was set up with four treatments, with and without water stress: control (non-inoculated) and inoculated with *Gigaspora albida* and *Acaulospora longula*, both individually and in consortium. Overall, water stress reduced the number of leaves, N and P concentrations, and chlorophyll *a*. Symbiosis was well established regardless of water stress; treatments with *G. albida*, both alone and in consortium with *A. longula*, showed higher colonization percentages. However, only in the *G. albida* treatment was the inoculation effect reflected in an increased number of leaves. Plants inoculated with *A. longula* had higher carotenoid production than those associated with *G. albida*, demonstrating different responses to inoculation. In general, the plants were susceptible to the negative effects of water stress. The response to inoculation depends, among other factors, on the compatibility between the plant and the symbiont, which may result in benefits such as increased leaf number. This reinforces the importance of AMF inoculation, especially for crops of economic interest. The results obtained, along with future research on the mycorrhizal association in cassava plants, may contribute to optimizing and increasing crop productivity.

Keywords: arbuscular mycorrhizal fungi; Glomeromycota; inoculation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 –	Estratégias de vida dos FMA	17
Figura 2 –	<i>Manihot esculenta</i> A) filotaxia da planta; B) morfologia da folha	20
Figura 3 –	Bioensaio para multiplicação de glomerosporos de <i>Acaulospora longula</i> e <i>Gigaspora albida</i>	24
Figura 4 –	Delineamento experimental	25
Figura 5 –	Mudas de mandioca em experimento na casa de vegetação do IPA	26
Figura 6 –	Realização das avaliações de: A) nutrientes da folha e B) pigmentos da folha no Laboratório de Fisiologia Vegetal da UFPE	28
Figura 7 –	Colonização micorrízica em raízes de mandioca. A) vesículas e B) arbúsculos	29
Figura 8 –	Colonização micorrízica em plantas de mandioca inoculadas com <i>Gigaspora albida</i> (GA), <i>Acaulospora longula</i> (AL) e a combinação (GA e AL) com ou sem estresse hídrico	29

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores de nutrientes e crescimento das plantas de mandioca inoculadas com <i>Gigaspora albida</i> (GA), <i>Acaulospora longula</i> (AL) e a combinação (GA e AL) com ou sem estresse hídrico	30
Tabela 2 – Teores de pigmentos nas folhas de mandioca inoculadas com <i>Gigaspora albida</i> (GA), <i>Acaulospora longula</i> (AL) e a combinação (GA e AL) com ou sem estresse hídrico	31
Tabela 3 – Dados brutos da colonização micorrízica em <i>Manihot esculenta</i>	43
Tabela 4 – Dados brutos da avaliação dos nutrientes da planta	44
Tabela 5 – dados brutos da avaliação dos pigmentos de mandioca	45
Tabela 6 – Dados brutos da avaliação do crescimento de mandioca	46

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AL	<i>Acaulospora longula</i> sem estresse
ALS	<i>Acaulospora longula</i> com estresse
CO	Controle sem estresse
COS	Controle com estresse
FMA	Fungos micorrízicos arbusculares
GA	<i>Gigaspora albida</i> sem estresse
GAL	<i>Gigaspora albida</i> + <i>Acaulospora longula</i> sem estresse
GALS	<i>Gigaspora albida</i> + <i>Acaulospora longula</i> com estresse
GAS	<i>Gigaspora albida</i> com estresse
IPA	Instituto Agronômico de Pernambuco
K	Potássio
N	Nitrogênio
P	Fósforo

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
2.1	DÉFICIT HÍDRICO NAS PLANTAS	15
2.2	FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES	16
2.2.1	Fungos Micorrízicos Arbusculares na agricultura	17
2.2.2	<i>Manihot esculenta</i>	19
2.2.3	Associação FMA e <i>Manihot esculenta</i>	22
3	METODOLOGIA	24
3.1	MULTIPLICAÇÃO DOS GLOMEROSPOROS	24
3.2	MONTAGEM E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL	25
3.3	INOCULAÇÃO DAS MANIVAS	26
3.4	AVALIAÇÃO DA COLONIZAÇÃO MICORRÍZICA	27
3.5	AVALIAÇÃO DE PARÂMETROS DA PLANTA	27
3.5.1	Medidas de Crescimento	27
3.5.2	Quantificação de nutrientes (NPK)	27
3.5.3	Quantificação de pigmentos fotossintéticos	27
3.6	ANÁLISES ESTATÍSTICAS	28
4	RESULTADOS	29
4.1	COLONIZAÇÃO MICORRÍZICA	29
4.2	PARÂMETROS DA MANDIOCA	30
5	DISCUSSÃO	32
6	CONCLUSÕES	35
	REFERÊNCIAS	35
	APÊNDICE – Tabela de dados brutos dos resultados	43

1 INTRODUÇÃO

O estresse hídrico ocorre quando a disponibilidade de água no solo não é suficiente para atender às necessidades fisiológicas das plantas, dificultando o crescimento radicular e a absorção de água e nutrientes (Farooq et al., 2009; Ma, Dias e Freitas, 2020). O déficit hídrico induz alterações morfofisiológicas, como o fechamento estomático, que reduz a transpiração e, conseqüentemente, a perda de água, porém limita a absorção de CO₂, resultando em uma menor taxa de fotossíntese e, dessa forma, prejudicando a produtividade agrícola (Ma, Dias e Freitas, 2020; Seleiman et al., 2021).

Diante das adversidades causadas pelo déficit hídrico, os FMA têm sido investigados como uma abordagem biológica para reduzir os impactos da seca nas plantas (Dantas et al., 2025). A inoculação de FMA no solo pode representar uma solução promissora para culturas de importância econômica em áreas suscetíveis ao estresse hídrico, auxiliando no aumento da resiliência das plantas diante das mudanças climáticas (Basu et al., 2018).

Os fungos micorrízicos arbusculares (FMA) são um importante grupo da microbiota edáfica, realizando associação mutualista com mais de 90% plantas vasculares (Smith e Read, 2008). Nessa simbiose, os FMA proporcionam aumento na área de absorção de nutrientes das plantas, além de conferirem maior resistência a patógenos e estresses (Gianinazzi et al., 2010). Em troca, os FMA recebem produtos da fotossíntese, como carboidratos e lipídios (Smith e Read, 2008).

Os efeitos desta simbiose podem estar associados ao crescimento vegetativo da planta, à obtenção de nutrientes e ao estabelecimento de mudas, promovendo também efeitos nos processos ecológicos, como a captura e ciclagem de carbono no solo (Martin e van der Heijden, 2024). As respostas causadas nos hospedeiros por diferentes táxons de FMA pode ser heterogênea, dependendo tanto da estratégia de vida quanto do efeito que exercem sobre as plantas.

Considerando a estratégia de vida, os FMA podem ser classificados em competidores, ruderais e tolerantes ao estresse (Chagnon et al., 2013). Representantes de *Gigaspora* são competidores, investindo em maior produção micelial interna e externa, conferindo maior aporte nutricional às plantas e membros de *Acaulospora* são mais tolerantes ao estresse, investindo em maior

aproveitamento do conteúdo de carbono da planta, mas podendo causar menos respostas positivas às plantas.

Devido às respostas positivas causadas na planta, os FMA apresentam grande potencial de utilização na agricultura, como bioestimulantes (Berruti et al., 2016). Testes em plantas de interesse comercial mostraram que os FMA podem impactar positivamente o crescimento e a obtenção de nutrientes, aumentando a produtividade de diversas culturas (Li et al., 2025) e aumentando o conteúdo de clorofila nas folhas, como em algodão (Peng et al., 2024).

Entre as plantas que podem se beneficiar com a utilização de FMA está a mandioca (*Manihot esculenta* Crantz), que apresenta alto valor comercial, com produção mundial de aproximadamente 300 milhões de toneladas em 2023 (FAO, 2025). A mandioca também representa uma importante cultura no Brasil com produção anual de 18 milhões de toneladas de raízes de mandioca em 1,24 milhões de hectares (FAO, 2025).

No Nordeste, a mandioca é amplamente cultivada graças à sua adaptação ao clima local, sendo resistente ao estresse hídrico (De Tafur et al., 1998), o que faz da mandioca fundamental para a alimentação da população e a economia da região. No entanto, apesar de sua adaptabilidade, o cultivo de mandioca enfrenta desafios devido ao efeito das mudanças climáticas (CONAB, 2022), que especialmente, em regiões semiáridas como o Nordeste brasileiro, tem tido grandes impactos na produção devido aos cenários de secas recorrentes (CEPEA, 2023). Portanto, estratégias que aumentem a tolerância das plantas de mandioca às adversidades como forma de ampliar a produtividade devem ser implementadas.

Estudos demonstraram que plantas de mandioca são capazes de formar associação com diferentes táxons de FMA, como *Acaulospora*, *Gigaspora* e *Glomus*, resultando em diferentes respostas dependendo do isolado utilizado (Thanni et al., 2023; Peña et al., 2020; Séry et al., 2016). Em solo com deficiência de fósforo, a associação com FMA mostrou benefícios da simbiose na captação desse nutriente (Cavallari et al., 2021), além de aumentar a biomassa da planta e o aproveitamento do uso da água (Thanni et al., 2023).

Considerando o papel dos FMA na natureza, as respectivas estratégias de vida e possível aplicabilidade, o objetivo deste trabalho foi estudar os efeitos da associação micorrízica em *M. esculenta* sob déficit hídrico, testando as seguintes

hipóteses: (I) *Gigaspora albida*, devido à capacidade de transferência de nutrientes para o hospedeiro, promoverá melhor resposta na mandioca quando comparada com *Acaulospora longula*; (II) as plantas inoculadas apresentarão maior crescimento, altura, número de folhas e teores de pigmentos em comparação ao grupo controle.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 DÉFICIT HÍDRICO NAS PLANTAS

O estresse hídrico ocorre quando a disponibilidade de água no solo não é suficiente para atender às necessidades fisiológicas das plantas, podendo ser causado por períodos prolongados de seca, aumento da temperatura e baixa umidade relativa do ar, afetando tanto o solo quanto o metabolismo vegetal (Farooq et al., 2009). No solo, a redução da umidade afeta diretamente a disponibilidade de nutrientes e a atividade microbiana, além de aumentar a salinidade, compactar e reduzir a porosidade, dificultando o crescimento radicular e a absorção de água e nutrientes (Ma, Dias e Freitas, 2020).

Nas plantas, o déficit hídrico induz alterações morfofisiológicas que impactam diretamente o crescimento e a produtividade, como o fechamento estomático, que reduz a transpiração e, conseqüentemente, a perda de água, porém limita a absorção de CO₂, resultando em menor taxa de fotossíntese e, dessa forma, reduzindo o crescimento vegetal (Seleiman et al., 2021). Além disso, o estresse hídrico pode levar ao aumento da produção de espécies reativas de oxigênio, causando danos oxidativos às células e impactando negativamente o aparato fotossintético (Osakabe et al., 2014). O estresse hídrico também impacta a produção de biomassa e a saúde de sementes, prejudicando a produtividade agrícola (Ma, Dias e Freitas, 2020; Seleiman et al., 2021).

As respostas das plantas ao estresse hídrico variam de acordo com sua capacidade genética de tolerância à seca, onde espécies mais adaptadas a ambientes áridos possuem mecanismos fisiológicos para lidar com a escassez de água, como sistemas radiculares mais profundos, maior eficiência no uso da água e a produção de osmólitos que ajudam na manutenção da turgidez celular (Oliveira et al., 2014). Além disso, estudos demonstram que algumas espécies apresentam maior eficiência fotoprotetora, evitando danos severos ao aparato fotossintético mesmo após longos períodos de estresse (Santos et al., 2009).

Diante dos desafios impostos pelo déficit hídrico, os FMA têm sido amplamente estudados como uma estratégia natural para mitigar os efeitos da seca nas plantas (Dantas et al., 2025). A inoculação com FMA pode ser uma estratégia promissora para cultivos de interesse econômico em regiões sujeitas à seca,

contribuindo para uma maior resiliência da cultura frente às mudanças climáticas (Basu et al., 2018).

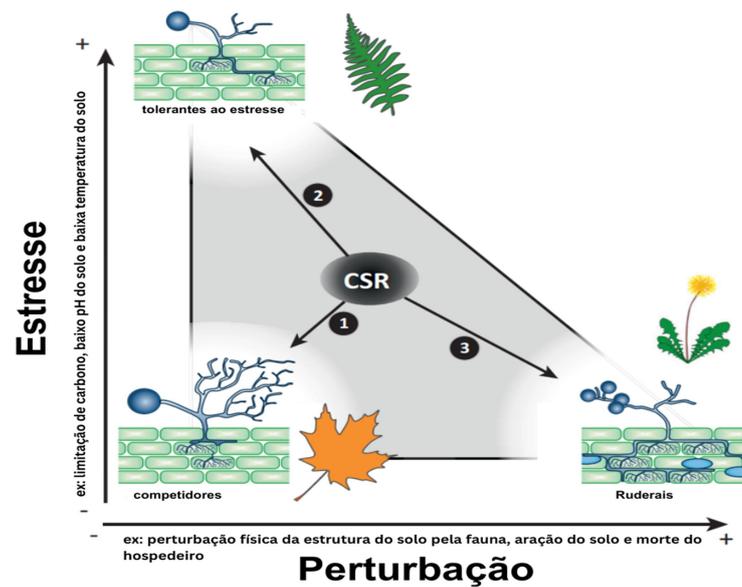
2.2 FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES

Os FMA são biotróficos obrigatórios pertencentes ao filo Glomeromycota, que compreende 15 famílias, 50 gêneros e 371 espécies (Wijayawardene et al., 2024). Esses fungos são caracterizados pelos arbúsculos, estruturas de troca de nutrientes com a planta e pela produção de glomerosporos na reprodução assexuada (Goto e Maia, 2006). Na associação, os FMA proporcionam aumento na área de absorção de nutrientes pelas raízes das plantas, e em troca, as plantas disponibilizam os produtos da fotossíntese e lipídeos para os fungos (Smith e Read, 2008; Keymer et al., 2017).

A origem evolucionária da associação micorrízica data de pelo menos 450 milhões de anos, no período triássico, junto com as primeiras plantas terrestres, sendo uma das mais bem sucedidas associações entre fungos e plantas (Brundrett e Tedersoo, 2018). Os FMA se associam com cerca de 72% das plantas vasculares e apresentam distribuição global, predominando na região tropical (Brundrett e Tedersoo, 2018), onde também é encontrada a maior diversidade de plantas (Myers, 2000). No geral, os FMA apresentam baixa especificidade de hospedeiro e alta tolerância e resiliência, o que permite que sejam encontrados em todos os continentes (Brundrett, 2009).

Em relação aos táxons de FMA, o filo se comporta de forma heterogênea, tanto em relação à estratégia de vida quanto ao efeito em associação com as plantas, podendo ser classificados de acordo com as estratégias de vida em competidores, ruderais e tolerantes ao estresse (Chagnon et al., 2013) (Figura 1). Dentre os gêneros de FMA, *Acaulospora* e *Glomus* são os mais abundantes na natureza (Błaszkowski, 2012).

Figura 1 – Estratégias de vida dos FMA



Fonte: Traduzido de Chagnon et al. (2013).

Táxons de Gigasporaceae seguem um estilo de vida competitivo, investindo mais na produção de micélio externo e na colonização, o que resulta em maior aporte nutricional para o hospedeiro (Chagnon et al., 2013). Representantes de Acaulosporaceae tendem a ser mais tolerantes ao estresse, com maior aproveitamento do conteúdo de carbono da planta, sendo frequentemente encontrados em ambientes adversos, produzindo menos hifas extra radiculares e estruturas dentro da raiz (Noppakatt et al., 2021; Chagnon et al., 2013). Por outro lado, a família Glomeraceae é classificada como ruderal, investindo em crescimento rápido e em maior esporulação como forma de sobrevivência (Chagnon et al., 2013).

A associação micorrízica é essencial na natureza e desempenha diversos serviços ecossistêmicos, uma vez que os FMA são capazes de promover o crescimento da planta e incrementar a obtenção de nutrientes, realizar a captura e ciclagem de carbono no solo, participar na estruturação e agregação do solo, promovendo o estabelecimento de mudas e transferência de nutrientes entre plantas (Martin e Van Der Heijden, 2024). Esses serviços fazem com que os FMA tenham potencial uso na agricultura.

2.2.1 Fungos Micorrízicos Arbusculares na agricultura

Atualmente existe uma demanda por aumentar a sustentabilidade dos cultivos utilizando compostos biológicos para incrementar a produtividade, diminuindo os

impactos do uso de insumos químicos nos agroecossistemas (Martin e Van Der Heijden, 2024). Li et al. (2025) demonstraram, a partir de uma revisão sistemática, que a inoculação com FMA gera aumento na absorção de N e P, maior crescimento e rendimento de diversas culturas, como grãos, cereais e leguminosas, reforçando a importância de estudos que avaliem a influência da inoculação com propágulos micorrízicos em plantas de interesse econômico.

Além de afetar positivamente a nutrição das plantas, a associação micorrízica é capaz de estimular a produção de fitormônios e metabólitos secundários, gerando maior resistência a estresses bióticos e abióticos (Basu et al., 2018; Pedoni-Bonfim et al., 2018). Plantas de tomate colonizadas por FMA tiveram aumento na resistência à doença causada pelo fungo *Botrytis cinerea* (Sanchez-bel et al., 2016), demonstrando o potencial dos FMA como biocontroladores. Além disso, foi demonstrado que os FMA são capazes de auxiliar plantas nativas (Frosi et al. 2016) e cultivadas em situação de estresse hídrico/osmótico (Basu et al., 2018; Dantas et al., 2025) e em solos poluídos com metais pesados (Riaz et al., 2021). Os FMA também são capazes de contribuir com o incremento de clorofila em folhas de algodão, aumentando a sua capacidade fotossintética (Peng et al., 2024).

As respostas das plantas à associação micorrízica não são homogêneas, podendo diferir bastante entre famílias e filos. Diferentes espécies de FMA inoculadas proporcionaram respostas diferentes no nível de clorofila (Peng et al., 2024). Estudos demonstraram que as espécies de FMA também podem variar quanto à eficiência na transferência de nutrientes para o hospedeiro, e as plantas também podem variar quanto à disponibilização de fotossintatos para os fungos, sendo esse equilíbrio entre os simbiossiontes essencial para a estabilidade da associação (van der Heijden et al., 2015). A diferença nas respostas da planta à associação, também está relacionada com a história evolutiva dos FMA, visto que espécies de famílias mais ancestrais, como Archaeosporaceae e Paraglomeraceae, tendem a ser menos benéficas às plantas do que espécies de famílias mais recentes, como Glomeraceae, Entrophosporaceae e Diversisporaceae (Säle et al., 2021).

Embora os FMA não apresentem especificidade de hospedeiro, podendo se associar com todas as plantas micotróficas, existe uma certa preferência na relação

entre espécies vegetais e espécies de FMA, o que pode moldar a forma como a planta vai responder à associação (Cavalcante, Goto e Maia, 2008).

Apesar da importância e do potencial dos FMA na agricultura, a multiplicação de inóculos e a produção em larga escala são fatores que dificultam a ampla utilização desses fungos devido à sua natureza biotrófica obrigatória (Smith e Read, 2008). Portanto, além de focar em como a associação vai gerar respostas positivas nas plantas, é necessário o estudo em novas técnicas de produção de inóculos além de definir critérios de controle de qualidade para a utilização comercial dos FMA (Ijdo et al., 2011).

2.2.2 *Manihot esculenta*

Manihot esculenta pertence à família Euphorbiaceae e é a espécie mais conhecida do gênero; de origem Neotropical, *Manihot* possui 116 espécies registradas no Brasil (Martins et al., 2025). A mandioca desempenha papel nutricional importante através de suas raízes tuberosas compostas predominantemente por água e carboidratos, sendo uma ótima fonte de energia (Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2017). Apesar da composição química da raiz variar de acordo com a variedade, a mandioca apresenta aproximadamente 60% de água, 30% de carboidratos, 2% de minerais, 3% de proteínas, 4% de fibras e 0,5% de lipídios, além de quantidades de carotenoides e ácido cianídrico que variam bastante de acordo com o objetivo de uso da variedade (Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2017)

Plantas de *M. esculenta* possuem raízes tuberosas abundantes que funcionam como reserva de amido, além de apresentarem raízes fibrosas que se desenvolvem a partir do caule subterrâneo (El-Sharkawy, 2003). O caule é lenhoso e segmentado, estando presente de forma ereta e com nós e entrenós bem definidos. Também chamado de maniva, o caule é utilizado para a propagação vegetativa. As folhas têm filotaxia alternada, são lobadas com forma palmada, podendo variar de verde-claro ao verde-escuro dependendo da variedade (Figura 2).

Figura 2 – *Manihot esculenta* A) filotaxia da planta; B) morfologia da folha



Fonte: O autor (2024).

A mandioca serve como alimento, sendo cultivada em mais de 90 países, predominantemente nos países em desenvolvimento da Américas (FAO, 2025) e da Ásia (Takahashi; Gonçalo, 2005). Além do consumo da raiz *in natura* a mandioca pode ser utilizada para produção de farinha, amido e polvilho doce na alimentação (Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2005). O amido ou fécula também pode ser utilizado na indústria de alimentos, farmacêutica, têxtil, na indústria de Compensados de Madeira e na fabricação de papel (Sistema FAEP/SENAR-PR, 2023; Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2005).

A mandioca apresenta diversas variedades cultivadas no Brasil, podendo ser de mesa (utilizados para a alimentação) (Lima, dos Anjos e Santiago, 2015) e para a indústria (Oliveira et al., 2024). Esses cultivares vão variar principalmente na produtividade, no tempo de cozimento e na proporção de amido e ácido cianídrico (Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2017). A escolha de qual mandioca será destinada para consumo é feita através da concentração de ácido cianídrico, sendo seguro o consumo com valores abaixo de 100 mg/kg na polpa fresca; para a mandioca destinada à indústria, é importante que tenha mais amido (Sistema FAEP/SENAR-PR, 2023). Dentre os cultivares, a variedade BRS Kiriris apresenta

resistência à podridão de raiz e alta produtividade, sendo recomendada para uso no semiárido (Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2017).

Com alto valor econômico mundial, o plantio de mandioca ocupa área de 26 milhões de hectares, produzindo em média 292 milhões de toneladas/ano (FAO, 2025). O Brasil ocupa a quinta posição no mundo, com produção anual de 18 milhões de toneladas de raízes de mandioca em 1,24 milhões de hectares. Projeções apontam que a produção deve crescer nos próximos anos, sobretudo em regiões de baixa renda (CONAB, 2023)

A produção de mandioca é extensamente praticada no Nordeste devido à adaptação da planta às condições de clima e solo da região, além de ser amplamente consumida (De Tafur et al., 1998). Além da alimentação, as folhas da mandioca apresentam compostos bioativos resultantes do metabolismo secundário, que são utilizados por populações tradicionais apresentando propriedades medicinais (Sarma et al., 2023).

Devido à sua importância econômica, diversos cultivares de mandioca são produzidos no Brasil, com indicações para uso em diferentes solos e regiões. Entretanto, fatores climáticos dificultam a produção no Brasil e em 2022 as condições climáticas adversas afetaram negativamente o crescimento das plantações de mandioca no país (CONAB, 2022) e o Nordeste, principal região produtora, tem diminuído a participação devido às frequentes secas (CEPEA, 2023).

A mandioca, apesar de ser um cultivo com alta eficiência fotossintética, apresenta diminuição na taxa de fotossíntese quando submetida a estresse hídrico (More et al., 2023) A clorofila é essencial para a conversão de energia luminosa em energia química durante a fotossíntese, sendo fundamental para a produção de energia necessária ao crescimento e desenvolvimento das plantas (Tamiaki e Kichishima, 2024). Para evitar os danos do estresse hídrico causados nas estruturas celulares pelo excesso de energia luminosa e pela produção de espécies reativas de oxigênio, os carotenoides atuam como antioxidantes, dissipando o excesso de energia e protegendo os pigmentos fotossintéticos, como a clorofila, afetando positivamente a produtividade da plantação (Uarrota et al., 2018).

No geral, a mandioca apresenta mecanismos de tolerância ao estresse hídrico, apresentando eficiência no uso da água e em trocas gasosas, favorecendo a fotossíntese (El-Sharkawy, 2003; El-Sharkawy e Cock, 1987). Apesar disso, as

alterações climáticas levam à redução no desenvolvimento e resultam no aumento da incidência e de propagação de pragas e doenças, diminuindo a produtividade (Angelotti e Giongo, 2019). Portanto, para aumentar a produtividade é preciso melhorar a tolerância de plantas de mandioca, utilizando alternativas seguras e sustentáveis (Fathima et al., 2023). Nesse sentido, a produção de alimentos com menor dependência de produtos químicos é necessária e os FMA demonstram grande perspectiva para uma produção mais segura (Wang et al., 2020).

2.2.3 Associação FMA e *Manihot esculenta*

Para que ocorra a associação entre o FMA e a planta é necessário que ocorra um processo complexo de reconhecimento molecular entre as raízes e os fungos, ocorrendo mudanças na indução e produção de metabólitos pelas raízes (Gao et al., 2023). Além disso, as condições edáficas, como disponibilidade de nutrientes, podem influenciar a eficiência da colonização micorrízica (Peña Venegas et al., 2021). Outro fator importante são as interações entre os simbiontes (fungo e planta), bactérias e outros microrganismos do solo que também podem influenciar a associação micorrízica, além da utilização de linhagens de FMA exóticas ou nativas (Lopes et al., 2019; Séry et al., 2016)

As plantas de mandioca possuem raízes grossas e com poucos pelos radiculares, apresentando pouca área de absorção de nutrientes, o que contribui para a dependência da associação micorrízica (Colozzi Filho e Nogueira, 2007). Dessa forma, diversos estudos focam em entender como a inoculação com FMA pode auxiliar o desenvolvimento e a produtividade das plantações de mandioca.

A mandioca é capaz de se associar a diferentes gêneros de FMA, como *Acaulospora*, *Gigaspora* e *Glomus*, resultando em uma grande variedade de respostas, dependendo do inóculo utilizado (Thanni et al., 2023; Peña Venegas et al., 2020; Séry et al., 2016). Thanni et al. (2023) observaram que a inoculação com *Entrophospora etunicata* (= *Claroideoglomus etunicatum*), *Gigaspora margarita* e *Rhizoglomus irregulare* gerou respostas diferentes no aumento da biomassa e na eficiência no uso de água em mandioca. Peña Venegas et al. (2020) demonstraram que isolados de mesma espécie de *Rhizoglomus irregulare* geraram respostas diferentes em mandioca sob estresse.

No geral, a disponibilidade de P no solo é essencial para o estabelecimento da associação micorrízica (Smith e Read, 2008). No entanto, Peña Venegas et al. (2020) demonstram que, para mandioca, os FMA se associam com as plantas independentemente da disponibilidade deste nutriente no solo, contrariando o paradigma da inibição da colonização, em que solos com a disponibilidade recomendada de P tendem a influenciar negativamente a colonização micorrízica. Dessa forma, é possível que outros mecanismos estejam atuando no estabelecimento da associação.

Em trabalho realizado em campo, a inoculação com *Rhizoglyphus irregulare* foi capaz de proporcionar o máximo da produtividade utilizando apenas 66% de fertilizantes fosfatados recomendado, podendo gerar economia na adubação (Aliyu et al., 2019). A inoculação utilizando propágulos nativos de *Acaulospora colombiana* foi capaz de aumentar o rendimento da cultura da mandioca, obtendo melhores resultados quando comparado com um inoculante comercial, reforçando a importância da microbiota local (Séry et al., 2016).

Os FMA também foram capazes de induzir aumento no teor de clorofila, no crescimento e na produtividade em variedades de mandioca (Ghislain et al., 2024). Apesar disso, a resposta das plantas à inoculação pode ser extremamente variável, dependendo da variedade a ser estudada, sendo essa variável, junto com a identidade do fungo e a condição do solo, fatores fundamentais para a eficiência da inoculação, como mostrado por Peña Venegas et al. (2021).

O Brasil é um dos maiores produtores mundiais de mandioca, desenvolvendo diversas variedades adaptadas às condições de cada região do país e que podem ser utilizadas para vários fins (Embrapa, 2025). Apesar disso, estudos abordando as variedades de mandioca em associação com FMA (Balota et al., 1999; Lopes et al., 2019) ainda são incipientes, e abordagens como essas são importantes, considerando que podem indicar alternativas viáveis e mais produtivas para essa cultura.

3 METODOLOGIA

3.1 MULTIPLICAÇÃO DOS GLOMEROSPOROS

Inóculos de *G. albida* (URM-FMA 11) e *A. longula* (URM-FMA 07) foram produzidos a partir de culturas disponibilizadas pelo Banco de Inóculos do Laboratório de Micorrizas do Departamento de Micologia da Universidade Federal de Pernambuco. No bioensaio para multiplicação utilizou-se solo-inóculo contendo aproximadamente 500 esporos de cada isolado, inseridos em vasos de cultivo de 2 kg contendo o substrato (solo autoclavado e areia lavada na proporção de 1:1) e utilizando sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench), milho (*Zea mays* L.) e amendoim (*Arachis hypogaea* L.) como hospedeiros nos mesmos vasos. O solo utilizado, do tipo Latossolo Amarelo Distrófico Argissólico, foi coletado no Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA) em Recife, apresentando as seguintes características: pH = 5,4; P = 4 mg dm⁻³; K = 0,04 cmolc dm⁻³, Ca = 0,7 cmolc dm⁻³, Mg = 0,5 cmolc dm⁻³, Na = 0,02 cmolc dm⁻³, Al = 0,7 cmolc dm⁻³ e CTC = 7,3 cmolc dm⁻³.

Figura 3 – Bioensaio para multiplicação de glomerosporos de *Acaulospora longula* e *Gigaspora albida*

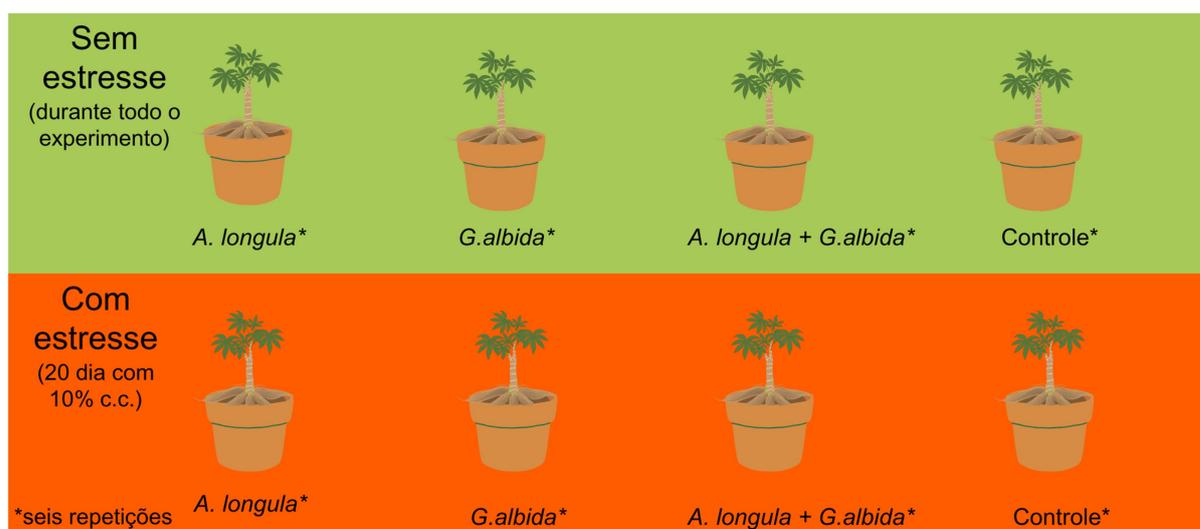


Fonte: O autor (2023).

No total foram utilizados 10 potes, sendo cinco para cada isolado de FMA (*G. albida* e *A. longula*). Os vasos foram mantidos em casa de vegetação do Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA) por um período de quatro meses, com regas em dias alternados. Quinze dias antes do término do período, as regas foram suspensas, proporcionando estresse hídrico para estimular a esporulação e, após o fim do ciclo, foi realizada a extração de glomerosporos pelas técnicas de peneiramento úmido (Gerdemann e Nicolson, 1963) seguida de centrifugação em água e sacarose (Jenkins, 1964). A contagem dos glomerosporos de cada espécie, feita em placa canaletada com auxílio de estereomicroscópio (40x), foi utilizada para o cálculo da quantidade de solo-inóculo a ser utilizada.

3.2 MONTAGEM E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

Figura 4 – Delineamento experimental



Fonte: O autor (2025).

Para avaliar a influência da inoculação com *G. albida* e *A. longula* sobre o crescimento de mudas de *Manihot esculenta*, foi montado experimento com delineamento inteiramente casualizado, utilizando dois tratamentos de estresse hídrico: a) sem estresse = plantas regadas com 75% da capacidade de campo; b) com estresse = regadas com 10% da capacidade de campo; quatro tratamentos de inoculação: (a) controle não inoculado; (b) inoculado com *G. albida*; (c) inoculado com *A. longula*; (d) inoculado com *A. longula + G. albida*, com seis repetições,

totalizando 48 unidades experimentais. O experimento foi mantido na casa de vegetação do IPA (Figura 4).

3.3 INOCULAÇÃO DAS MANIVAS

Manivas da variedade BRS Kiriris, disponibilizadas pelo IPA, foram plantadas em vasos de cultivo contendo solo e areia lavada autoclavados (1:1) e receberam regas diárias por 21 dias até o surgimento de raízes. Após esse período, as mudas receberam solo-inóculo contendo 300 esporos de cada espécie (*G. albida* e *A. longula*). As plantas foram mantidas em casa de vegetação por 60 dias no IPA - REC para estabelecimento da associação micorrízica. Os vasos foram pesados diariamente (e regados quando necessário), com o objetivo de manter a capacidade de campo em 75%. Trinta dias após o plantio e quinzenalmente, foram adicionados 10 ml de solução nutritiva de Hoagland (Hoagland e Arnon, 1950 modificada sem fósforo) em cada um dos potes. Após esse período, as plantas foram submetidas ao estresse hídrico por 20 dias.

Figura 5 – Mudanças de mandioca em experimento na casa de vegetação do IPA



Fonte: O autor (2024).

3.4 AVALIAÇÃO DA COLONIZAÇÃO MICORRÍZICA

Ao final do experimento, as raízes coletadas foram separadas, lavadas, diafanizadas em KOH (10%), clarificadas em H₂O₂ P.A. (35%) e coradas com azul de Trypan (0,05%) de acordo com o método de Phillips e Hayman (1970, modificado sem a acidificação). O percentual de colonização foi estimado pela técnica da lâmina, com observação ao microscópio de 100 fragmentos de raízes de aproximadamente 1 cm (Giovanetti e Mosse, 1980). Foi considerado colonizado o fragmento de raiz que apresentou uma ou mais estruturas características dos FMA (arbúsculos, vesículas e/ou glomerosporos).

3.5 AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS DA PLANTA

3.5.1 Medidas de Crescimento

Ao final do experimento, foram medidas a altura, o número de folhas por caule brotado das mudas e o diâmetro do caule. A altura das plantas foi medida com o auxílio de uma régua. O diâmetro do caule foi feito a nível do solo com o auxílio de um paquímetro digital. As folhas quantificadas foram coletadas para posterior análises.

3.5.2 Quantificação de nutrientes (NPK)

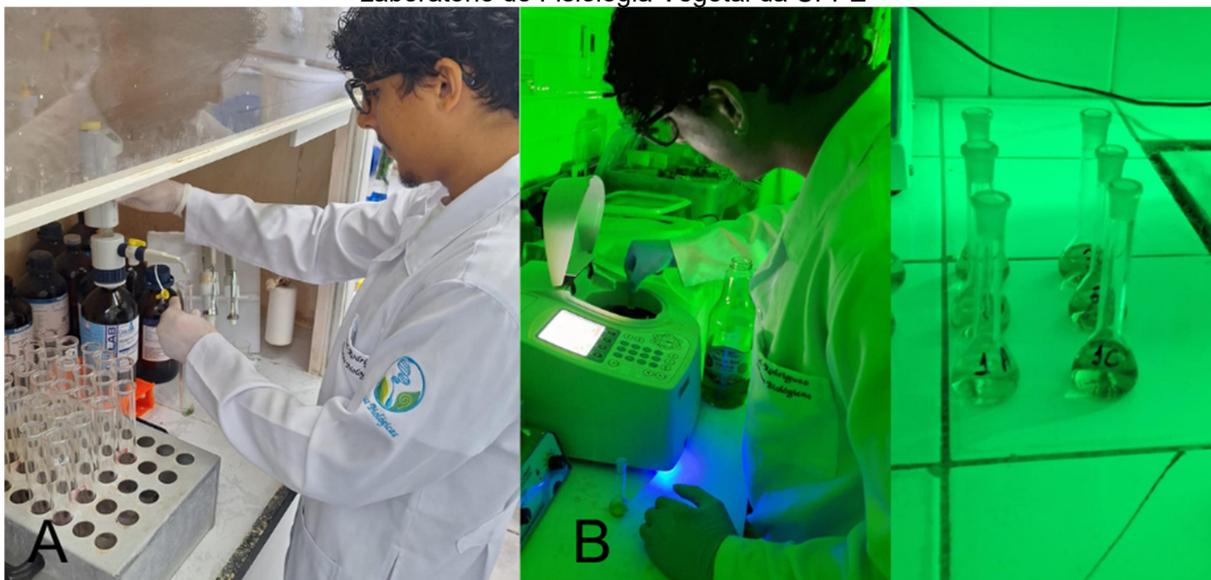
Para avaliar as concentrações de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K), 250 mg de cada folha seca foram macerados para reduzir o tamanho das partículas e digeridos a 350°C usando ácido sulfúrico (H₂SO₄) e peróxido de hidrogênio (H₂O₂) para obtenção do extrato da planta (Thomas et al., 1967) (Figura 5). Para avaliar as concentrações de P, o extrato foi analisado utilizando um espectrofotômetro, seguindo o protocolo descrito por Murphy e Ryley (1962). As concentrações de K foram avaliadas usando fotômetro de chama a partir do mesmo extrato da planta. As concentrações de N foram estabelecidas utilizando 20 mL do extrato digerido, no qual ácido bórico é adicionado e submetido a destilação seguido de titulação utilizando HCl (Thomas et al., 1967).

3.5.3 Quantificação de pigmentos fotossintéticos

Os teores de pigmentos nas folhas (clorofila *a*, clorofila *b*, clorofila total, razão *a/b* e carotenoides) foram avaliados seguindo o protocolo adaptado de Lichtenthaler (1987), que consiste na coleta de 50 mg de massa fresca das folhas e a extração de

pigmentos fotossintéticos com acetona a 80% (v/v) (Figura 5). Clorofila *a* e *b* e carotenoides foram quantificados em espectrofotômetro pela análise da absorvância em comprimento de onda de 664, 646 e 470 nm, respectivamente.

Figura 6 – Realização das avaliações de: A) nutrientes da folha e B) pigmentos da folha no Laboratório de Fisiologia Vegetal da UFPE



Fonte: O autor (2024).

3.6 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

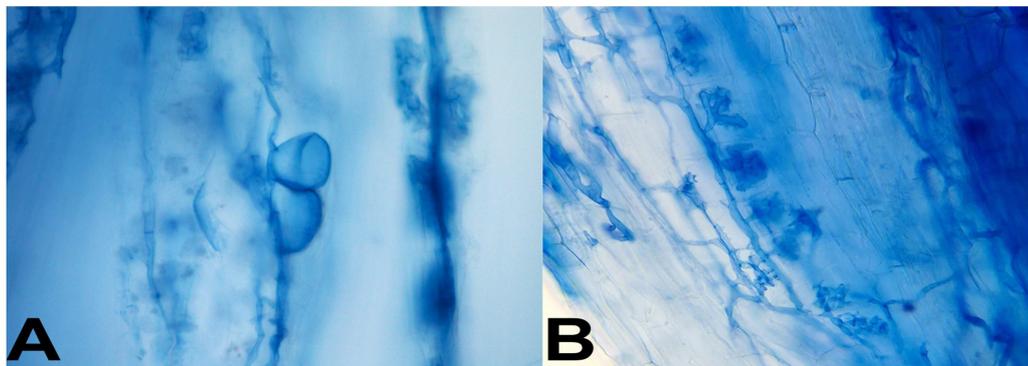
Os valores de crescimento, nutrientes e colonização foram testados quanto à normalidade utilizando o teste de Shapiro-Wilk e quanto à homogeneidade de variância pelo teste de Bartlett, submetidos à análise de variância (ANOVA) ou ao teste de Kruskal-Wallis e as médias comparadas pelo teste de Tukey ($p \leq 5\%$). As análises estatísticas foram conduzidas com auxílio do R (Team R Core, 2021).

4 RESULTADOS

4.1 COLONIZAÇÃO MICORRÍZICA

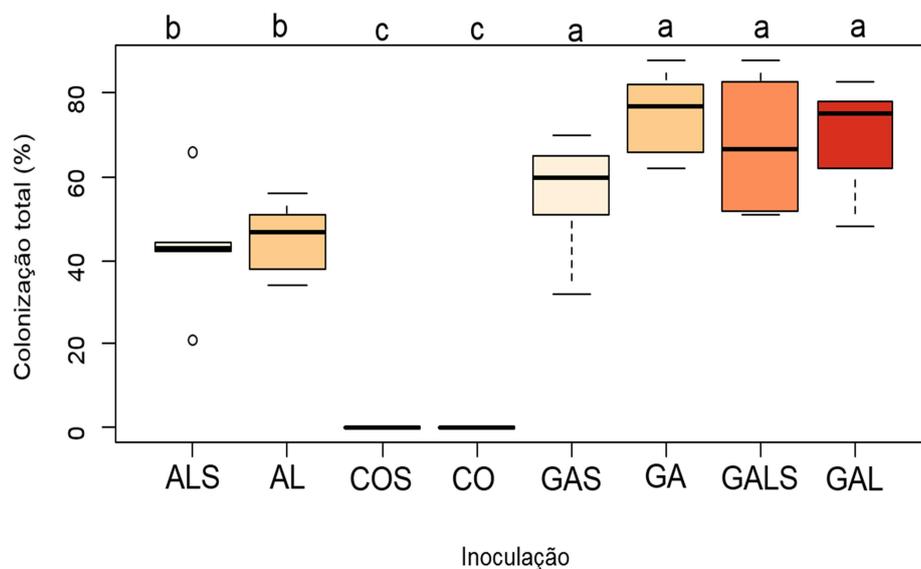
Maiores percentuais de colonização (>60%) foram registrados nos tratamentos com *G. albida* de forma isolada e em consórcio com *A. longula*, quando comparados aos demais tratamentos. Além disso, a colonização micorrízica não diferiu entre os tratamentos com e sem estresse hídrico (Figuras 7 e 8).

Figura 7 – Colonização micorrízica em raízes de mandioca. A) vesículas e B) arbúsculos



Fonte: O autor (2024).

Figura 8 – Colonização micorrízica em plantas de mandioca inoculadas com *Gigaspora albida* (GA), *Acaulospora longula* (AL) e a combinação (GA e AL) com ou sem estresse hídrico



ALS - *A. longula* com estresse; AL - *A. longula* sem estresse; COS - Controle com estresse; CO - Controle sem estresse; GAS - *G. albida* com estresse; GA - *G. albida* sem estresse; GALS - *G. albida* + *A. longula* com estresse; GAL - *G. albida* + *A. longula* sem estresse. Letras minúsculas indicam comparações entre as diferentes inoculações. Valores seguidos pela mesma letra não diferem significativamente entre si ($p > 0,05$). Fonte: O autor (2025).

4.2 PARÂMETROS DA MANDIOCA

Em geral, o estresse hídrico diminuiu o número de folhas em relação às plantas irrigadas (Tabela 1); no entanto, as inoculadas com *G. albida* apresentaram maior número de folhas quando comparadas às sem inoculação (controle). Não houve diferença em relação à inoculação e ao estresse hídrico para o diâmetro e a altura do caule (Tabela 1), com exceção das plantas inoculadas com *A. longula* sob estresse hídrico, que apresentaram maior altura quando comparadas às sem estresse. Com exceção do potássio, que não diferiu entre os tratamentos (inoculação e estresse), foi observado que o estresse hídrico reduziu os teores de nutrientes (N e P) na folha, independente da inoculação.

Tabela 1 – Valores de nutrientes e crescimento das plantas de mandioca inoculadas com *Gigaspora albida* (GA), *Acaulospora longula* (AL) e a combinação (GA e AL) com ou sem estresse hídrico

Tratamentos	N (g.g ⁻¹)	P (mg.g ⁻¹)	K (mg.g ⁻¹)	Nº de folhas	Diâmetro do caule (mm)	Altura (mm)
AL	0,008 aA	802,8 aA	30844 ns	3 abA	3,16 ns	15,77 aB
ALS	0,007 aB	716,9 aB	23375	2 abB	4,09	24,57 aA
CO	0,008 aA	720,2 aA	26436	2 bA	3,45	17,52 aA
COS	0,007 aB	722,3 aA	19855	1 bB	4,14	21,65 aA
GA	0,008 aA	814,8 aA	27885	3 aA	3,78	20,24 aA
GAS	0,007 aB	750,0 aB	26950	2 aB	3,43	18,03 aA
GAL	0,008 aA	944,0 aA	28512	3 abA	3,44	15,26 aA
GALS	0,007aB	744,0 aB	29590	1 abB	3,84	19,28 aA

AL - *A. longula* sem estresse; ALS - *A. longula* com estresse; CO - Controle sem estresse; COS - Controle com estresse; GA- *G. albida* sem estresse; GAS - *G. albida* com estresse; GAL- *G. albida* + *A. longula* sem estresse; GALS - *G. albida* + *A. longula* com estresse. N - Nitrogênio; P - Fósforo; K- Potássio. Letras maiúsculas indicam comparações do estresse dentro de cada tratamento de inoculação, enquanto letras minúsculas indicam comparações entre as inoculações. Valores seguidos pela mesma letra não diferem significativamente entre si ($p > 0,05$). Fonte: o autor (2025).

Dentro de cada tratamento de inoculação, o estresse hídrico reduziu o teor de clorofila a, exceto para o controle, sendo este maior sob estresse hídrico. Não foram observadas diferenças significativas nos teores de clorofila b, na razão clorofila a/b e na clorofila total entre os tratamentos, tanto em função da inoculação quanto do

estresse hídrico. Para os carotenoides, o estresse não influenciou os diferentes tratamentos de inoculação; no entanto, as plantas inoculadas com *A. longula* apresentaram maior concentração de carotenoides quando comparadas às com *G. albida* (Tabela 2).

Tabela 2 – Teores de pigmentos nas folhas de mandioca inoculadas com *Gigaspora albida* (GA), *Acaulospora longula* (AL) e a combinação (GA e AL) com ou sem estresse hídrico

Tratamentos	Clorofila a (g.kg-1MF)	Clorofila b (g.kg-1MF)	Razão a/b (g.kg-1MF)	Clorofila Total (g.kg-1MF)	Carotenoides (g.kg-1MF)
AL	2,312 aA	0,795	2,918	3,107	0,508 aA
ALS	1,945 aB	0,728	2,689	2,673	0,611 aA
GA	2,019 aA	0,679	2,999	2,698	0,431 bA
GAS	1,669 aB	0,582	2,877	2,251	0,444 bA
GAL	2,200 aA	0,766	2,888	2,966	0,504 abA
GALS	1,770 aB	0,547	4,453	2,317	0,500 abA
CO	1,836 aB	0,619	2,971	2,454	0,460 abA
COS	2,209 aA	0,644	3,911	2,853	0,517 abA

AL - *A. longula* sem estresse; ALS - *A. longula* com estresse; GA - *G. albida* sem estresse; GAS - *G. albida* com estresse; GAL - *G. albida* + *A. longula* sem estresse; GALS - *G. albida* + *A. longula* com estresse; CO - Controle sem estresse; COS - Controle com estresse. Letras maiúsculas comparam o estresse dentro de cada inoculação, enquanto letras minúsculas comparam entre os tratamentos de inoculação. Valores seguidos pela mesma letra não diferem significativamente entre si ($p > 0,05$). Fonte: o autor (2025).

5 DISCUSSÃO

Os resultados demonstram a capacidade micotrófica da *M. esculenta*, e sua propensão para formar associações com diferentes espécies de FMA. Os resultados deste trabalho corroboram os de Thanni et al. (2023), os quais observaram comportamento semelhante em relação à mandioca em associação com *Entrophospora etunicata* (= *Claroideoglomus etunicatum*), *Gigaspora margarita* e *Rhizoglomus irregulare*. De acordo com Savary et al. (2020), o percentual de colonização observado nas plantas de mandioca demonstra uma forte correlação com a filogenia dos FMA, isto é, isolados filogeneticamente diversos diferem na capacidade de colonização.

Nesse contexto, o maior percentual de colonização observado neste estudo para *G. albida* pode estar relacionado à filogenia, uma vez que *Gigaspora* é um gênero mais recente que *Acaulospora*, bem como à estratégia de vida desta espécie e à tendência da planta em estabelecer simbiose com uma espécie que ofereça benefícios mais significativos. *Gigaspora albida* pertence à Gigasporaceae, família que apresenta comportamento competitivo, sendo mais eficiente na captação de nutrientes do solo e transferência para o hospedeiro do que espécies de *Acaulospora*, que são mais tolerantes a estresses (Chagnon et al., 2013). Esses fatores sustentam nossa primeira hipótese, sugerindo que a inoculação com *G. albida* confere maior benefício às plantas de mandioca em relação a *A. longula*.

Apesar do estabelecimento da simbiose, a inoculação não influenciou a concentração de macronutrientes (N, P e K) nas folhas. No entanto, sob estresse hídrico, houve redução nos teores de N e P, o que pode ter comprometido a fotossíntese, visto que o nitrogênio é um elemento fundamental da clorofila (Tamiaki e Kichishima, 2024; Mafakheri et al., 2010). Essa redução pode estar relacionada à diminuição dos níveis de clorofila *a* e do número de folhas observados neste estudo, além de estar em concordância com resultados de outros trabalhos que relatam efeitos semelhantes em cultivos de interesse econômico sob déficit hídrico (Mafakheri et al., 2010). No entanto, a resposta da planta micorrizada em relação aos pigmentos fotossintéticos pode ser bem variável para *M. esculenta*; enquanto alguns trabalhos não identificaram benefícios da inoculação nos teores de pigmentos

(Gao et al., 2023), outros demonstraram aumento em função da inoculação em variedades específicas de mandioca (Ghislain et al., 2024).

Diferentemente da clorofila *a*, relacionada com o aumento da taxa fotossintética, os carotenoides apresentam papel na fotoproteção e na mitigação do estresse oxidativo (Uarrotta et al., 2018). Possivelmente um aumento no teor de carotenoides em plantas inoculadas com *A. longula* quando comparadas às associadas com *G. albida* pode estar relacionado à estratégia fisiológica da mandioca em lidar com os custos da simbiose. De acordo com Bennett e Groten (2022), o balanço entre custo ou benefício da associação pode estar relacionado à compatibilidade genética e ao ambiente, uma vez que o fungo atua como dreno de carbono. Espécies de *Acaulospora* são tolerantes ao estresse, mas transferem menos recursos do que as espécies de *Gigaspora* (Chagnon et al., 2013). Dessa forma, menor eficiência simbiótica em plantas de mandioca colonizadas por *A. longula* pode intensificar o estresse hídrico, levando ao aumento na produção de carotenoides como mecanismo de defesa contra o estresse oxidativo.

Diversos trabalhos abordam a diminuição do número de folhas e da área foliar em *M. esculenta* sob estresse hídrico (Pinheiro et al., 2014; Fiuza, 2010; Shan et al., 2018) e esse processo pode estar relacionado a uma das estratégias de sobrevivência da planta para minimizar a perda de água por transpiração (Volaire, 2018). Além disso, o P, que é essencial para a transferência de energia, quando em deficiência no solo pode não apenas contribuir para redução do número de folhas, mas também limitar o desenvolvimento radicular, fator não avaliado neste estudo, mas que também pode ter sofrido os efeitos do estresse (Taiz et al., 2017; Mattos, Farias e Ferreira Filho, 2013). Sendo assim, a baixa disponibilidade de P no solo (4 mg dm^{-3}) possivelmente influenciou a transferência desse nutriente para a planta, afetando a eficiência da associação micorrízica. Ou seja, a eficiência da associação micorrízica depende não apenas da identidade dos fungos, mas também das condições edáficas, conforme demonstrado por Peña Venegas et al. (2021).

Com base nos parâmetros avaliados, apenas a inoculação com *G. albida* teve um efeito positivo nas plantas, resultando em maior número de folhas em relação ao grupo controle com e sem estresse. Embora um aumento em número de folhas ainda não tenha sido descrito, a influência da micorrização na morfologia da planta, no crescimento da parte aérea e do sistema radicular foi mencionada na associação

entre diversos táxons de FMA e variedades de mandioca (Ghislain et al., 2024), bem como na associação com *Gigaspora margarita* (Thanni et al., 2023).

Contrariando parcialmente nossa segunda hipótese, a inoculação com *G. albida* e *A. longula* em geral não teve efeitos significativos nos parâmetros de crescimento (altura e diâmetro do caule) das plantas sob estresse. Shan et al. (2018) observaram que os efeitos negativos do estresse hídrico sobre o crescimento da mandioca só foram observados após cinco meses de experimento, sugerindo que um período maior de estresse hídrico permite observar os efeitos da inoculação micorrízica em condições de estresse. Os resultados reforçam a necessidade de estudos que continuem avaliando os efeitos da associação micorrízica em mandioca para mitigar os efeitos da escassez hídrica.

6 CONCLUSÕES

Este estudo demonstrou uma alta colonização micorrízica em mandioca, confirmando que essa planta é micotrófica, evidenciando impactos positivos no número de folhas e reforçando a importância da inoculação em plantas de interesse econômico. Os efeitos esperados da micorrização sobre o crescimento em condições de estresse hídrico não foram claramente observados. Por outro lado, foram notados efeitos negativos do estresse na variedade de mandioca estudada, independente dos tratamentos de inoculação, em relação à concentração de nutrientes e teores de pigmentos nas folhas, reforçando a necessidade de estudos da associação micorrízica em plantas de mandioca.

Fatores como o tempo de plantio e as condições do solo, como disponibilidade de nutrientes, podem ter influenciado os resultados, sugerindo a necessidade de novos estudos que avaliem esses fatores, utilizando também outras variedades de mandioca, períodos mais longos de cultivo e a produtividade em campo. Este trabalho e pesquisas futuras sobre a associação micorrízica em plantas de mandioca, contribuirão para otimizar o crescimento e o rendimento dessa cultura.

REFERÊNCIAS

- ALIYU, A. et al. Effect of co-application of phosphorus fertilizer and in vitro-produced mycorrhizal fungal inoculants on yield and leaf nutrient concentration of cassava. *PLoS One*, v. 14, n. 6, p. e0218969, 2019.
- ANGELOTTI, F.; GIONGO, V. Ações de mitigação e adaptação frente às mudanças climáticas. In: MELO, R.F.; VOLTOLINI, T.V. (Eds.) *Agricultura familiar dependente de chuva no Semiárido*, Brasília, DF. Embrapa, 2019. p. 445-467.
- BALOTA, E. L.; LOPES, E. S.; HUNGRIA, M.; DÖBEREINER, J. Ocorrência de bactérias diazotróficas e fungos micorrízicos arbusculares na cultura da mandioca. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 34, p. 1265-1276, 1999.
- BASU, S.; RABARA, R. C.; NEGI, S. AMF: The future prospect for sustainable agriculture. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, v. 102, p. 36-45, 2018.
- BENNETT, A. E.; GROTEN, K. The costs and benefits of plant–arbuscular mycorrhizal fungal interactions. *Annual Review of Plant Biology*, v. 73, n. 1, p. 649-672, 2022.
- BERRUTI, A.; LUMINI, E.; BALESTRINI, R.; BIANCIOTTO, V. Arbuscular mycorrhizal fungi as natural biofertilizers: let's benefit from past successes. *Frontiers in Microbiology*, v. 6, p. 1559, 2016.
- BŁASZKOWSKI, J. *Glomeromycota*. Kraków: W. Szafer Institute of Botany, Polish Academy of Sciences, 2012.
- BRUNDRETT, M. C.; TEDERSOO, L. Evolutionary history of mycorrhizal symbioses and global host plant diversity. *New Phytologist*, v. 220, n. 4, p. 1108-1115, 2018.
- BRUNDRETT, M. C. Mycorrhizal associations and other means of nutrition of vascular plants: understanding the global diversity of host plants by resolving conflicting information and developing reliable means of diagnosis. *Plant and Soil*, v. 320, n. 1-2, p. 37-77, 2009.
- CAVALCANTE, U. M. T.; GOTO, B. T.; MAIA, L. C. Aspectos da simbiose micorrízica arbuscular. *Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agronômica*, v. 5, p. 180-208, 2008.
- CAVALLARI, L. G.; ZOTARELLI, L.; WARMLING, M. T.; ALMEIDA, J. A.; SOUZA, R. S. Growth and phosphorus uptake by cassava in P-deficient soil in response to mycorrhizal inoculation. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 45, p. e0210060, 2021.
- CEPEA – Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada. Departamento de Economia, Administração e Sociologia. Informativo CEPEA: Análise econômica semanal - Mandioca, 2023. Disponível em: <https://www.cepea.esalq.usp.br/br>. Acesso em: 28 fev. 2025.

CHAGNON, P.; BRADLEY, R.; MAHERALI, H; KLIRONOMOS, J. A trait-based framework to understand life history of mycorrhizal fungi. *Trends in Plant Science*, v. 18, n. 9, p. 484-491, 2013.

COLOZZI FILHO, A.; NOGUEIRA, M. A. Micorrizas arbusculares em plantas tropicais: café, mandioca e cana-de-açúcar. In: SILVEIRA, A.; FREITAS, S. (Eds.) *Microbiota do solo e qualidade ambiental*. Instituto Agronômico Campinas (SP), 2007

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Análise do mercado de mandioca – histórico mensal. Brasília, DF: CONAB, 2022. Disponível em: https://www.conab.gov.br/info-agro/analises-do-mercado-agropecuário-e-extrativista/analises-do-mercado/historico-mensal-de-mandioca/item/download/46463_d154b28e64014fefb6c7090eee2cc2a9. Acesso em: 16 fev. 2025.

DANTAS, L. V. D. A.; SILVA, R. L. D. O.; SIMÕES, W. L.; YANO-MELO, A. M.; MELO, N. F. D. Mycorrhizal Symbiosis and Water Deficit: Morphophysiological and Gene Expression Responses in Caatinga Passion Fruit. *Stresses*, v. 5, n. 1, p. 18, 2025.

LIMA, C. L. C. de; ANJOS, E. U. dos; SANTIAGO, A. D. Avaliação de variedades de mandioca tipo mesa. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MANDIOCA, 16.; CONGRESSO LATINO-AMERICANO E CARIBENHO DE MANDIOCA, 2015, Foz do Iguaçu. Anais... Foz do Iguaçu: SBM, 2015.

OLIVEIRA, L. A.; SANTOS, V.S.; RANGEL, M.A.S.; JESUS NETA, P.; RINGENBERG, R.; JESUS, J. L.; LEDO, C. A. S. Desempenho de genótipos de mandioca promissores para a indústria e caracterização do amido. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2024.

DE TAFUR, S. M.; EL-SHARKAWY, M. A.; CADAVID, L. F. Response of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) to water stress and fertilization. *Photosynthetica*, v. 34, n. 2, p. 233-239, 1998.

DJAVAN. Farinha. In: DJAVAN. Milagreiro [Gravação de som]. Rio de Janeiro: Epic Records, 2001.

EL-SHARKAWY, M. A. Cassava Biology and Physiology. *Plant Molecular Biology*, v. 53, p. 621-641, 2003.

EL-SHARKAWY, M. A.; COCK, J. H. Response of cassava to water stress. *Plant and Soil*, v. 100, n. 1-3, p. 345-360, 1987.

EMBRAPA. Cultivares de mandioca. Disponível em: <https://www.embrapa.br/cultivar/mandioca>. Acesso em: 28 fev. 2025.

EMBRAPA MANDIOCA E FRUTICULTURA. BRS Kiriris: variedade de mandioca industrial recomendada para as microrregiões de Valença, Jequié e Santo Antônio de Jesus, BA. Embrapa, 2017.

EMBRAPA MANDIOCA E FRUTICULTURA. Características físico-químicas e aceitação sensorial de genótipos de mandioca de mesa no Estado do Pará. Cruz das Almas: Embrapa, 2017. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1094732/1/BOLETIMPESQUISA125OnLine.pdf>. Acesso em: 16 fev. 2025.

EMBRAPA MANDIOCA E FRUTICULTURA. Processamento e industrialização da mandioca. Cruz das Almas: Embrapa, 2005. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/406983/1/ComTec80.pdf>. Acesso em: 16 fev. 2025.

FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. FAOSTAT. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#home>. Acesso em: 28 fev. 2025.

FAROOQ, M. et al. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. In: Sustainable agriculture. Dordrecht: Springer Netherlands, 2009. p. 153-188.

FATHIMA, A.; SANITHA, M.; TRIPATHI, L.; MUIRURI, S. Cassava (*Manihot esculenta*) dual use for food and bioenergy: A review. Food and Energy Security, v. 12, n. 1, p. e380, 2023.

FIUZA, D. Identificação de características agronômicas e fisiológicas relacionadas com a tolerância à seca em mandioca. 2010.

FROSI, G. et al. Symbiosis with AMF and leaf Pi supply increases water deficit tolerance of woody species from seasonal dry tropical forest. Journal of Plant Physiology, v. 207, p. 84-93, 2016.

GAO, Y. et al. Analysis of the molecular and biochemical mechanisms involved in the symbiotic relationship between Arbuscular mycorrhiza fungi and *Manihot esculenta* Crantz. Frontiers in Plant Science, v. 14, p. 1130924, 2023.

GERDEMANN, J. W.; NICOLSON, T. H. Spores of mycorrhizal *Endogone* species extracted from soil by wet sieving & decanting. Transactions of the British Mycological Society, v. 46, n. 2, p. 235-244, 1963.

GHISLAIN, M. M. G. et al. Growth, profitability, nutritional, and anti-nutritional properties of seven *Manihot esculenta* Crantz (cassava) varieties as affected by arbuscular mycorrhizal fungi. Heliyon, v. 10, n. 17, 2024.

GIANINAZZI, S. et al. Agroecology: the key role of arbuscular mycorrhizas in ecosystem services. Mycorrhiza, v. 20, n. 8, p. 519-530, 2010.

GIOVANNETTI, M.; MOSSE, B. An evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscular mycorrhizal infection in roots. New Phytologist, v. 84, n. 3, p. 489-500, 1980.

GOTO, B. T.; MAIA, L. C. Glomerospores: a new denomination for the spores of Glomeromycota, a group molecularly distinct from the Zygomycota. *Mycotaxon*, v. 96, n. 4, p. 129-132, 2006.

HOAGLAND, D. R.; ARNON, D. I. The water-culture method for growing plants without soil. Washington, D.C.: Smithsonian Institution, 1938.

IJDO, M.; CRANENBROUCK, S.; DECLERCK, S. Methods for large-scale production of AM fungi: past, present, and future. *Mycorrhiza*, v. 21, p. 1-16, 2011.

JENKINS, W. R. A rapid centrifugal-flotation technique for separating nematodes from soil. *Plant Disease Reporter*, v. 48, p. 692, 1964.

KEYMER, A. et al. Lipid transfer from plants to arbuscular mycorrhiza fungi. *elife*, v. 6, p. e29107, 2017.

LI, X. et al. Inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi in the field promotes plant colonization rate and yield. *European Journal of Agronomy*, v. 164, p. 127503, 2025.

LICHTENTHALER, H. K. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. In: *Methods in Enzymology*. Academic Press, p. 350-382, 1987.

LOPES, E. A. P. et al. Co-inoculation of growth promoting bacteria and *Glomus clarum* in micropropagated cassava plants. *Revista Caatinga*, v. 32, n. 01, p. 152-166, 2019.

MA, Y.; DIAS, M. C.; FREITAS, H. Drought and salinity stress responses and microbe-induced tolerance in plants. *Frontiers in plant science*, v. 11, p. 591911, 2020.

MAFAKHERI, A.; SIOSEMARDEH, A.; BAHRAMNEJAD, B.; STRUIK, P. C.; SOHRABI, Y. Effect of drought stress on yield, proline and chlorophyll contents in three chickpea cultivars. *Australian Journal of Crop Science*, v. 4, n. 8, p. 580-585, 2010.

MARTIN, F. M.; VAN DER HEIJDEN, M. G. A. The mycorrhizal symbiosis: research frontiers in genomics, ecology, and agricultural application. *New Phytologist*, v. 242, n. 4, p. 1486-1506, 2024.

MARTINS, M.L.L.; ORLANDINI, P.; MENDOZA F., J.M.; SILVEIRA, T.C. *Manihot* in Flora e Funga do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <<https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB17591>>. Acesso em: 09 mar. 2025

MATTOS, P.; FARIAS, A.; FERREIRA FILHO, J. Mandioca: O produtor pergunta, a Embrapa responde. 2013.

MORAES CAMPOS, A. J.; SANTOS, S. M.; NACARATH, I. R. F. Estresse hídrico em plantas: uma revisão. *Research, Society and Development*, v. 10, n. 15, p. e311101523155, 2021.

MORE, S. J. et al. Morphophysiological responses and tolerance mechanisms in cassava (*Manihot esculenta* Crantz) under drought stress. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, v. 23, n. 1, p. 71-91, 2023.

MURPHY, J.; RILEY, J. P. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Analytica Chimica Acta*, v. 27, p. 31-36, 1962.

MYERS, N.; MITTERMEIER, R. A.; MITTERMEIER, C. G.; DA FONSECA, G. A. B.; KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, v. 403, n. 6772, p. 853-858, 2000.

NOPPHAKAT, K.; RUNSAENG, P.; KLINNAWEE, L. Acaulospora as the dominant arbuscular mycorrhizal fungi in organic lowland rice paddies improves phosphorus availability in soils. *Sustainability*, v. 14, n. 1, p. 31, 2021.

OLIVEIRA, M. T. et al. Stress tolerance and ecophysiological ability of an invader and a native species in a seasonally dry tropical forest. *PLoS One*, v. 9, n. 8, p. e105514, 2014.

OSAKABE, Y. et al. Response of plants to water stress. *Frontiers in plant science*, v. 5, p. 86, 2014.

PEDONE-BONFIM, M. V. L.; DA SILVA, D. K. A.; MAIA, L. C.; YANO-MELO, A. M. Mycorrhizal benefits on native plants of the Caatinga, a Brazilian dry tropical forest. *Symbiosis*, v. 74, p. 79-88, 2018.

PEÑA VENEGAS, R. et al. Genetically different isolates of the arbuscular mycorrhizal fungus *Rhizophagus irregularis* induce differential responses to stress in cassava. *Frontiers in Plant Science*, v. 11, p. 596929, 2020.

PEÑA VENEGAS, R. et al. The phosphate inhibition paradigm: host and fungal genotypes determine arbuscular mycorrhizal fungal colonization and responsiveness to inoculation in cassava with increasing phosphorus supply. *Frontiers in Plant Science*, v. 12, p. 693037, 2021.

PENG, Z.; ZULFIQAR, T.; YANG, H.; WANG, M.; ZHANG, F. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) on photosynthetic characteristics of cotton seedlings under saline-alkali stress. *Scientific Reports*, v. 14, n. 1, p. 8633, 2024.

PHILLIPS, J. M.; HAYMAN, D. S. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Transactions of the British Mycological Society*, v. 55, n. 1, p. 158-IN18, 1970.

PINHEIRO, D. G. et al. Limite crítico no solo para transpiração e crescimento foliar em mandioca em dois períodos com deficiência hídrica. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 38, p. 1740-1749, 2014.

RIAZ, M. et al. Arbuscular mycorrhizal fungi-induced mitigation of heavy metal phytotoxicity in metal contaminated soils: A critical review. *Journal of Hazardous Materials*, v. 402, p. 123919, 2021.

RILLIG, M. C.; MUMMEY, D. L. Mycorrhizas and soil structure. *New Phytologist*, v. 171, n. 1, p. 41-53, 2006.

SANCHEZ-BEL, P. et al. The nitrogen availability interferes with mycorrhiza-induced resistance against *Botrytis cinerea* in tomato. *Frontiers in Microbiology*, v. 7, p. 1598, 2016.

SANTOS, M. G. et al. Photosynthetic parameters and leaf water potential of five common bean genotypes under mild water deficit. *Biologia Plantarum*, v. 53, p. 229-236, 2009.

SÄLE, V. et al. Ancient lineages of arbuscular mycorrhizal fungi provide little plant benefit. *Mycorrhiza*, v. 31, p. 559-576, 2021.

SARMA, B. et al. Traditional uses, phytochemistry and therapeutic efficacy of cassava (*Manihot esculenta* Crantz): a review. 2023.

SAVARY, R. et al. Genetic variation and evolutionary history of a mycorrhizal fungus regulate the currency of exchange in symbiosis with the food security crop cassava. *The ISME Journal*, v. 14, n. 6, p. 1333-1344, 2020.

SELEIMAN, M. F. et al. Drought stress impacts on plants and different approaches to alleviate its adverse effects. *Plants*, v. 10, n. 2, p. 259, 2021.

SÉRY, D. et al. Selecting native arbuscular mycorrhizal fungi to promote cassava growth and increase yield under field conditions. *Frontiers in Microbiology*, v. 7, p. 2063, 2016.

SHAN, Z.; LUO, X.; WEI, M.; HUANG, T.; KHAN, A.; ZHU, Y. Physiological and proteomic analysis on long-term drought resistance of cassava (*Manihot esculenta* Crantz). *Scientific Reports*, v. 8, n. 1, p. 17982, 2018.

SISTEMA FAEP/SENAR-PR. Cultivo da mandioca. Curitiba: FAEP/SENAR-PR, 2023. Disponível em: https://www.sistemafaep.org.br/wp-content/uploads/2023/09/PR_0368-Cultivo-da-mandioca_web.pdf. Acesso em: 16 fev. 2025.

SMITH, S. E.; READ, D. J. *Mycorrhizal Symbiosis*. 3. ed. London: Academic Press, 2008.

TAKAHASHI, M.; GONÇALO, S. *A Cultura da Mandioca*. Paranaíba: Olímpica, 116p, 2005.

TAMIAKI, H.; KICHISHIMA, S. Chlorophyll pigments and their synthetic analogs. *Plant and Cell Physiology*, p. pcae094, 2024.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. *Fisiologia Vegetal*. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

TEAM, R. Core. R: A language and environment for statistical computing. Published online 2020. 2021.

THANNI, B.; MERCKX, R.; HAUSER, S.; SORETIRE, A.; HONNAY, O. Multiple taxa inoculants of arbuscular mycorrhizal fungi enhanced colonization frequency, biomass production, and water use efficiency of cassava (*Manihot esculenta*). *International Microbiology*, v. 27, n. 4, p. 1219-1230, 2023.

THOMAS, R. L.; SHEARD, R. W.; MOYER, J. R. Comparison of conventional and automated procedures for nitrogen, phosphorus, and potassium analysis of plant material using a single digestion. *Agronomy Journal*, v. 59, n. 3, p. 240-243, 1967.

UARROTA, V.G.; STEFEN, D.L.V.; LEOLATO, L.S.; GINDRI, D.M.; NERLING, D. Revisiting carotenoids and their role in plant stress responses: from biosynthesis to plant signaling mechanisms during stress. *Antioxidants and Antioxidant Enzymes in Higher Plants*, p. 207-232, 2018.

VAN DER HEIJDEN, M. et al. Mycorrhizal ecology and evolution: the past, the present, and the future. *New Phytologist*, v. 205, n. 4, p. 1406-1423, 2015.

VOLAIRE, F. A unified framework of plant adaptive strategies to drought: crossing scales and disciplines. *Global Change Biology*, v. 24, n. 7, p. 2929-2938, 2018.

WANG, F. et al. Benefits of arbuscular mycorrhizal fungi in reducing organic contaminant residues in crops: Implications for cleaner agricultural production. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, v. 50, n. 15, p. 1580-1612, 2020.

WIJAYAWARDENE, N. et al. Classes and phyla of the kingdom Fungi. *Fungal Diversity*, p. 1-165, 2024.

APÊNDICE – TABELA DE DADOS BRUTOS DAS AVALIAÇÕES

Tabela 3: Dados brutos da colonização micorrízica em *Manihot esculenta*

Tratamentos	Colonização (%)
GAS	83
GAS	88
GAS	53
GAS	51
GAS	80
GAS	51,5
GA	76
GA	78
GA	75
GA	83
GA	48
GA	62
ALS	66
ALS	43
ALS	21
ALS	44
ALS	42
AL	56
AL	47
AL	34
AL	51
AL	38
COS	0
CO	0
GALS	70
GALS	65
GALS	65
GALS	32
GALS	55

GALS	51
GAL	82
GAL	73,3
GAL	88
GAL	81
GAL	66
GAL	62

Fonte: O autor (2025)

Tabela 4: dados brutos da avaliação de nutrientes da planta

Tratamentos	P (mg.g⁻¹)	P (mg.g⁻¹)	K (mg.g⁻¹)
ALS	0,0075	832,1428571	29260
ALS	0,0057	696,4285714	20680
ALS	0,0066	725	24860
ALS	0,0083	614,2857143	18700
AL	0,0082	832,1428571	37180
AL	0,0079	578,5714286	26400
AL	0,0087	1071,428571	28820
AL	0,0081	803,5714286	34100
AL	0,0084	728,5714286	27720
COS	0,0047	578,5714286	11880
COS	0,0073	721,4285714	22000
COS	0,0075	807,1428571	19360
COS	0,0088	782,1428571	26180
CO	0,0124	821,4285714	27060
CO	0,0077	689,2857143	18260
CO	0,0081	803,5714286	20460
CO	0,0092	717,8571429	23540
CO	0,0079	685,7142857	48180
CO	0,0075	603,5714286	21120
GALS	0,0091	696,4285714	28820
GALS	0,0061	685,7142857	27720
GALS	0,0051	635,7142857	27940
GALS	0,0075	935,7142857	30140
GALS	0,0091	778,5714286	39820
GALS	0,0089	732,1428571	23100
GAL	0,0099	1175	33000
GAL	0,0085	875	28380
GAL	0,0085	1032,142857	28600
GAL	0,009	864,2857143	23320
GAL	0,008	775	29260
GAS	0,007	700	30140
GAS	0,0077	610,7142857	12540
GAA	0,0066	746,4285714	37180

GAS	0,0079	942,8571429	23320
GA	0,0067	675	36080
GA	0,0079	864,2857143	30580
GA	0,0072	785,7142857	20900
GA	0,0077	750	23100
GA	0,0092	935,7142857	24200
GA	0,0083	878,5714286	26840

Fonte: o autor

Tabela 5: Dados brutos da avaliação dos pigmentos em folhas de mandioca

Tratamentos	Clorofila a (g.kg-1MF)	Clorofila b (g.kg-1MF)	Clorofila Total (g.kg- 1MF)	Razão a/b (g.kg-1MF)	Carotenoides (g.kg-1MF)
AL	1,818	0,602	2,420	3,020	0,409
AL	2,131	0,740	2,871	2,881	0,493
AL	2,244	0,766	3,010	2,928	0,490
AL	2,686	0,944	3,630	2,846	0,572
AL	2,682	0,921	3,604	2,912	0,577
ALS	1,862	0,632	2,495	2,947	0,407
ALS	2,092	0,788	2,881	2,654	0,627
ALS	1,965	0,840	2,805	2,338	0,911
ALS	1,974	0,704	2,677	2,805	0,455
ALS	1,831	0,678	2,509	2,702	0,654
CO	1,841	0,580	2,421	3,176	0,451
CO	1,665	0,564	2,229	2,954	0,409
CO	1,708	0,558	2,266	3,059	0,453
CO	1,702	0,622	2,323	2,737	0,463
CO	2,099	0,688	2,787	3,049	0,482
CO	2,000	0,701	2,701	2,852	0,502
COS	2,388	0,796	3,184	3,002	0,510
COS	1,992	0,301	2,293	6,625	0,554
COS	2,016	0,678	2,694	2,975	0,465
COS	2,441	0,802	3,243	3,043	0,537
GA	1,967	0,629	2,596	3,127	0,419
GA	1,510	0,510	2,020	2,958	0,346
GA	1,839	0,581	2,420	3,166	0,395
GA	2,657	0,977	3,633	2,720	0,573
GA	1,967	0,650	2,616	3,028	0,411
GA	2,175	0,726	2,901	2,997	0,441
GAS	1,376	0,436	1,812	3,155	0,375
GAS	1,775	0,644	2,419	2,757	0,486
GAS	1,655	0,572	2,227	2,892	0,449
GAS	1,497	0,536	2,033	2,793	0,425
GAS	2,087	0,721	2,809	2,893	0,478
GAS	1,623	0,585	2,208	2,773	0,453

GAL	1,770	0,609	2,380	2,905	0,448
GAL	1,839	0,597	2,436	3,081	0,406
GAL	2,865	1,000	3,864	2,865	0,626
GAL	2,319	0,792	3,111	2,929	0,523
GAL	2,208	0,830	3,038	2,660	0,517
GALS	2,170	0,811	2,982	2,675	0,664
GALS	1,411	0,149	1,560	9,470	0,430
GALS	1,068	0,381	1,449	2,800	0,374
GALS	2,430	0,847	3,277	2,869	0,531

Fonte: O autor (2025)

Tabela 6: Dados brutos da avaliação do crescimento das plantas de mandioca

Tratamentos	N de folha	Diâmetro do caule (mm)	Altura do caule (mm)
GAS	4,0	3,76	24
GAS	3,0	2,76	12,3
GAS	1	3,163	14,73
GAS	3	5,03	25,9
GAS	2	2,32	14,3
GAS	2	3,6	17
GA	4	3,54	19,55
GA	3	4,18	23,1
GA	3,5	3,42	17,25
GA	3	2,67	18,5
GA	4	4,8	24,8
GA	2,5	4,08	18,25
ALS	3	3,97	29,9
ALS	1	5,16	32,2
ALS	0,5	3,14	21,1
ALS	3	4,58	21,5
ALS	1	3,62	18,15
AL	2,5	3,26	13,25
AL	4,3	3,42	17,95
AL	2,5	2,91	16,5
AL	2	2,34	14,6
AL	3	3,87	16,56
COS	1,5	3,86	19,95
COS	1,5	3,77	16,45
COS	1	4,59	24,2
COS	2	4,34	26
CO	2,5	3,4	16,2
CO	1,6	3,81	16,55
CO	2	2,98	17
CO	1	4,32	19,75
CO	2	3,57	21

CO	2,75	2,66	14,67
GALS	0,5	3,97	22,2
GALS	1,5	3,93	17,8
GALS	0,6	3,04	15,2
GALS	2	4,72	25,3
GALS	1	3,9	20,6
GALS	2	3,48	14,63
GAL	4,5	3,92	17,03
GAL	3,5	3,02	14,04
GAL	3	3,55	11,1
GAL	2	4,28	22,6
GAL	2	3,076	11,33
GAL	4	2,8	15,5

Fonte: O autor (2025)