



Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal
Departamento de Produção Vegetal
Licenciatura em Engenharia Agronómica
Projecto Final

Tema: Avaliação da tolerância de 5 génotipos de feijão nhemba (*Vigna unguiculata* (L.)) à deficiência hídrica durante a fase da plântula



Autor: Jorge Amosse Majaia

Supervisor: Prof. Doutor Rogério Marcos Chiulele, PhD

Co-supervisor: Eng. Teodoro Chale, M.Sc.

Maputo, Julho de 2025

Avaliação da tolerância de 5 genótipos de feijão nhemba (*Vigna unguiculata* (L.)) à deficiência hídrica durante a fase plântula

Projecto final submetido ao departamento de Produção Vegetal na Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal da Universidade Eduardo Mondlane, como um dos requisitos para obtenção do grau de Licenciatura em Engenharia Agronómica, área de concentração, Produção Vegetal.

DECLARAÇÃO DE HONRA

Eu, **Jorge Amosse Mabjaia**, declaro por minha honra que esta tese submetida à Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal da Universidade Eduardo Mondlane para obtenção do grau de Licenciatura em Engenharia Agronómica, é da minha autoria e que, a mesma nunca foi submetida ou examinada por uma outra Universidade e, qualquer semelhança desta com outras teses e ou dissertações, é pura coincidência. A autenticidade dos resultados desta tese tem como testemunha os supervisores da mesma.

Jorge Amosse Mabjaia

_____ Data: _____/_____/2025

DEDICATÓRIA

Este trabalho é dedicado especialmente ao meu falecido pai Amosse Jorge Majaia e a minha mãe Maria Rita Estevão Lino Chico Majaia que desempenhou para mim simultaneamente o papel de mãe e pai desde criança. Dedico também aos meus irmãos Télia, Ferdinando, Rosa e Amosse Jorge Majaia Júnior por sempre acreditarem no meu potencial.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo incontestável dom da vida.

Agradecimento especial aos meus supervisores, Professor Doutor Rogério Marcos Chiulele e ao Engenheiro Teodoro Chale, pela orientação sábia durante a condução da pesquisa, elaboração da Tese, por acreditarem em mim para este desafio e, sobretudo pela grande abertura demonstrada na discussão de assuntos relacionados ao tema.

À minha mãe, Maria Rita Estevão Lino Mabjaia, por ter me dado a escola como um dos meus bens mais valiosos que possuo, por não ter parado de orar por mim e por ser a luz que me acompanha nessa caminhada.

Aos meus padrinhos Edmundo Rodolfo e Laurinda Rodolfo pelo apoio e conselhos dados durante esta caminhada, aos meus tios e irmãos.

Aos meus colegas e amigos, especialmente ao Shelton Malonda, Dalton Fiquissone, Sérgio Chitengo, Salomão Chone, Berina Sithole, Priscila Jone, Crisolde Castro, Ronaldo Zunguze, Penina Mauze, Iúria Machiana, Albino Kimbine, Adelino Mortal, Luís Manhanga e Décio Cossa por terem me apoiado durante esta caminhada estudantil e ajudado a elaborar este trabalho.

Agradecimentos aos técnicos da FAEF, especialmente ao senhor Ricardo Enosse e senhor Beto, por terem me ajudado na realização deste trabalho.

A todos amigos e familiares que, de forma directa ou indirecta, me encorajaram a terminar o curso.

E por último, a mim, por não ter desistido de acreditar que um dia seria possível chegar aqui.

ÍNDICE

DECLARAÇÃO DE HONRA	ii
DEDICATÓRIA	iii
AGRADECIMENTOS	iv
LISTA DE TABELAS	vii
LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE ANEXOS	x
RESUMO	xi
LISTA DE ACRÓNIMOS, SIGLAS E OU ABREVIATURAS	xii
LISTA DE SÍMBOLOS	xiii
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Problema de estudo e justificação	4
1.2. Objectivos	6
1.2.1. Geral	6
1.2.2. Específicos	6
1.3. Hipóteses	6
1.4. Perguntas de estudo	6
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	7
2.1. Origem, evolução, descrição botânica e expansão do feijão nhemba no mundo	7
2.2. Stress hídrico ou deficiência hídrica: Conceito, tipos e evolução	7
2.2.1. Fases do stress hídrico	11
2.2.2. Respostas das plantas ao stress hídrico	11
2.3. Tolerância à seca: definição e mecanismos	12
2.4. Necessidades hídricas do feijão nhemba	13
2.5. Importância do feijão nhemba	13
2.6. Constrangimentos de Produção em Moçambique	14

3. MATERIAIS E MÉTODOS	14
3.1. Descrição da área de estudo.....	14
3.2. Delineamento experimental e descrição dos tratamentos.....	16
3.3. Caracterização dos genótipos utilizados no ensaio.....	17
3.4. Variáveis avaliadas	19
3.4.1. Cor verde das plantas	19
3.4.2. Cor das folhas.....	20
3.4.3. Cor do Caule.....	20
3.4.4. Emurchecimento das folhas	20
3.4.5. Taxa de recuperação das plantas	21
3.4.6. Senescência das folhas	21
3.5. Análise dos dados	22
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	23
4. 1. Resultados	23
4.1.1. Cor das folhas.....	23
4.1.2. Cor do caule	26
4.1.3. Murcha	27
4.1.4. Senescência foliar.....	30
4.1.5. Cor da planta	32
4.1.6. Taxa de Recuperação	35
4.2. Discussão	39
5. CONCLUSÃO	41
6. RECOMENDAÇÕES	42
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Genótipos usados no ensaio e suas características	18
Tabela 2. Abreviaturas dos tratamentos utilizados e as suas respectivas designações	19

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Países maiores produtores (%) de feijão nhemba do mundo em 2022.	2
Figura 2. Percentagem da área cultivada de feijão nhemba em Moçambique (pequenas e médias explorações).	3
Figura 3. Mapa da área de estudo.	15
Figura 4. Oscilação da temperatura durante o período de condução do do ensaio, de 14 de Setembro a 25 de Outubro de 2022.	16
Figura 5. Preparação do material, montagem, condução do ensaio e esterilização do solo (a e b); (c) sementeira; (d) desbaste dos tratamentos stressados e (e) desbaste dos tratamentos irrigados.	17
Figura 6. Frequência da expressão da cor das folhas após 12 dias do stress hídrico	23
Figura 7. Repetições dos tratamentos usados como controlo (irrigados durante todo o ensaio). Imagem registrada quando o genótipo mais susceptível estava completamente morto. Fotos: Autor.	23
Figura 8. Plantas mais susceptíveis ao stress hídrico no regime stressado: (a) S P81 na repetição 2; (b) S P81 na repetição 3; (c) S P81 na repetição 4;(d) S P81 na repetição 5; (e) S P23 na repetição 1; (f) S P23 na repetição 2; (g) S P23 na repetição 4; (h) S P84 na repetição 1; (i) S P84 na repetição 3; (j) S P84 na repetição 4; (k) S P84 na repetição 5; (l) S 2246x503-9-1 na repetição 2; (m) S 2246x503-9-1 na repetição 3; (n) S B21x2246-4 na repetição 1; (o) S B21x2246-4 na repetição 3.....	24
Figura 9. Plantas que conseguiram manter a cor verde das folhas durante o período do stress hídrico no regime stressado: (a) S P81 na repetição 1; (b) S P23 na repetição 3; (c) S P23 na repetição 5;(d) S P84 na repetição 2; (e) S 2246x503-9-1 na repetição 4; (f) S 2246x503-9-1 na repetição 5; (g) S B21x2245-4 na repetição 2; (h) S B21x2246-4 na repetição 4. As imagens foram registradas quando o genótipo mais susceptível estava completamente morto.	25
Figura 10. Frequência da expressão da cor do caule após 12 dias do stress hídrico.	26
Figura 11. expressão da cor do caule (12 dias do stress hídrico) plantas completamente mortas: (a) S P81 na repetição 2; (b) S P81 na repetição 3; (c) S P81 na repetição 5.....	27
Figura 12. expressão da cor do caule (12 dias do stress hídrico) plantas que conseguiram manter a cor verde caule: (a) S P81 na repetição 1; (b)S B21x2246-4 na repetição 4; (c) S B21x2246-4 na repetição 5.....	27
Figura 13. Frequência da expressão da murcha após 12 dias do stress hídrico.....	28
Figura 14. plantas com maiores índices de murcha foliar (murcha rápida) 10 dias após a imposição do stress hídrico: (a) S P81 na repetição 2; (b) S P81 na repetição 3; (c) S P81 na	

repetição 4; (d) S P81 na repetição 5.....	29
Figura 15. plantas com menores índices de murcha foliar (murcha lenta) 10 dias após a imposição do stress hídrico: (a) S B21x2245-4 na repetição 1; (b) S B21x2245-4 na repetição 3; (c) S B21x2245-4 na repetição 5.	29
Figura 16. Frequência da expressão da senescência foliar após 12 dias do stress hídrico. ..	30
Figura 17. plantas com senescência foliar 10 dias após a imposição do stress hídrico: (a) S P81 na repetição 2; (b) S P81 na repetição 3; (c) S P81 na repetição 4; (d) tratamento S P81 na repetição 5.....	31
Figura 18. plantas sem senescência foliar 10 dias após a imposição do stress hídrico: (a) S B21x2245-4 na repetição 1; (b) S B21x2245-4 na repetição 3; (c) S B21x2245-4 na repetição 5, (d) S B21x2245-4 na repetição 2 e (e) S B21x2245-4 na repetição 4.	31
Figura 19. Frequência da expressão da cor da planta após 12 dias do stress hídrico (observado apenas quando o genótipo susceptível estava completamente morto).	32
Figura 20. Plantas que conseguiram manter completamente a cor verde após 12 dias do stress hídrico: (a) S P81 na repetição 1; (b) S P23 na repetição 3; (c) S P23 na repetição 5; (d) S P84 na repetição 2, (e) S 2246x503-9-1 na repetição 4; e (f) S B21x2246-4 na repetição 2 e (g) S B21x2246-4 na repetição 4. Observado apenas quando o genótipo susceptível estava completamente morto.	33
Figura 21. Plantas mortas após 12 dias do stress hídrico: (a) tratamento S P81 na repetição 2; (b) S P81 na repetição 3; (c) S P81 na repetição 4; (d) S P81 na repetição 5, (e) S P23 na repetição 2; e (f) S 2246x503-9-1 na repetição 3. Observado apenas quando o genótipo susceptível estava completamente morto.	34
Figura 22. Percentagem de plantas recuperadas após 2 semanas de ré-irrigação.....	35
Figura 23. Percentagem de plantas mortas após 2 semanas de ré-irrigação.....	36
Figura 24. Ambiente controlado após duas semanas de ré-irrigação.	36
Figura 25. Plantas recuperadas após 2 semanas de ré-irrigação: (a) S P23 na repetição 1; (b) S P23 na repetição 4; (c) S P84 na repetição 1; (d) S P84 na repetição 3, (e) S P84 na repetição 4; (f) S P84 na repetição 5; (g) S 2246x503-9-1 na repetição 2; (h) S B21x2246-4 na repetição 1 e (i) S B21x2246-4 na repetição 3.	37
Figura 26. Plantas mortas após 2 semanas de ré-irrigação: (a)- S P81 na repetição 2; (b)- S P81 na repetição 3; (c)- S P81 na repetição 4; (d)- S P81 na repetição 5, (e)- S P23 na repetição 2; e (f)- S 2246x503-9-1 na repetição 3.....	38

LISTA DE ANEXOS

1. ANEXO 1. Testes de normalidade 51
2. ANEXO 2. Análises de variância para as variáveis colhidas no experimento 53
3. ANEXO 3. Layout do ensaio..... 55

RESUMO

O objectivo deste trabalho foi de avaliar a tolerância de 5 genótipos de feijão nhemba à deficiência hídrica imposta na fase da plântula. Para o efeito, foi conduzido um experimento no campo experimental da Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal. O delineamento usado foi o completamente casualizado (DCC), com 5 repetições e 10 tratamentos que foram subdivididos em 2 regimes (o completamente irrigado que foi usado como controlo e o regime stressado ou com corte de rega), perfazendo 25 unidades experimentais de bolsas plásticas para cada regime. No regime irrigado, a rega foi feita até o final do projecto, contrariamente do regime stressado, que a rega foi interrompida no 10º dia após a emergência das plantas e retomada quando o genótipo mais susceptível estava completamente morto. O ensaio foi conduzido em bolsas plásticas contendo 1 quilograma de solo, previamente esterilizado no laboratório durante 3 dias a 65°C de temperatura. Os genótipos utilizados foram: Variedade local P81, P23, P84, 2246x503-9-1 e B21x2246-4. Os resultados mostram que os genótipos B21x2246-4 e P84 foram tolerantes ao stress hídrico na fase da plântula enquanto que os genótipos P23 e 2246x503-9-1 foram moderadamente tolerantes nesta fase. O genótipo P81 por apresentar maior número de plantas mortas, mostrou ser o mais susceptível.

Palavras-chave: Tolerância, stress hídrico, genótipo, feijão nhemba.

LISTA DE ACRÓNIMOS, SIGLAS E OU ABREVIATURAS

ANOVA	Análise de variância
FAEF	Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal
FAO	Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura
FAOSTAT	Estatísticas da FAO
ha	Hectare
Kg	Quilograma
INGC	Instituto Nacional de Gestão de Calamidades
MADER	Ministério de Agricultura e Desenvolvimento Rural
Obs.	Observação
SADC	Comunidade para o Desenvolvimento da África Austral
mg	Miligrama
mg/kg	Miligrama Por Quilograma
mm	Milímetro
TMax	Temperatura Máxima
TMin	Temperatura Mínima
UEM	Universidade Eduardo Mondlane
Var. Loc.	Variedade local

LISTA DE SÍMBOLOS

%- Por cento

°C- Graus celcius

°- Grau

'- Minuto

"- Segundo

1. INTRODUÇÃO

A produção agrícola está sujeita à restrições ambientais, que ocorrem na forma de stresses abióticos e que influenciam negativamente o crescimento e desenvolvimento das plantas, causando redução significativa da produtividade que pode em média ser superior a 50% (Wu *et al.*, 2011). O stress hídrico (seca), causado pela baixa disponibilidade de água no solo, é dos mais comuns que ocorre nas plantas em quase todo mundo. O cultivo em sequeiro é mais susceptível à ocorrência de stress em alguma fase do ciclo de crescimento das culturas, por causa da irregularidade das chuvas. A deficiência de água no solo reduz o potencial de água na planta, induzindo-a várias respostas, que se manifestam através de alterações nas características morfológicas, fisiológicas, bioquímicas e moleculares. Estas alterações nas características da planta, afectam negativamente a fotossíntese e, como consequência disso, regista-se pouco acúmulo de matéria seca, reduzindo o crescimento e desenvolvimento da planta e rendimento final (Clavel *et al.*, 2005).

Todavia, algumas culturas ou variedades podem tolerar condições de deficiência de água e serem pouco afectadas em relação às outras. Por isso, compreender os efeitos negativos da seca sobre o metabolismo das plantas e os mecanismos de tolerância à seca, pode ajudar na identificação de culturas e ou variedades adaptadas às condições de seca. Isto irá contribuir para aumentar a produção e produtividade através da escolha de melhores variedades a produzir sobretudo naquelas condições com limitada disponibilidade de água e que, é previsível a ocorrência do stress hídrico (Beebe *et al.*, 2013).

Entre as culturas com potencial de cultivo em regiões com limitações hídricas destaca-se o feijão nhemba (Freire *et al.*, 2011). As plantas são versáteis, nutritivas, herbáceas e autógamas com óptima capacidade de exigir pouca disponibilidade de água. Exige aproximadamente, cerca de 300 mm de precipitação para produzir satisfatoriamente, sem a necessidade da prática de irrigação (Andrade Júnior *et al.*, 2002).

O feijão nhemba é mais produzido em África do que em qualquer outra região do mundo. Estatísticas da FAO (2022), indicam que cerca de 97% da produção total mundial da cultura, estimada em cerca de 9.774.866 toneladas e 98% da área total mundial, estimada em

cerca de 15.190.896 hectares são feitos em África. Entre os maiores produtores da cultura destacam-se a Nigéria, o Níger, Burkina Faso e Sudão (Figura 1).

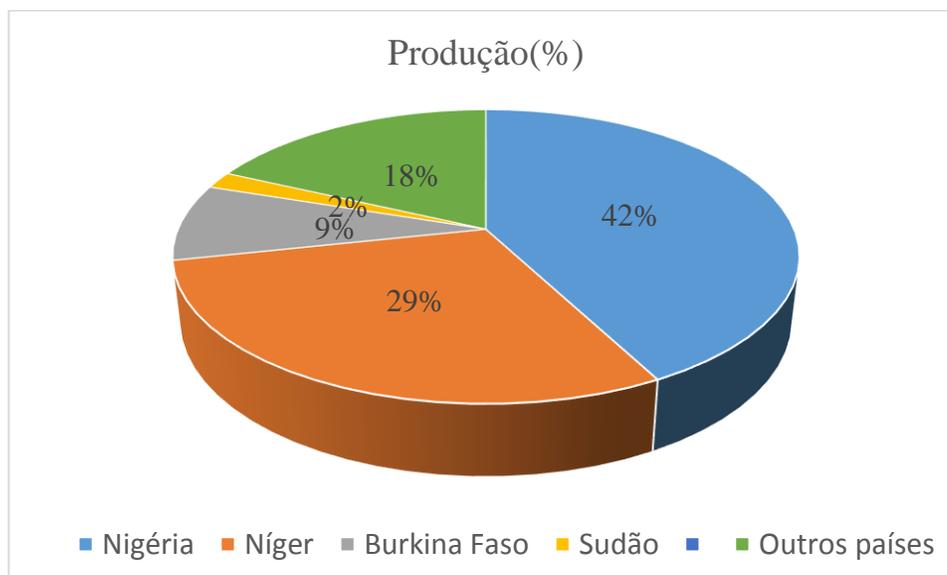


Figura 1. Países maiores produtores (%) de feijão nhemba do mundo em 2022.

Adaptado de: FAOSATAT (2022).

O feijão nhemba é uma das culturas alimentares básicas mais cultivadas em Moçambique. A cultura ocupa o quarto lugar depois do milho, mandioca e amendoim, sendo a segunda leguminosa mais importante depois do amendoim (FAOSTAT, 2022). Estatísticas da FAO indicam que, em 2022 a produção do feijão nhemba no país aconteceu numa área estimada em 345.000 ha, tendo resultando numa produção de cerca de 83.000 toneladas (FAOSTAT, 2022). Este nível de produção, colocou o país na segunda posição depois da Tanzânia (148.832 toneladas) na lista dos maiores produtores da SADC (FAOSTAT, 2022). As províncias de Nampula, Cabo Delgado, Gaza, Inhambane, Tete e Zambézia foram as que apresentaram maiores áreas de produção do feijão nhemba naquele ano (MADER, 2021).

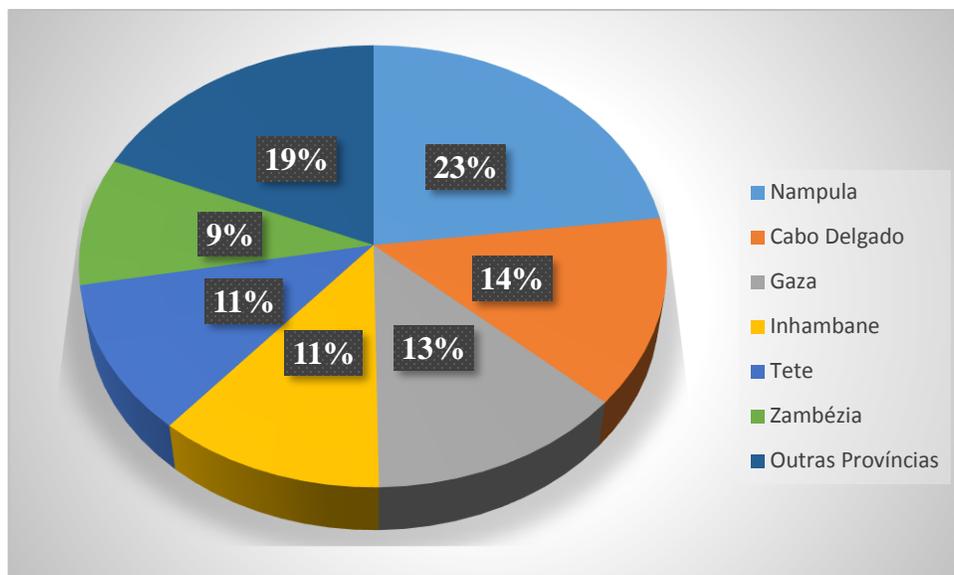


Figura 2. Percentagem da área cultivada de feijão nhemba em Moçambique (pequenas e médias explorações).

Fonte: MADER, 2021.

Apesar do feijão nhemba ser uma cultura grandemente produzida em Moçambique, os rendimentos observados nas machambas dos agricultores continuam ainda muito baixos, estimados em cerca de 240 kg/ha, em média. Este rendimento contrasta com os cerca de 3.392 kg/ha do continente europeu, 1.762 kg/ha dos Estados Unidos da América, 1.229 kg/ha do continente asiático, 952 kg/ha do continente americano, 649 kg/ha da África do Norte, 648 kg/ha da média do continente africano, 641 kg/ha da África Oriental, 603 kg/ha da média mundial, e 422 kg/ha da África Austral (FAOSTAT, 2022). Os principais factores limitantes e que contribuem para os baixos rendimentos registados no país são a irregularidade da chuva, tendo em conta que a produção da cultura ocorre maioritariamente em sequeiro, baixa fertilidade de solo, baixa qualidade da semente usada, não uso de insumos de produção, a falta de incentivos para a comercialização e deficiente assistência por parte da rede de extensão local (Linhares *et al.*, 2018).

1.1. Problema de estudo e justificação

O cultivo de feijão nhemba em Moçambique é maioritariamente feito pelos pequenos agricultores que, geralmente ocorre em condições de sequeiro. A produção de uma cultura em condições de total dependência da chuva, pré-dispõe certas fases de crescimento e desenvolvimento da cultura ao stress hídrico, pois, actualmente a queda da precipitação no país é caracterizada por uma grande variabilidade intra, inter-sazonal e espacial. As chuvas por vezes começam tarde e terminam antes do fim do ciclo da cultura, como também verifica-se a queda de grande quantidade de precipitação concentrada num curto espaço de tempo que depois é sucedido por longo período sem precipitação, levando a cultura a passar por stress hídrico, que chega a atingir alto nível de severidade (INGC, 2009). Este cenário compromete seriamente a produtividade da cultura nessas condições, que pode culminar com a seca total quando o stress atinge níveis extremos. Isto, põe em causa a disponibilidade de alimento para as pessoas que dependem grandemente da cultura.

Todavia, é possível contornar o problema de deficiência de água no solo e garantir que mesmo sob essas condições a cultura possa produzir. Para tal, é necessário identificar as variedades de feijão nhemba resistentes e ou tolerantes à seca, partindo do pressuposto de que, dentro de um conjunto de variedades, é de se esperar que exista uma grande variabilidade genética, fazendo com que as variedades apresentem respostas diferenciadas, onde umas podem ser significativamente afectadas e outras nem tanto, quanto expostas ao stress hídrico. As variedades resistentes à seca possuem mecanismos próprios de sobrevivência que lhes conferem essa proeza, diferentemente das variedades susceptíveis que não possuem tais mecanismos (Meyer *et al.*, 1963).

As variedades resistentes à seca e as variedades susceptíveis à seca apresentam características distintas em cada fase de crescimento, que determinam sua capacidade de lidar com a falta de água. Variedades resistentes à seca são adaptadas para otimizar o uso de água, com mecanismos para reduzir ou minimizar a perda de água, acessar água nos perfís mais profundos do solo e garantir que o ciclo de crescimento e desenvolvimento ocorram, mesmo em condições adversas. Variedades susceptíveis à seca não possuem essas adaptações e, portanto, sofrem mais intensamente os efeitos da falta de água, resultando em menor

crescimento e desenvolvimento prejudicado e, frequentemente, menor produção resultando em menor rendimento da cultura. (Bassett, 2013).

As variedades resistentes à seca mostram ser de grande importância pelo facto de poderem garantir alguma produção mesmo quando sujeitas às condições de stress hídrico, principalmente para as regiões semi-áridas que por natureza se caracterizam pelos baixos níveis de precipitação. Porém, no país a informação referente à disponibilidade de variedades resistentes e os mecanismos envolvidos, ainda é escassa. Por isso, torna-se necessário conduzir mais estudos para identificar aquelas variedades resistentes à seca.

Frente a esta situação, surge a necessidade de se avaliar a tolerância de 5 genótipos do feijão nhemba à deficiência hídrica imposta na fase da plântula, de modo a seleccionar as variedades mais adaptadas a estas condições, de forma a recomendar o seu uso em propensas à ocorrência da deficiência hídrica durante o ciclo da cultura, principalmente em regiões áridas e semi-áridas.

1.2. Objectivos

1.2.1. Geral

- O objectivo geral do presente estudo é de avaliar a tolerância de 5 genótipos de feijão nhemba à deficiência hídrica imposta na fase da plântula.

1.2.2. Específicos

- Avaliar a resposta das variedades à deficiência hídrica;
- Identificar os mecanismos que conferem a tolerância hídrica às variedades de feijão nhemba;
- Avaliar a capacidade de regeneração pós-stress hídrico.

1.3. Hipóteses

- As variedades de feijão nhemba testadas respondem de maneiras diferentes à deficiência hídrica;
- Existem diferentes mecanismos que conferem tolerância à seca às variedades de feijão nhemba;
- Existe pelo menos uma variedade que seja capaz de recuperar-se após o stress hídrico.

1.4. Perguntas de estudo

- Que respostas dão as diferentes variedades de feijão nhemba quando expostas à deficiência hídrica?
- Que mecanismos conferem tolerância à seca às variedades de feijão nhemba aqui testadas?
- Como é que as variedades se recuperam após o stress hídrico?

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Origem, evolução, descrição botânica e expansão do feijão nhemba no mundo

Segundo Freitas (2006), o feijão nhemba é originário do continente africano, tendo sido introduzido nas Américas nos meados do século XVII pelos espanhóis, durante o tráfico de escravos. De acordo com Ehlers e Hall (1997), a África Ocidental é o centro de diversificação primário do feijão nhemba domesticado e, a Índia o centro de diversificação secundário, onde ocorreu significativa variabilidade desde a sua introdução no continente, durante o Neolítico. Actualmente, a cultura encontra-se amplamente distribuída nas regiões tropicais e subtropicais, ocorrendo tanto em formas selvagens como cultivadas (Maréchal *et al.*, 1978). Nestas regiões, a cultura é considerada uma das importantes fontes de alimento e de nutrientes e, contribui bastante para a garantia da segurança alimentar e nutricional das populações desses locais (Botelho *et al.*, 2013).

É uma leguminosa conhecida por vários nomes, por exemplo: é chamado de “feijão nhemba” em Moçambique, “feijão macundi” em Angola, “feijão-frade” em Portugal, “cowpea em inglês, blackeyed pea” nos Estados Unidos, “feijão caúpi, feijão de corda ou feijão catador” no Brasil. É uma dicotiledónea pertencente à ordem Fabales, família Fabaceae, do género *Vigna* e espécie *Vigna unguiculata* (L.) (Onofre, 2008).

O género *Vigna* ocorre nas regiões tropicais e subtropicais com ampla distribuição mundial. A grande maioria das espécies está na África, onde 66 delas são consideradas endémicas. Isso sugere que o género *Vigna* deve ter tido sua evolução ligada a esse continente. Entre as espécies que o correm na África está a *Vigna unguiculata* (L.) Walp., sendo a localização do seu centro de origem bastante discutido (Freire, 1988).

2.2. Stress hídrico ou deficiência hídrica: Conceito, tipos e evolução

Segundo Sallam *et al.* (2019), Stress hídrico (seca) é um período de falta ou escassez de chuvas ou irrigação, que causa uma diminuição na disponibilidade de água do solo, resultando em perda de rendimento. Na agricultura, refere-se à falta de água disponível para

as plantas em quantidades adequadas para atender às suas necessidades fisiológicas, mas o solo não tem para suprir o que leva a absorção de água e alguns nutrientes pelo sistema radicular da planta a ser reduzido, causando prejuízos. Todas as plantas precisam de água para germinar, se desenvolver e produzir normalmente, sua falta possui vários efeitos diante ao crescimento vegetal, atrapalhando etapas como a inibição da fotossíntese, expansão radicular e outros, em casos extremos a falta de água no solo para a demanda pode levar ocorrer a morte da planta, já que a escassez causa os fechamentos dos estomas em forma de defesa, para que haja redução da transpiração, mudanças anatômicas, alteração fotossintética e murchamento da folha (Marenco e Lopes, 2005). Do ponto de vista meteorológico, a deficiência de água é definida como a ausência de chuvas por um longo período de tempo para causar a perda de humidade no solo e uma diminuição de potencial hídrico no tecido vegetal (Kramer, 1980).

O stress, em geral, pode ser definido como um factor externo que exerce influência negativa sobre a planta. Este conceito está intimamente associado com o de tolerância ao stress, que é a capacidade da planta em enfrentar condições e ambientes desfavoráveis. Se a tolerância aumenta como consequência da exposição anterior ao stress, diz-se que a planta está aclimatada (Taiz e Zeiger, 2009).

Quando a quantidade de água fornecida ao solo é inadequada, os níveis de humidade no solo podem ser baixos e as plantas começam a ter dificuldade para absorve-la. O stress hídrico desenvolve-se como resultado da perda excessiva de água através das partes aéreas, que não é repostada pela absorção do sistema radicular (Begg e Turner, 1976; Ramanjulu e Sudhakar, 2000). Isso causa uma diminuição no potencial hídrico da planta (Begg e Turner, 1976; Szegletes *et al.*, 2000) e do conteúdo relativo de água, com consequente diminuição do turgor e divisão celular. Com a redução do turgor, reduz a expansão celular e, portanto, reduz o crescimento da planta no geral, afectando negativamente o desenvolvimento da cultura, a produção da biomassa e rendimento do grão (Hale e Orcutt, 1987).

O stress hídrico pode ser classificado de várias formas e ou tipos. De acordo com o momento de ocorrência o stress pode ser *intermitente* ou *terminal*. Em função da intensidade

pode ser leve, moderado ou grave. E, consoante a sua duração, o stress pode ser de curta ou longa duração. O stress hídrico intermitente é aquele que ocorre em qualquer momento durante a fase de crescimento vegetativo da cultura e geralmente é difícil de prever de ano para ano, embora um padrão amplo possa ser determinado para um ambiente particular (Chauhan *et al.*, 2002). Segundo Schneider *et al.*(1997), O stress hídrico deve-se a padrões climáticos de chuvas esporádicas que provocam intervalos de seca e podem ocorrer em qualquer altura durante a estação de crescimento ou quando os agricultores têm a opção de irrigação, mas o fornecimento é ocasionalmente limitado. Em contraste, a seca terminal ocorre quando as plantas sofrem falta de água durante as fases posteriores do crescimento reprodutivo ou quando as culturas são plantadas no início de uma estação seca, afectando principalmente a fase reprodutiva como floração, formação de vagens e enchimento do grão (Frahm *et al.*, 2004). O stress intermitente acontece quando a chuva vai variando em quantidade e distribuição ao longo das fases de crescimento da cultura, podendo se verificar cenários de muita ou pouca chuva concentrada num curto período de tempo, intercalado com intervalos longos sem chuvas, enquanto que o stress terminal, geralmente acontece como resultado das chuvas que terminam precocemente, antes da cultura terminar o ciclo de crescimento e desenvolvimento (Nigam *et al.*, 2002).

Hall e Patel (1985) referiram que, nem todas as variedades de/ ou culturas desenvolvidas conseguem lidar com qualquer tipo de stress hídrico, havendo aquelas que serão mais eficazes contra tipos específicos de seca. Por isso, os autores salientaram a importância de se ter uma compreensão clara do tipo de stress hídrico que ocorre no ambiente para o qual será destinada a cultura, por forma a desenvolver variedades adequadas para tal situação. Hall e Patel (1985) referiram que, as variedades de ciclo curto são as mais apropriadas para aqueles ambientes cujas chuvas não caem durante toda época chuvosa, terminando quase sempre antes do fim do ciclo das culturas. As variedades de ciclo curto são igualmente apropriadas para os anos incaracterísticos, em que as chuvas começam tarde mas terminam muito cedo. Estas variedades, geralmente não possuem mecanismos de resistência à seca, elas escapam o stress hídrico terminando o ciclo antes que a água seja um factor limitante. Enquanto isso, as variedades de ciclo longo e indeterminadas, com floração sequencial são adequadas para ambientes cujas chuvas duram um longo período, porém,

imprevisível ou com distribuição irregular durante a época. Todavia, estas variedades para serem adaptadas às condições de irregularidade das chuvas, devem obrigatoriamente apresentar mecanismos de resistência à seca.

Tanto o stress intermitente quanto o terminal afectam a produção agrícola, mas os impactos são diferentes. O stress intermitente reduz o alongamento e expansão das células vegetais, afectando assim o acúmulo de biomassa através da redução da área e alongamento do caule (Wahab *et al.*, 2022). Os tecidos meristemáticos nas células são essenciais para a expansão das plantas através da divisão celular activa. Por tanto, qualquer alteração no potencial hídrico da célula reduz o tamanho da célula e os processos de divisão celular, afectando o crescimento da planta (Aslam *et al.*, 2015). A expansão e o alongamento das células vegetais prejudicados em condições de deficiência hídrica podem ser atribuídos a: baixo crescimento da raiz, comprometimento das reservas do caule e redução nos componentes da superfície foliar, como formato, cor da folha e composição cuticular, afectando conseqüentemente a área foliar (Osakabe *et al.*, 2014). Ludlow e Muchow (1990), referem que a manutenção da área foliar resultaria em aumento da taxa de água a usar, o que aumentaria a probabilidade da cultura ficar sem água antes da maturação fisiológica e salientam ainda que, fisiológica manutenção foliar seria adequada para variedades desenvolvidas para lidar com stress intermitente, mas não para o stress terminal. O stress terminal prejudica a fisiologia reprodutiva das plantas, ao interromper os processos reprodutivos, como polinização, fertilização e enchimento de grãos, o que conseqüentemente resulta em menor rendimento (Kanwal *et al.*, 2022). Todavia, esta ideia é questionável, pois uma variedade que apresentar mecanismos de resistência à seca, tal como é o caso do acúmulo de substâncias com efeito osmótico na raiz e ajustamento osmótico, em situação de ocorrência de stress terminal, pode muito bem garantir a manutenção da água até terminar o ciclo. Porém, isso pode depender do estágio exacto de ocorrência do stress, tendo igualmente em conta que, o acúmulo de substâncias com efeito osmótico ocorre com gasto de fotoassimilados em prejuízo do acúmulo da matéria seca. Se stress acontece quase no fim do enchimento do grão, pode na minha opinião reduzir o rendimento económico.

2.2.1. Fases do stress hídrico

As plantas submetidas a condições adversas podem passar por três fases de stress, de acordo com Larcher (2000). A primeira fase é a de alarme, que começa com o distúrbio e pode levar à perda da estabilidade das estruturas e das funções que mantêm os processos químicos da planta. Se a intensidade do stress não diminuir, a planta entra na fase de resistência, em que ocorre a síntese de proteínas e outras substâncias para proteger a planta do stress. Caso o stress continue por um longo período, a planta entra na fase de exaustão, em que sua capacidade de resistência é reduzida e a planta fica mais suscetível às infecções. No entanto, se o stress for temporário, qualquer injúria causada pode ser reparada.

2.2.2. Respostas das plantas ao stress hídrico

O stress hídrico é caracterizado pela falta de água, o que desencadeia uma série de respostas adaptativas nas plantas. Quando ocorre, altera a homeostase da planta, e a sua ocorrência e duração são factores limitantes para a sustentabilidade dos sistemas agrícolas e florestais, pois o impacto que causa nas relações hídricas altera o metabolismo das plantas, influenciando negativamente na produtividade e nos parâmetros de crescimento das espécies (Rosa *et al.*, 2021). Uma das respostas fisiológicas cruciais e aparentes ao stress hídrico é o enrolamento das folhas. É considerado uma forma das plantas se adaptarem ao stress hídrico para manter a quantidade de água da planta durante a diminuição da humidade do solo (Kumar *et al.*, 2018; Kanwal *et al.*, 2022). Segundo Larcher (2006), a primeira e mais sensível resposta ao stress hídrico, é a diminuição da turgescência e, associada a este evento está à diminuição do processo de crescimento em extensão da planta.

A redução da turgidez é o mais precoce efeito biofísico significativo do stress hídrico, as actividades dependentes da turgidez, como a expansão foliar e o alongamento das raízes, são as mais sensíveis ao stress hídrico (Reis *et al.*, 1998). A inibição desse crescimento em extensão provoca uma diminuição da área foliar total e, conseqüentemente, uma redução na taxa transpiratória, levando um balanço hídrico positivo para a planta.

Como resposta ao stress hídrico, as plantas passam por mudanças fundamentais na relação da célula com a água e nos seus processos morfofisiológicos (Cordeiro *et al.*, 2009), influenciando a sua capacidade de tolerar as condições adversas do meio. No entanto, há restrição ao acúmulo de biomassa, prejudicando tanto no crescimento inicial das plantas como nos estágios mais tardios, limitando a dimensão das folhas individuais, o número de folhas e, por conseguinte a área foliar total, o número e taxas de crescimento dos ramos e o crescimento do caule (Moraes, 2011).

Como a expansão foliar depende principalmente da expansão celular, os princípios que fundamentam os dois processos são similares, ou seja, a inibição da expansão celular provoca uma lentidão da expansão foliar no início do desenvolvimento do stress hídrico. A menor área foliar transpira menos, conservando, efectivamente, um suprimento de água limitado no solo por um período mais longo. Portanto, a redução da área foliar pode ser considerada a primeira linha de defesa contra a seca (Anjum *et al.*, 2011). Os processos fisiológicos das plantas são afectados em stress hídrico, promovendo a redução no conteúdo de água na célula resultando em perda de turgor, redução da taxa fotossintética e redução da expansão foliar (Taiz *et al.*, 2017).

2.3. Tolerância à seca: definição e mecanismos

Turner (1986) definiu a tolerância à seca como a capacidade de uma planta cultivada crescer e obter rendimento satisfatório em ambientes submetidos ao stress hídrico periódico. Enquanto que Mitra (2001) definiu a tolerância à seca como sendo a capacidade de uma planta cultivada, produzir um rendimento económico com perda mínima em ambiente com stress hídrico em relação ao ambiente sem restrição hídrica. Constata-se que os dois conceitos convergem na mesma ideia.

Os mecanismos das plantas para lidar com o stress hídrico podem ser divididos em três tipos: fuga ou escape da seca, conservação da água e tolerância à seca (Salehi-lisar; Bakhsha Yeshan -Agdam 2016). A fuga é a estratégia utilizada pelas plantas com ciclo de vida curto, em que completam seu ciclo de vida durante a estação chuvosa do ano, evitando a estação

seca. A conservação de água inclui estratégias que favorecem a manutenção do estado hídrico da planta, garantido através da contínua absorção da água em detrimento da produção fotossintética. A tolerância à seca corresponde a mecanismos que envolvem a tentativa de manter os estomas abertos pelo maior tempo possível, mesmo à custa de redução do potencial hídrico ou desidratação dos tecidos.

2.4. Necessidades hídricas do feijão nhemba

Segundo Teófilo *et al.* (2008) e Santos *et al.* (2011), o feijão nhemba apresenta metabolismo C3. Em termos de necessidades hídricas, a cultura requer cerca de 300 a 450 mm durante o ciclo, porém, bem distribuídos, nos diferentes estágios de crescimento e desenvolvimento e, dependendo da variedade, do tipo de solo e das condições climáticas locais. O consumo hídrico diário raramente excede 3,0 mm, quando a planta está na fase inicial de desenvolvimento (Andrade Júnior *et al.*, 2002). De modo geral, o feijão nhemba requer quantidades mínimas na germinação, que aumentam atingindo um máximo na floração e formação de vagens e, decrescendo a partir do início da maturação fisiológica (Nóbrega *et al.*, 2001).

2.5. Importância do feijão nhemba

O feijão nhemba é rico em proteínas, tolerante à seca e, dada a sua capacidade de fixação de azoto, pode ser cultivado em solos pobres, melhorando-os. Este, é utilizado na alimentação humana e animal, e constitui um dos alimentos básicos para as populações de baixa renda da zona rural assim como da urbana em Moçambique (Victorino *et al.*, 2014), devido à acessibilidade tanto das folhas, vagens frescas, bem como do grão seco. A cultura é uma importante fonte de proteínas para estas populações, tendo alguns autores a considerado de “carne de pobre” (Fall *et al.*, 2003). A adaptação às diferentes condições edafoclimáticas e a baixa exigência de água e nutrientes, quando comparada à outras leguminosas como o feijão vulgar (*Phaseolus vulgaris* L.) e a soja (*Glicine max* L.) (Costa *et al.*, 2011), faz com que esta seja uma das culturas mais importantes para o cultivo, principalmente ao nível dos agricultores familiares que geralmente a cultivam em condições de sequeiro e sem aplicação de fertilizantes.

2.6. Constrangimentos de produção em Moçambique

Dentre os factores que limitam o aumento da produção e produtividade na agricultura em particular na zona Sul de Moçambique destacam-se, solos pobres, regime de precipitação irregular, pragas e doenças (Sitoe, 2005). Apesar da grande importância que a adubação tem no aumento do rendimento, no sector familiar moçambicano, esta prática ainda é bastante baixa (inferior a 4-5%), o que significa que, com a perda de fertilidade dos solos não ocorre nenhuma reposição, empobrecendo deste modo a fertilidade, facto que justifica a baixa produtividade do feijão nhemba (Cunguara *et al.*, 2013). O feijão nhemba é mais fortemente atacado por pragas de insectos que qualquer outra cultura alimentar primária ou secundária em Moçambique. Ao contrário das doenças, o prejuízo de insectos não pode ser reduzido através de resistência varietal para a maior parte das pragas de importância económica (Walker *et al.*, 2016). Além disso, o feijão nhemba é igualmente atacado por *Alectra*, uma infestante amarela. Esta infestante parasítica pode constituir um grande problema nos campos em que se cultiva o feijão nhemba em Moçambique (Walker *et al.*, 2016).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Descrição da área de estudo

A avaliação da tolerância de 5 genótipos de feijão nhemba à deficiência hídrica imposta na fase da plântula foi realizada através do estabelecimento de um ensaio no campo experimental da Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal (FAEF) da Universidade Eduardo Mondlane (campus principal). O campo experimental está localizado entre a 25° 57' 09.273" de Latitude Sul e 32° 36' 12.341" de longitude Este, com uma elevação de 42 m em relação ao nível médio das águas do mar. O ensaio foi conduzido durante um período de 1 mês e 2 semanas, contados de 14 de Setembro a 25 de Outubro de 2022 (figura 3).

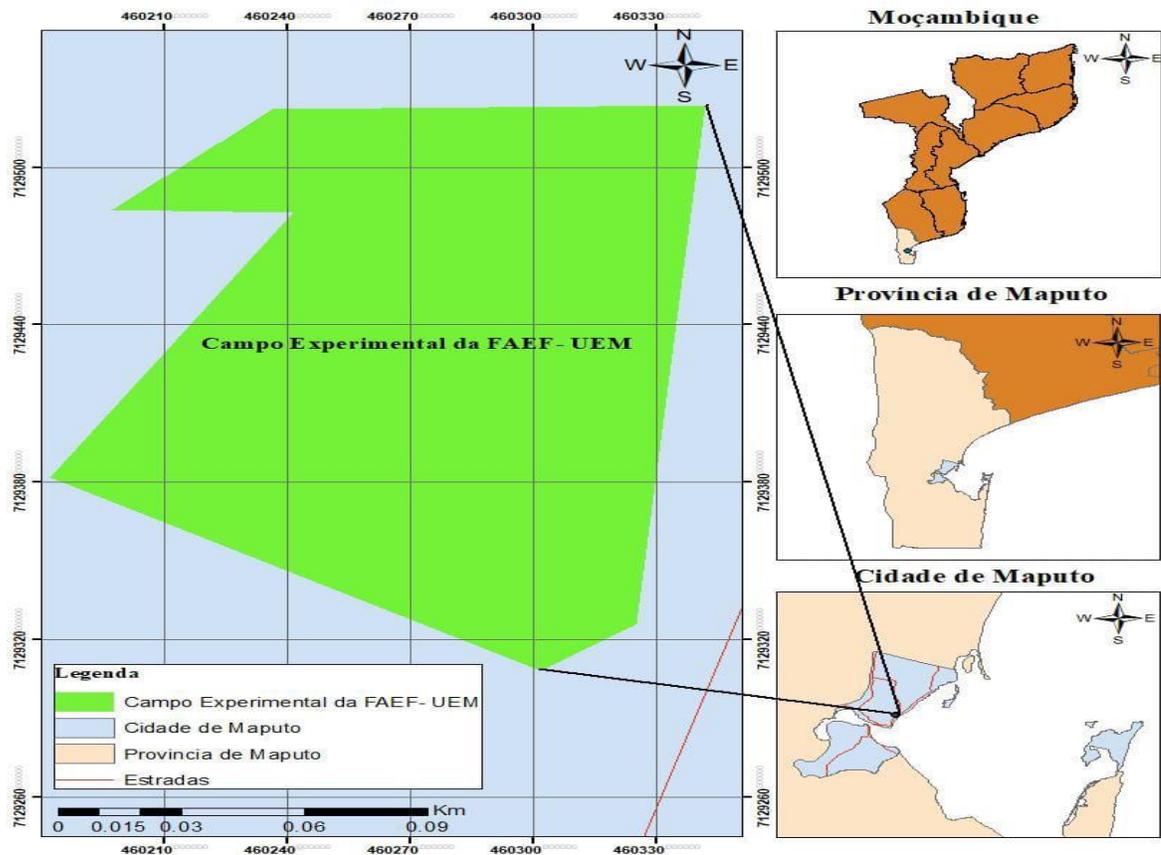


Figura 3. Mapa da área de estudo.

Fonte: Autor.

Segundo Quilambo (2000), os solos do campus da UEM ou do campo experimental da FAEF apresentam cerca de 85.60% de areia, 1% de argila, 13.40 de limo, 0.08% de nitrogénio total (0.08%), 188 mg/kg de fósforo-total (1 88.00 mg/kg), 0.12 de matéria orgânica, 0.07% de carbono, e 6.8 de pH. O clima do local do ensaio é tropical na estação seca no inverno e chuvas no verão (Aw) de acordo com a classificação de Köppen e Geiger em 1918 a 1936 (Peel *et al.*, 2007). A precipitação anual do local é de cerca de 713 mm, variando mensalmente entre 13 e 123 mm, com as precipitações mensais mais baixas de 13 e 14 mm, registadas nos meses de Junho e Julho e, as mais elevadas de 115 e 123 mm registadas nos meses de Dezembro e Janeiro, respectivamente. A temperatura média do local é de 22.9°C, variando mensalmente entre 28.5 e 28.8°C de máxima e 16.1°C e 15.4 °C de mínima, com as temperaturas mensais mais elevadas registadas nos meses de Janeiro e Fevereiro e as mais baixas nos meses de Junho e Julho (<https://inam.gov.mz/>). Durante a realização do ensaio, observou-se uma temperatura diária máxima de 39°C e mínima de 14°C (Figura 4). Ao longo

desse período, não houve ocorrência de chuva. (INAM, 2022).

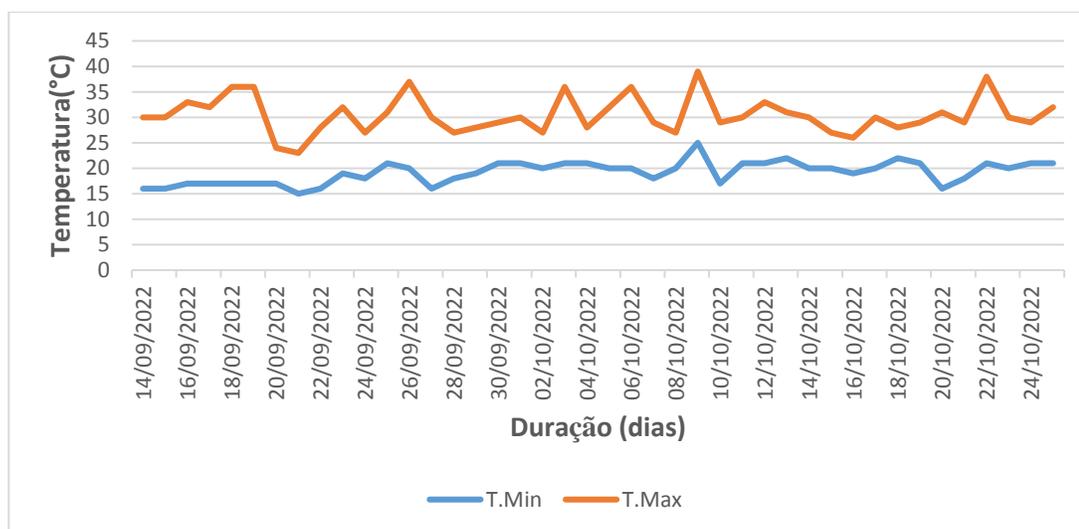


Figura 4. Oscilação da temperatura durante o período de condução do ensaio, de 14 de Setembro a 25 de Outubro de 2022.

Fonte:INAM, 2022.

3.2.Delineamento experimental e descrição dos tratamentos

No ensaio foram avaliados 5 genótipos de feijão nhemba usando o delineamento completamente casualizado (DCC), com 5 repetições cada e, em dois regimes de rega (um completamente irrigado e outro com corte de rega ou stressado), perfazendo 25 unidades experimentais para cada regime de rega tendo um total de 10 tratamentos (5 por cada regime). As unidades experimentais foram constituídas de bolsas plásticas contendo 1 quilograma de areia esterilizada a uma temperatura de 65°C durante 3 dias. Em cada bolsa foram lançadas 3 sementes, que 8 dias depois da emergência foi realizado o desbaste para deixar apenas uma planta na unidade experimental, conforme mostra a figura 5. No regime completamente irrigado, as plantas das 5 variedades foram irrigadas durante todo o período de duração do ensaio (controlo) enquanto que no regime stressado as plantas das 5 variedades foram irrigadas desde o dia da sementeira até ao 10º dia após a emergência e depois stressadas, as plantas passaram por um período de stress de tal forma que a rega foi restabelecida quando o genótipo mais susceptível estava completamente morto. Os dois regimes foram separados por aproximadamente 1 metro para facilitar a gestão de água. Não foi feito nenhum tipo de adubação da planta.

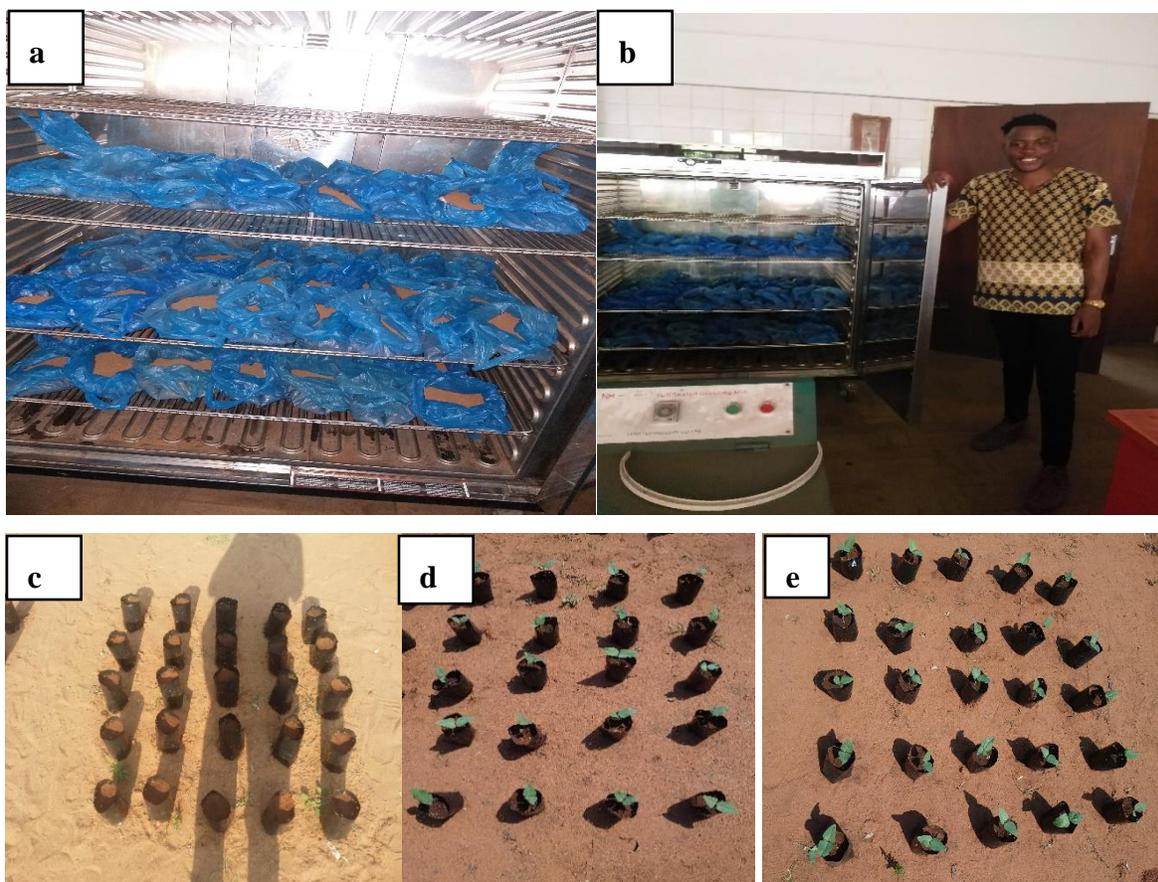


Figura 5. Preparação do material, montagem, condução do ensaio e esterilização do solo (a e b); (c) sementeira; (d) desbaste dos tratamentos stressados e (e) desbaste dos tratamentos irrigados.

Fotos: Autor.

3.3. Caracterização dos genótipos utilizados no ensaio

Os genótipos usados no ensaio (figura 6), são parte do material disponível no programa de melhoramento de feijão nhemba em Moçambique, levado a cabo pela Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal (FAEF) da Universidade Eduardo Mondlane. Estes materiais incluem linhas resultantes de cruzamentos realizados pela FAEF e de material local seleccionado na forma de mistura ao nível dos produtores da zona Sul de Moçambique e que já fazem parte de ensaios avançados. Na tabela 1 abaixo, são descritas algumas das características fenotípicas destes genótipos.

Tabela 1. Genótipos usados no ensaio e suas características.

Genótipo	Proveniê ncia	Características fenotípicas				
		Tamanho da semente	Cor do tegumento	Rugosida de do tegument o	Hábito de crescimento	Tipo de crescimento
Var. loc. P81	FAEF - UEM	Médio	Castanha com hilo claro	Lisa	Prostrado	Indeterminado
Var. loc. P23	FAEF - UEM	Médio	Castanha com tons irregulares	Lisa	Prostrado	Indeterminado
Var. loc. P84	FAEF - UEM	Médio	Castanha clara com manchas escuras	Rugosa	Prostrado	Indeterminado
2246x503-9-1	FAEF - UEM	Médio	Castanha clara com hilo claro	Lisa	Prostrado	Indeterminado
Bmb21x2246 -4	FAEF - UEM	Pequeno	Claro com hilo castanho	Lisa	Semi-erecta	Determinado

FAEF – UEM



Figura 6. Genótipos utilizados no ensaio: (1) Var. loc. P81, (2) Var. loc. P23, (3) Var. loc. P84, (4) 2246x503-9-1 e (5) B21x2246-4. **Fotos:** Autor.

Tabela 2. Abreviaturas dos tratamentos utilizados e as suas respectivas designações.

C P81	Tratamento do genótipo planta 81 utilizado como controlo
C P23	Tratamento do genótipo planta 23 utilizado como controlo
C P84	Tratamento do genótipo planta 84 utilizado como controlo
C 2246x503-9-1	Tratamento do genótipo 2246x503-9-1 utilizado como controlo
C B21x2246-4	Tratamento do genótipo Bambey 21x2246-4 utilizado como controlo
S P81	Tratamento do genótipo planta 81 submetido no regime stressado
S P23	Tratamento do genótipo planta 23 submetido no regime stressado
S P84	Tratamento do genótipo planta 84 submetido no regime stressado
S 2246x503-9-1	Tratamento do genótipo 2246x503-9-1 submetido no regime stressado
S B21x2246-4	Tratamento do genótipo Bambey 21x2246-4 utilizado como controlo

3.4. Variáveis avaliadas

No presente ensaio, para responder aos objectivos propostos, foram avaliadas as seguintes variáveis: 1 - Cor verde das plantas, 2 - Tonalidade da cor verde das folhas, 3 - Cor do caule, 4 - Emurchecimento das folhas, 5 - Taxa de recuperação das plantas e, 6 - Senescência foliar.

3.4.1. Cor verde das plantas

A avaliação da cor das plantas foi feita usando uma escala de índices de 1 a 5, onde o índice 1 - representa planta completamente verde, o índice 2 - representa planta que começa a perder a cor verde, o índice 3 - representa planta com sinais de clorose e necrose visíveis, o índice 4 - representa planta com clorose e necrose graves e, o índice 5 - representa planta completamente morta, de acordo com a metodologia usada por Ravelombola *et al.*(2018). A cor verde da planta foi avaliada quando a planta do genótipo susceptível estava completamente morta.

3.4.2. Cor das folhas

A avaliação da cor das folhas foi feita em 3 folhas: unifoliadas, primeira e segunda folha trifoliadas usando uma escala de 1 a 5, onde a escala 1 - corresponde a: folhas verdes, 2 - corresponde a: nova folha trifoliada verde, mas com folhas unifoliadas e primeira folha trifoliada amareladas, 3 - corresponde a: nova folha trifoliada com coloração amarelada, 4 - corresponde a: todas folhas amarelo-acastanhadas mas com uma ponta verde crescente e, 5 - que corresponde a: planta completamente morta (Cui, 2019). Para cada folha unifoliada ou trifoliada as observações foram feitas 3 vezes por semana para tentar reduzir o erro, tendo se mantido a média como valor final da cor das folhas. Os dados sobre a cor das folhas foram colectados desde a imposição do stress hídrico até a ré-irrigação das plantas.

3.4.3. Cor do Caule

A cor do caule foi avaliada usando uma escala de 0 a 5 segundo Muchero *et al.* (2008), e Ravelombola *et al.* (2018), sendo 0 - planta morta, 1 - caule completamente amarelo, 2- caule castanho na base ou na ponta, 3 - caule verde claro e não túrgido. 4 - Caule verde e moderadamente túrgido e 5 - caule verde escuro e túrgido. As observações foram realizadas 3 vezes por semana, tendo iniciado após a imposição do stress hídrico até o momento em que se registou a morte do genótipo mais susceptível.

3.4.4. Emurhecimento das folhas

A avaliação do emurhecimento das folhas foi feita usando uma escala de 0 a 2, onde 0 - indica a inexistência de nenhum sinal de murcha da folha, 1 - que indica uma murcha lenta mas a folha apresenta a coloração verde, 2 - que indica a murcha rápida das folhas (amarelo baixo ou acastanhado). A murcha foi observada semanalmente, desde a primeira semana até a última semana de imposição do stress (Ravelombola e Ainong Shi, 2017). As observações foram realizadas 3 vezes por semana até o momento em que se registou a morte completa do genótipo mais susceptível.

3.4.5. Taxa de recuperação das plantas

De acordo com Ravelombola *et al.* (2018), e Nkomo *et al.* (2020), taxa de recuperação de plantas corresponde ao número de plantas totalmente recuperadas após 1 ou 2 semanas depois do restabelecimento da água. De notar que, o restabelecimento da água foi realizado quando o genótipo suscetível estava completamente morto (maior número de plantas mortas das repetições). Assim sendo, os dados foram colectados através da contagem do número de plantas sobreviventes por genótipo. Para o cálculo da taxa de recuperação em percentagem, foi usada a fórmula ilustrada na equação 1 abaixo.

$$RR = \frac{\text{número de plantas recuperadas}}{\text{número de plantas emergidas}} * 100\% \quad (\text{Equação 1})$$

Onde: RR - Taxa de recuperação das plantas

3.4.6. Senescência das folhas

A senescência das folhas foi avaliada em folhas unifoliadas e trifoliadas usando uma escala de 0 a 5. O índice 0 - corresponde a (0%) de folhas senescentes , o índice 1 - corresponde a: folhas unifoliadas com coloração verdes pálidas e a folhas trifoliadas com tonalidade verde brilhante, o índice 2 - corresponde a: folhas unifoliadas com tonalidade de verde-amareladas e folhas trifoliadas senescentes < 10%, o índice 3 - corresponde a: folhas unifoliadas amareladas e folhas trifoliadas senescentes entre 10 e 25%, o índice 4 - corresponde a: folhas unifoliadas senescentes e 25 a 75% de folhas trifoliadas senescentes e, o índice 5 - corresponde a: folhas trifoliadas completamente (100%) senescentes (Crop Ontology, 2015 e Fruit *et al.*,2009). A senescência foliar foi avaliada 3 vezes por semana, desde a imposição do stress hídrico até o momento em que se registou a morte completa do genótipo mais susceptível.

3.5. Análise dos dados

A análise de dados foi feita usando o Microsoft Excel 2016 para fazer a média dos dados e o Software estatístico Sisvar versão 5.8.92. As análises consistiram de: teste de Kolmogorov-Smirnov, análise de variância pelo teste F e teste de comparação de médias (Tukey). Em todos os testes, o nível de significância adotado foi de 5% de probabilidade. O teste de Kolmogorov-Smirnov foi feito para verificar a normalidade dos dados, enquanto que a análise da variância foi feita para aferir a existência ou não de efeitos significativos dos tratamentos sobre as variáveis avaliadas e, onde o teste F indicou efeito significativo dos tratamentos, foi feito o testes de comparação de médias para aferição de diferenças significativas entre as médias dos tratamentos (Tabelas 1 a 5 e Tabelas 1 a 9 dos anexos 1 e 2). O modelo estatístico usado para fazer as análises em referência é apresentado na equação 2 abaixo.

Modelo estatístico:

$$Y_{ij} = \mu + \tau + \varepsilon_{ij} \quad (\text{Equação 2})$$

Onde:

i - número de tratamentos/genótipos de feijão nhemba (i = 1, 2, ..., 10);

j - número de repetições (1, 2, ..., 5);

Y_{ij} = valor observado na repetição j que recebeu o tratamento i (Genótipo de feijão nhemba);

μ = média geral;

τ_i = efeito do tratamento I (genótipo de feijão nhemba)

ε_{ij} = Erro experimental $\sim N(0, \delta^2)$

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Resultados

4.1.1. Cor das folhas

O gráfico abaixo (figura 6), descreve a média da variável cor das folhas dos tratamentos. Os tratamentos usados como controlo (irrigados durante todo o ensaio), não diferiram estatisticamente entre si (figura 7). Mas, sob condições de stress hídrico, o genótipo S P81 apresentou maior redução da cor das folhas, saindo de verde para planta morta, seguido do genótipo S P84 (figura 8) e, numa ordem decrescente de descoloração das folhas seguiram os genótipos S P23, S 2246x503-9-1 e S B21x2246-4 (figura 9).

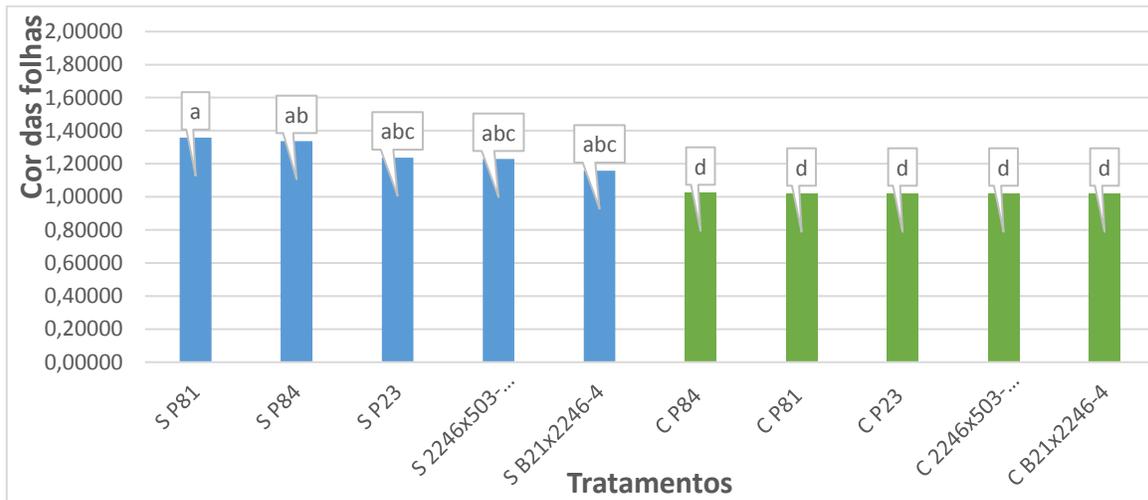


Figura 6. Frequência da expressão da cor das folhas após 12 dias do stress hídrico.



Figura 7. Repetições dos tratamentos usados como controlo (irrigados durante todo o ensaio). Imagem registrada quando o genótipo mais susceptível estava completamente morto.

Fotos: Autor.



Figura 8. Plantas mais susceptíveis ao stress hídrico no regime stressado: (a) S P81 na repetição 2; (b) S P81 na repetição 3; (c) S P81 na repetição 4;(d) S P81 na repetição 5; (e) S P23 na repetição 1; (f) S P23 na repetição 2; (g) S P23 na repetição 4; (h) S P84 na repetição 1; (i) S P84 na repetição 3; (j) S P84 na repetição 4; (k) S P84 na repetição 5; (l) S 2246x503-9-1 na repetição 2; (m) S 2246x503-9-1 na repetição 3; (n) S B21x2246-4 na repetição 1; (o) S B21x2246-4 na repetição 3.

As imagens foram registradas quando o genótipo mais susceptível estava completamente morto.

Fotos: Autor.

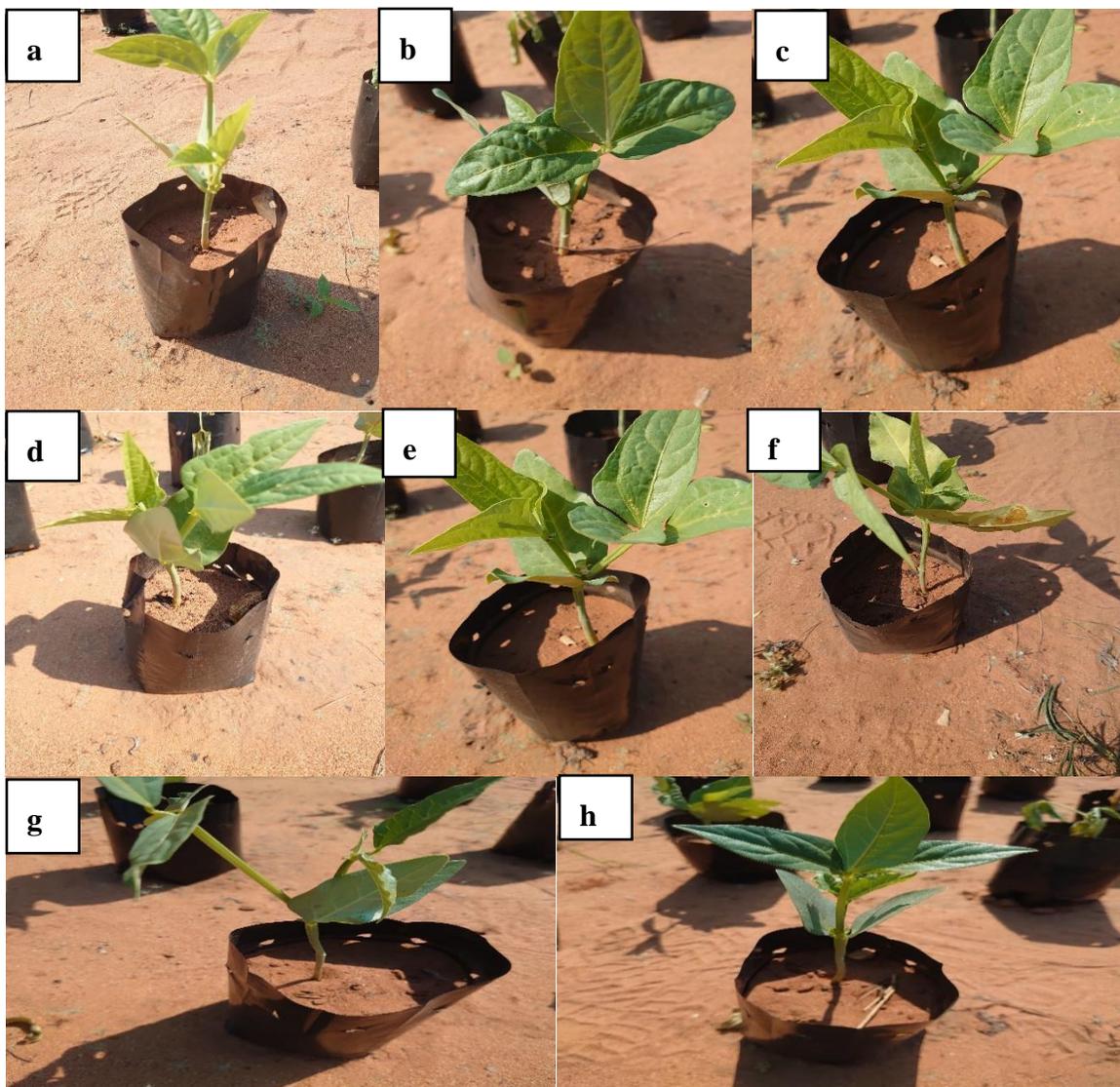


Figura 9. Plantas que conseguiram manter a cor verde das folhas durante o período do stress hídrico no regime stressado: (a) S P81 na repetição 1; (b) S P23 na repetição 3; (c) S P23 na repetição 5; (d) S P84 na repetição 2; (e) S 2246x503-9-1 na repetição 4; (f) S 2246x503-9-1 na repetição 5; (g) S B21x2245-4 na repetição 2; (h) S B21x2246-4 na repetição 4. As imagens foram registradas quando o genótipo mais susceptível estava completamente morto.
Fotos: Autor.

4.1.2. Cor do caule

Os genótipos de feijão nhemba mostraram efeito significativo ($p < 0.05$) sobre a cor do caule da primeira semana até 12 dias de resposta à imposição do stress hídrico. Não houve diferenças significativas entre os tratamentos no ambiente irrigado (controle). Os mesmos genótipos quando submetidos ao stress hídrico, mostraram grande variação na coloração do caule (figura 10), tendo o tratamento S P81 registado maior descoloração da cor do caule, de verde escuro e túrgido para planta morta (figura 11), enquanto que os tratamentos S P84, S P23, S 2246x503-9-1 e S B21x2246-4 tiveram menor descoloração do caule, de caule verde escuro e túrgido para caule verde e moderadamente túrgido (figura 12).

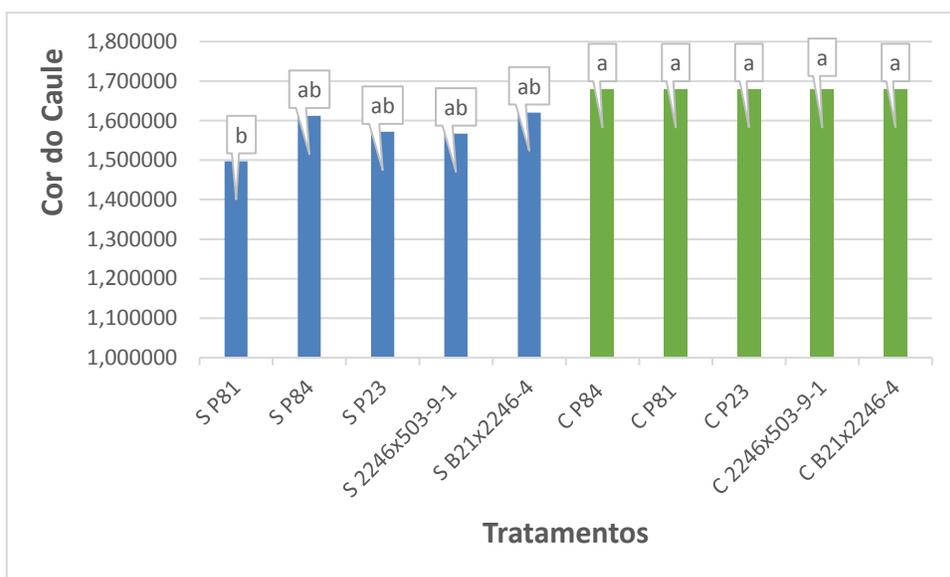


Figura 10. Frequência da expressão da cor do caule após 12 dias do stress hídrico.

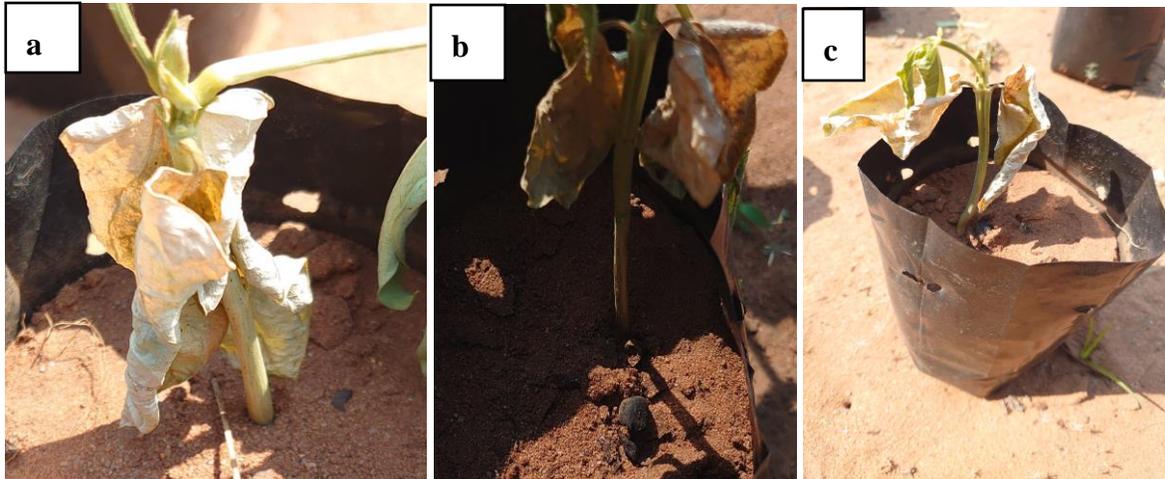


Figura 11. expressão da cor do caule (12 dias do stress hídrico) plantas completamente mortas: (a) S P81 na repetição 2; (b) S P81 na repetição 3; (c) S P81 na repetição 5

Fotos: Autor.

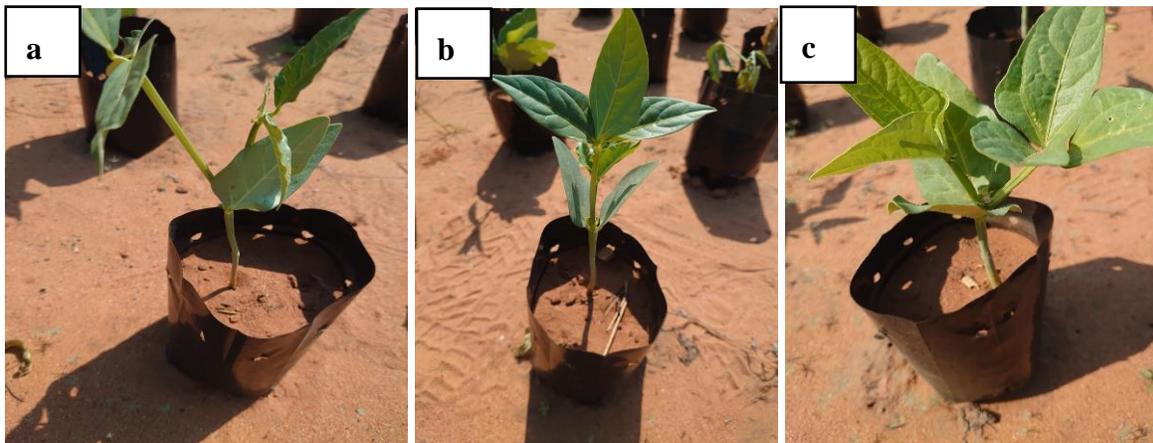


Figura 12. expressão da cor do caule (12 dias do stress hídrico) plantas que conseguiram manter a cor verde caule: (a) S P81 na repetição 1; (b) S B21x2246-4 na repetição 4; (c) S B21x2246-4 na repetição 5.

Fotos: Autor.

4.1.3. Murcha

O gráfico abaixo (figura 13), ilustra médias do índice de murcha dos tratamentos. No ambiente totalmente irrigado (controlo), não houve diferenças significativas entre as médias dos tratamentos. Pelo contrário, os tratamentos submetidos ao stress hídrico, diferiram significativamente entre si. Os tratamentos S P81 e o S P84 apresentaram maior redução de murcha tendo muitas plantas com folhas que apresentaram murcha rápida (figura 14) enquanto que os tratamentos S P23, S 2246x503-9-1 e S B21x2246-4 apresentaram

percentagem de folhas com índices de murcha lenta respectivamente (figura 15), desde a primeira semana de imposição do stress hídrico até à ré- irrigação.

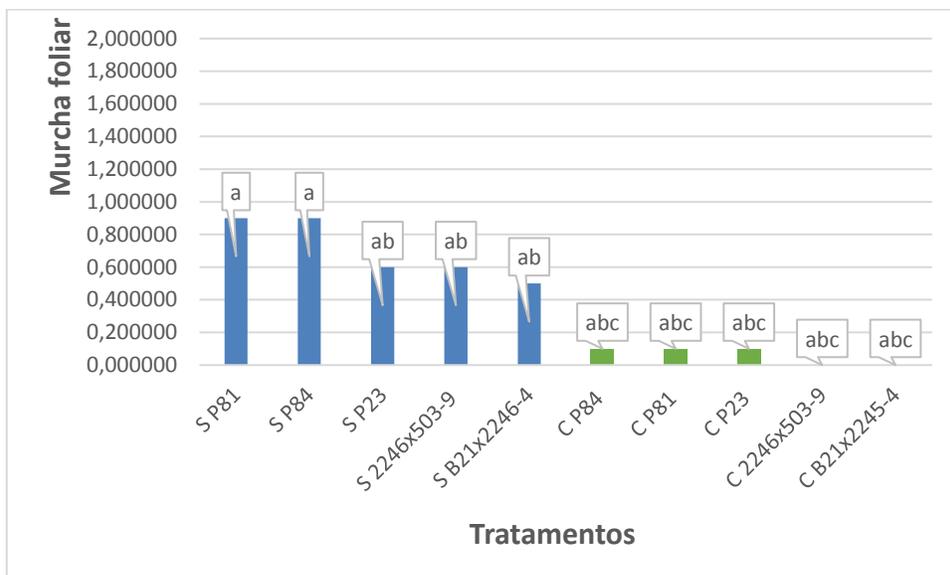


Figura 13. Frequência da expressão da murcha após 12 dias do stress hídrico.

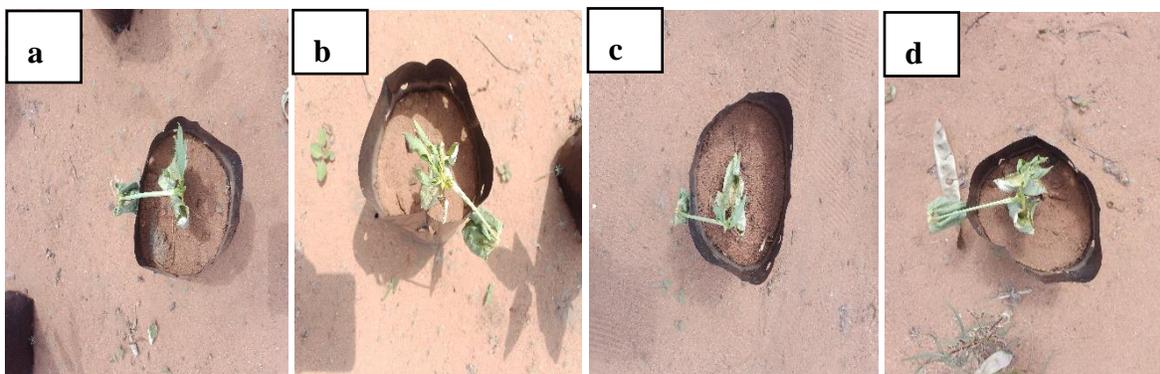


Figura 14. plantas com maiores índices de murcha foliar (murcha rápida) 10 dias após a imposição do stress hídrico: (a) S P81 na repetição 2; (b) S P81 na repetição 3; (c) S P81 na repetição 4; (d) S P81 na repetição 5.

Fotos: Autor.

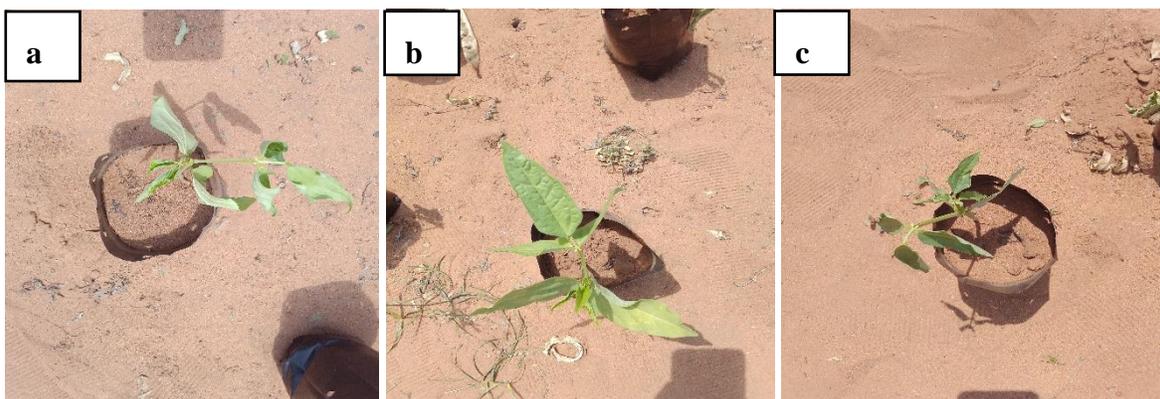


Figura 15. plantas com menores índices de murcha foliar (murcha lenta) 10 dias após a imposição do stress hídrico: (a) S B21x2245-4 na repetição 1; (b) S B21x2245-4 na repetição 3; (c) S B21x2245-4 na repetição 5.

Fotos: Autor.

4.1.4. Senescência foliar

Os tratamentos submetidos ao stress hídrico, diferiram significativamente entre si na taxa de senescência foliar, desde a primeira semana até a morte do genótipo susceptível (12 dias após a imposição do stress hídrico). A figura 16, ilustra a comparação de médias dos 10 tratamentos, da qual, pode se notar que os tratamentos S P81 e S P84 registaram a maior taxa de senescência foliar (figura 17), seguido dos tratamentos S P23 e S 2246x503-9-1, tendo o tratamento S B21x2246-4 registado a menor taxa de senescência foliar (figura 18). Para os tratamentos usados como controle, não houve nenhuma variação, pois, as médias foram estatisticamente iguais.

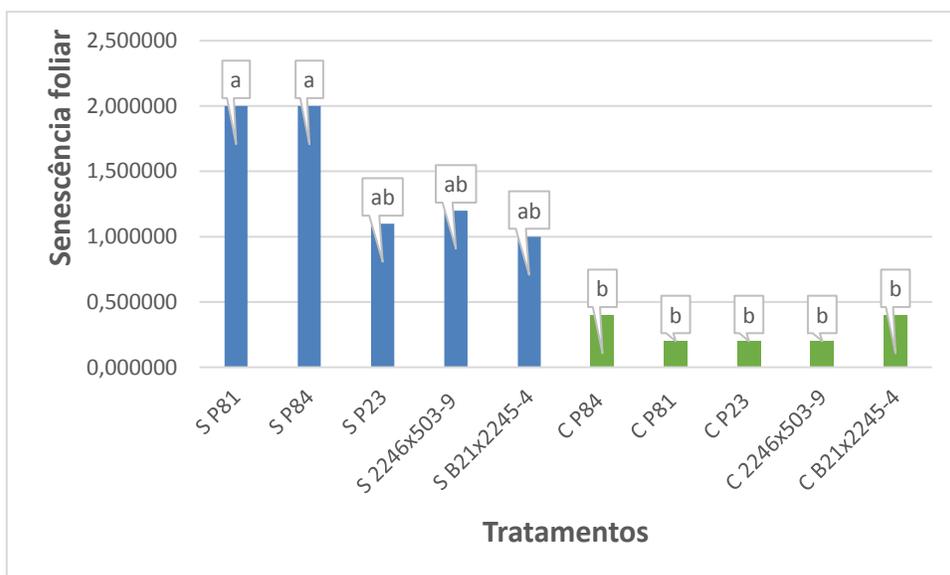


Figura 16. Frequência da expressão da senescência foliar após 12 dias do stress hídrico.

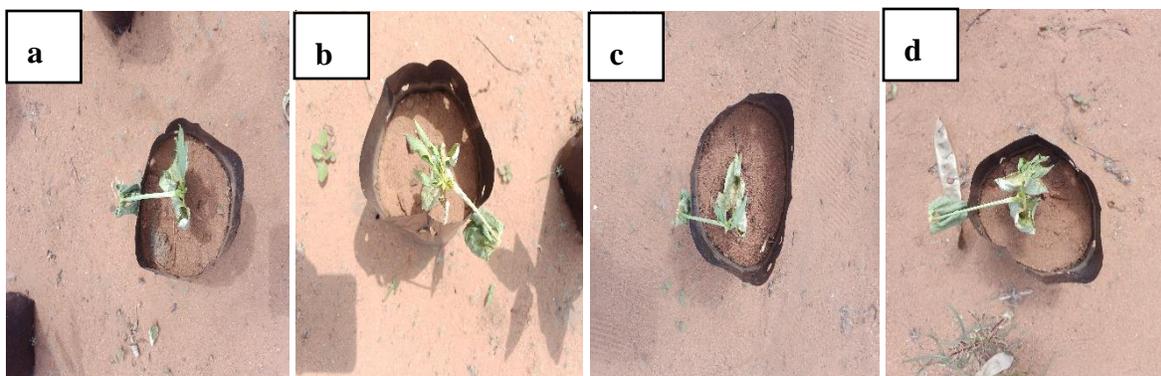


Figura 17. plantas com senescência foliar 10 dias após a imposição do stress hídrico: (a) S P81 na repetição 2; (b) S P81 na repetição 3; (c) S P81 na repetição 4; (d) tratamento S P81 na repetição 5.

Fotos: Autor.

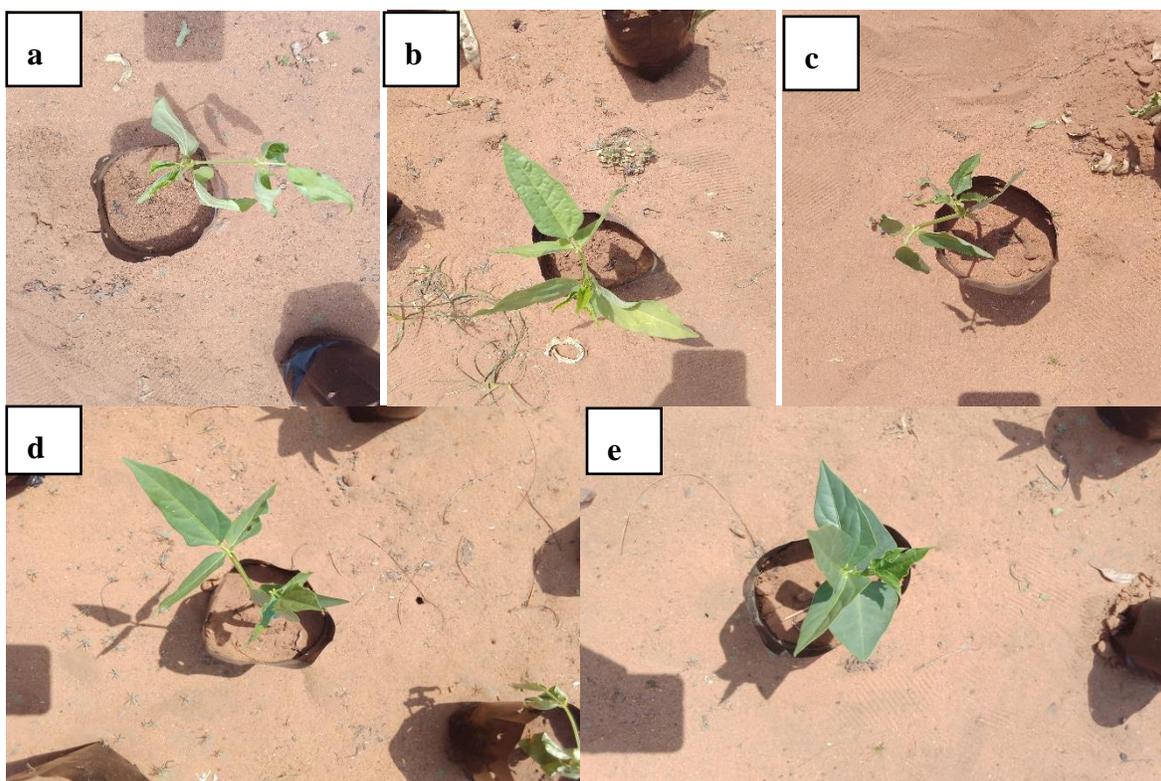


Figura 18. plantas sem senescência foliar 10 dias após a imposição do stress hídrico: (a) S B21x2245-4 na repetição 1; (b) S B21x2245-4 na repetição 3; (c) S B21x2245-4 na repetição 5, (d) S B21x2245-4 na repetição 2 e (e) S B21x2245-4 na repetição 4.

Fotos: Autor.

4.1.5. Cor da planta

Os tratamentos submetidos ao stress hídrico, diferiram significativamente entre si na cor da planta, desde a primeira semana até a morte do genótipo susceptível. A figura 19 ilustra a comparação de médias dos 10 tratamentos, da qual, pode se notar que os tratamentos S B21x2246-4 e S 2246x503-9-1 conseguiram manter o maior número de plantas com a cor verde durante o stress hídrico (figura 20), contrariamente do tratamento S P81 que teve a queda completa da cor das plantas (até a morte) seguido do tratamento S P84 (que conseguiu recuperar - se após a ré-irrigação) e S P23 (figura 21). Para os tratamentos usados como controlo, não houve nenhuma variação, pois, as médias foram estatisticamente iguais.

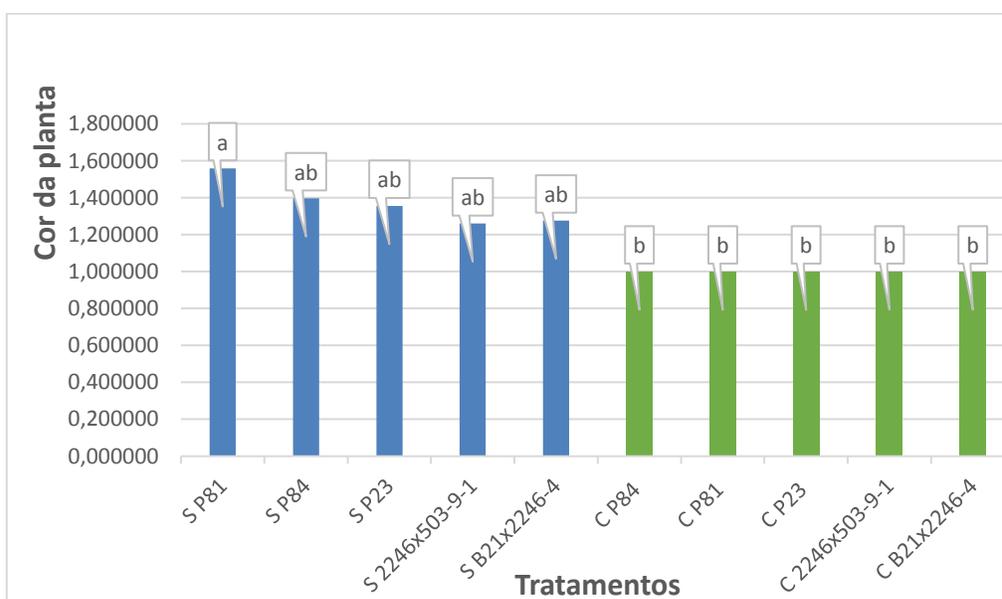


Figura 19. Frequência da expressão da cor da planta após 12 dias do stress hídrico (observado apenas quando o genótipo susceptível estava completamente morto).

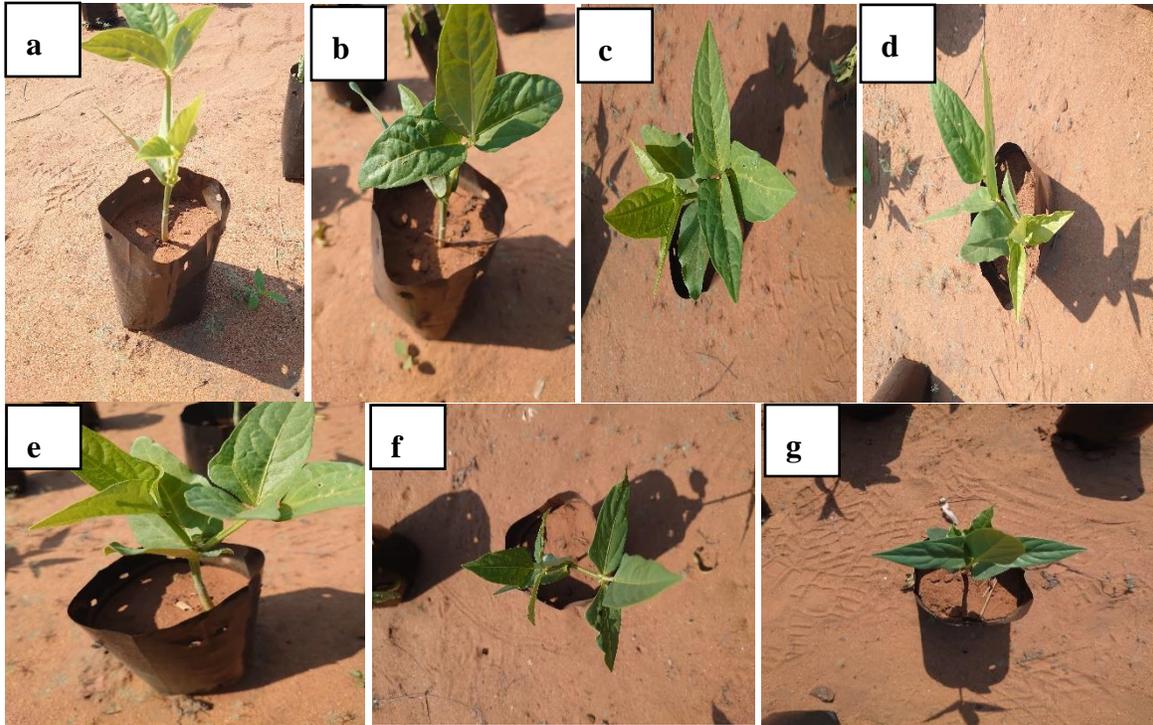


Figura 20. Plantas que conseguiram manter completamente a cor verde após 12 dias do stress hídrico: (a) S P81 na repetição 1; (b) S P23 na repetição 3; (c) S P23 na repetição 5; (d) S P84 na repetição 2, (e) S 2246x503-9-1 na repetição 4; e (f) S B21x2246-4 na repetição 2 e (g) S B21x2246-4 na repetição 4. Observado apenas quando o genótipo susceptível estava completamente morto.

Fotos: Autor.

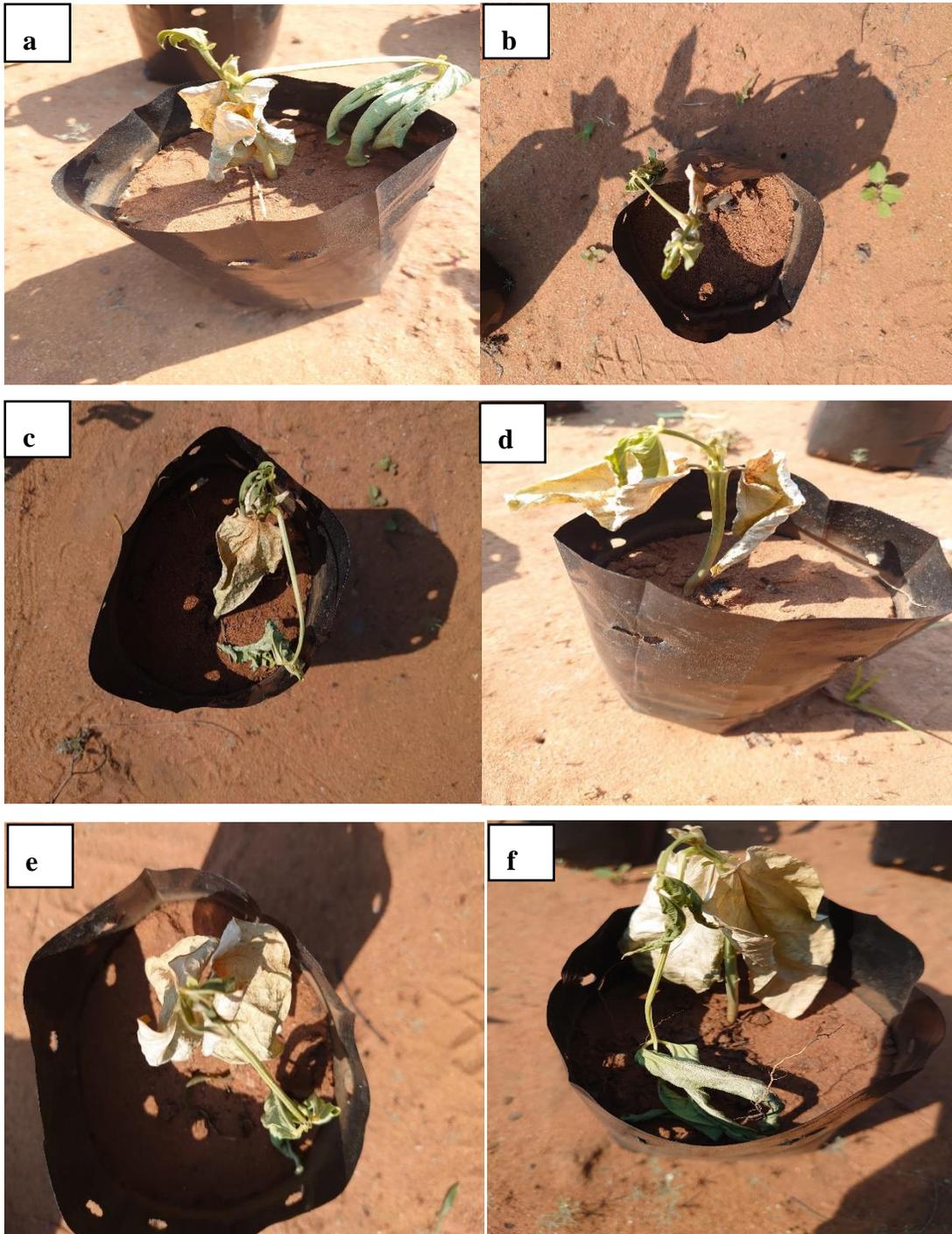


Figura 21. Plantas mortas após 12 dias do stress hídrico: (a) tratamento S P81 na repetição 2; (b) S P81 na repetição 3; (c) S P81 na repetição 4; (d) S P81 na repetição 5, (e) S P23 na repetição 2; e (f) S 2246x503-9-1 na repetição 3. Observado apenas quando o genótipo susceptível estava completamente morto.

Fotos: Autor.

4.1.6. Taxa de Recuperação

A percentagem de plantas mortas por genótipo foi registrada aos 12 dias após a imposição do stress hídrico. Nesse momento, alguns genótipos estavam completamente mortos, como mostra a figura anterior (figura 21). Esta variável foi registada apenas no regime stressado, pois no irrigado nenhuma planta sofreu stress. A percentagem de plantas recuperadas e mortas no stressado variou de 0% a 80% (figuras 22 e 23 respectivamente). Após duas semanas de ré-irrigação, alguns genótipos se recuperaram completamente (figura 25) enquanto que alguns estavam completamente mortos (figura 26). Os tratamentos S P84 (80%), S P23 (40%) e S B21x2246-4 (40%) apresentaram maiores taxas de recuperação, enquanto que os tratamentos S P81 (0%) e S 2246x503-9-1 (20%) indicando que os dois apresentaram menor taxa de recuperação.

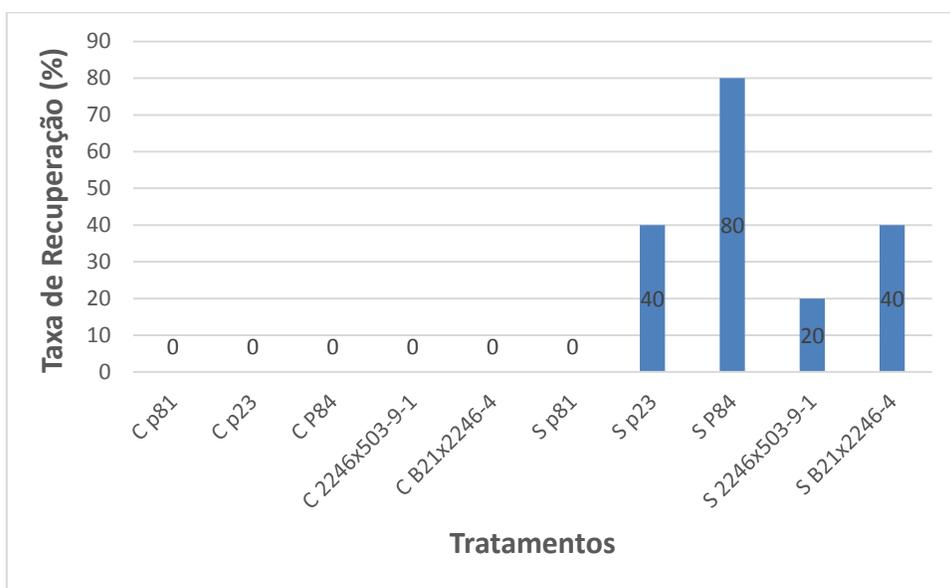


Figura 22. Percentagem de plantas recuperadas após 2 semanas de ré-irrigação.

Onde:

0 nos tratamentos controlo ou irrigado - todas as plantas foram sobreviventes;

0 nos tratamentos stressado ou com corte de rega - nenhuma recuperação das plantas.

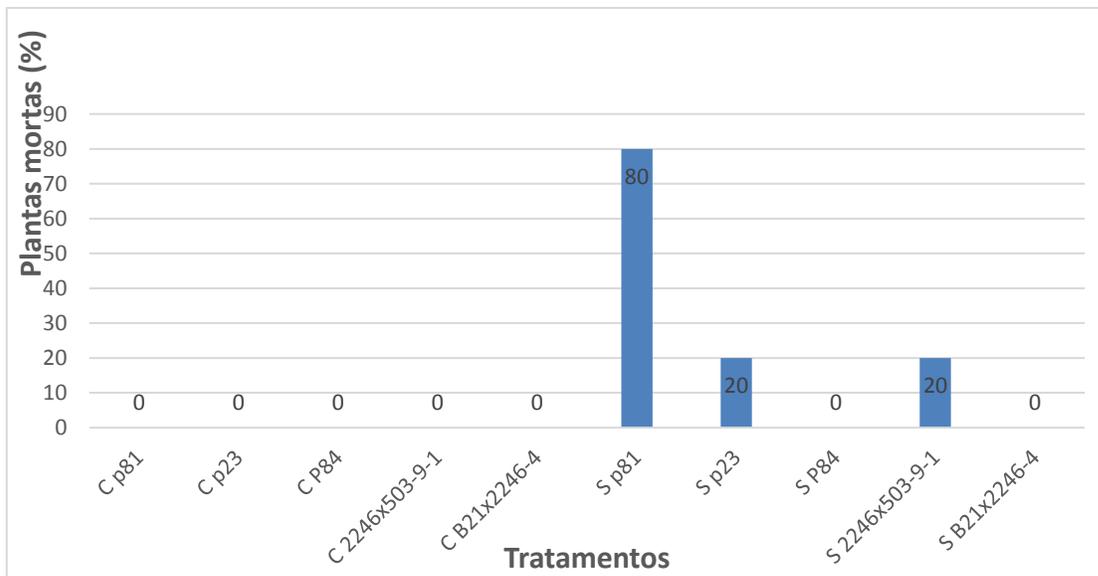


Figura 23. Percentagem de plantas mortas após 2 semanas de ré-irrigação.



Figura 24. Ambiente controlado após duas semanas de ré-irrigação.

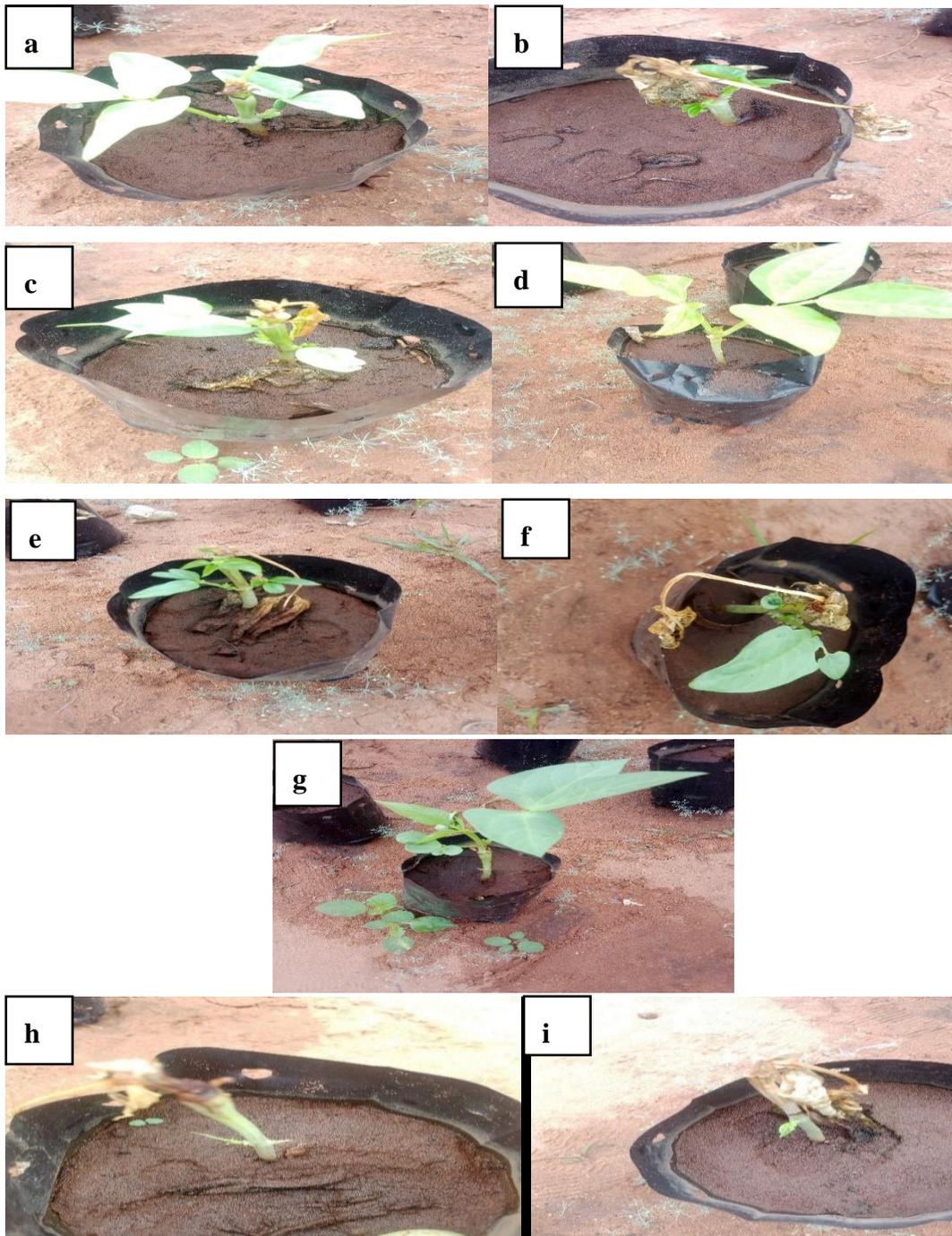


Figura 25. Plantas recuperadas após 2 semanas de ré-irrigação: (a) S P23 na repetição 1; (b) S P23 na repetição 4; (c) S P84 na repetição 1; (d) S P84 na repetição 3, (e) S P84 na repetição 4; (f) S P84 na repetição 5; (g) S 2246x503-9-1 na repetição 2; (h) S B21x2246-4 na repetição 1 e (i) S B21x2246-4 na repetição 3.

Fotos: Autor.

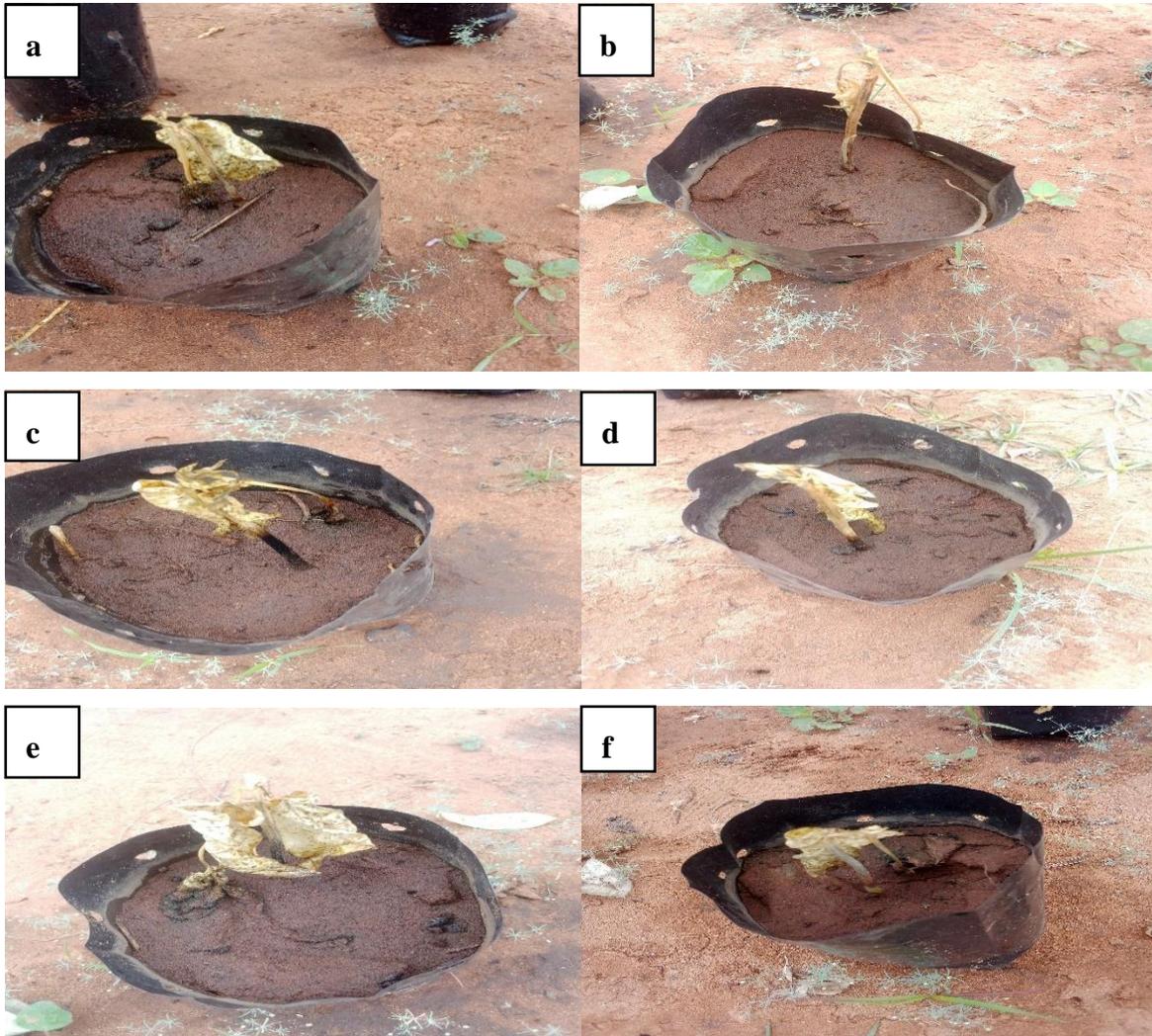


Figura 26. Plantas mortas após 2 semanas de ré- irrigação: (a)- S P81 na repetição 2; (b)- S P81 na repetição 3; (c)- S P81 na repetição 4; (d)- S P81 na repetição 5, (e)- S P23 na repetição 2; e (f)- S 2246x503-9-1 na repetição 3.

Fotos: Autor.

4.2. Discussão

A tolerância das culturas à seca é influenciada por uma variedade de factores, cada um desempenhando um papel essencial na adaptação ao stress hídrico. A temperatura, em particular, desempenha um papel crítico, acelerando o impacto do stress em condições extremas. Em temperaturas elevadas, como 39°C (registrados no presente estudo), observa-se uma rápida perda do teor relativo de água nas folhas das plantas mais suscetíveis, culminando em sua morte. Esse fenómeno foi sustentado por Daff (2011), que argumenta que a temperatura óptima para o crescimento e desenvolvimento das culturas situa-se em torno de 30°C. Além disso, estudos como os de Alidu e Pardi (2019), indicam que temperaturas acima desse limite intensificam o stress em culturas como o feijão nhemba.

O teor relativo de água nas folhas é, portanto, um indicador crucial da saúde das plantas, reflectindo sua capacidade de manter a coloração verde e o hábito saudável de crescimento, conforme destacado por Dedio (1975). Esse indicador não apenas monitora a tolerância ao stress, mas também aponta para possíveis mecanismos que podem minimizar os impactos negativos.

No presente estudo, observou-se uma redução progressiva da coloração foliar, da cor do caule e a ocorrência da murcha foliar, seguidos por senescência foliar, já na primeira semana de imposição do stress hídrico. Esses resultados são consistentes com os de Pungulani (2014), que, ao estudar o feijão nhemba, observou a murcha foliar e a senescência foliar na já primeira semana do stress hídrico. Esse comportamento reflecte a resposta rápida das plantas a condições adversas e destaca a sensibilidade inicial como um sinal de alerta para intervenção precoce. Essa observação sobre a murcha e senescência das folhas na primeira semana do stress hídrico é importante, pois indica uma resposta rápida das plantas a condições de stress. A maior parte destas plantas com índices de murchas foliar na primeira semana do stress hídrico foram dos tratamentos S P81 e do tratamento S P84. O Tratamento S P81 teve 80% de plantas mortas durante o período do stress hídrico enquanto que o tratamento S P84 teve muitas folhas senescentes (80%). Todavia, o tratamento S P84, apesar de se ter apresentado com um elevado número de folhas senescentes por causa do stress, este foi capaz de recuperar-se após a ré-irrigação. Esse comportamento foi atribuído à

tolerância à seca do Tipo 2, caracterizada pelo uso de água das folhas inferiores para sustentar o crescimento meristemático apical durante o stress (Pungulani, 2014). A coloração verde da planta mencionada como uma característica fundamental, mostrou ser também uma variável importante no presente estudo na identificação da tolerância ao stress hídrico. Os genótipos que conseguiram manter essa coloração, mesmo em condições de seca, apresentaram murcha lenta, sugerindo uma maior eficiência da água e maior capacidade de recuperação. Esse comportamento está em conformidade com os estudos de Ravelombola *et al.* (2018), e Verbrée *et al.* (2015), que observaram que a taxa de perda da coloração verde está directamente relacionada à susceptibilidade à seca.

Os resultados do presente estudo sugerem susceptibilidade do genótipo representado pelo tratamento S P81, moderadamente tolerantes os tratamentos S 2246x503-9-1 e S P23, e tolerantes os tratamentos S B21x2246-4 e S P84 ao stress hídrico, visto que apenas uma planta do tratamento S P81 conseguiu manter-se sobrevivente. Os tratamentos S 2246x503-9-1 e S P23 foram moderadamente tolerantes porque estes tiveram algumas plantas mortas durante o processo de stress hídrico e algumas plantas sofridas, mas que conseguiram recuperar-se após a ré- irrigação. Os tratamentos S B21x2246-4 e S P84 foram tolerantes pois todas as plantas foram sobreviventes embora que em algum momento sofreram no processo do stress, conseguiram recuperar-se completamente. A recuperação após o stress é um processo que envolve o rearranjo de muitas vias metabólicas para reparar os danos induzidos pela falta de água e retomar o crescimento das plantas. Anyia e Herzog (2004).

Os mecanismos de adaptação ao stress hídrico encontrados no presente estudo que contribuíram para minimizar as perdas de água durante o período do stress foram: enrolamento das folhas, redução da área foliar, posicionamento mais vertical das folhas e senescência foliar. Essas respostas fisiológicas e morfoanatômicas reflectem uma adaptação eficiente das plantas às condições de stress hídrico, permitindo maior sobrevivência em ambientes de baixa disponibilidade hídrica.

5. CONCLUSÃO

- Os genótipos responderam de maneiras diferentes à deficiência hídrica;
- Os genótipos apresentaram distintos mecanismos de tolerância à seca. O genótipo P84 demonstrou maior número de folhas senescentes durante o período de stress hídrico, mas evidenciou resiliência com a formação de novas folhas após o restabelecimento de água. Por outro lado, o genótipo B21x2246-4 apresentou maiores números de plantas com mecanismos de adaptação, como folhas enroladas, posicionamento mais vertical das folhas e redução da área foliar, mecanismos estes que contribuiriam para minimizar perdas de água durante o período do stress hídrico;
- A capacidade de regeneração pós-stress hídrico foi boa, visto que todas as plantas suscetíveis foram capazes de se recuperarem após a retoma da rega.

6. RECOMENDAÇÕES

- Recomenda-se que estes ensaios sejam repetidos com inclusão de mais genótipos, com vista a alargar o alcance das conclusões reveladas na presente pesquisa;
- Recomenda-se que nas próximas pesquisas estes trabalhos sejam realizados em estufas de modo que se ocorrer chuva não prejudique a pesquisa quando as plantas estiverem no período do stress hídrico;
- Os genótipos B21x2246-4 e P84 mostraram ser tolerantes ao stress hídrico durante a fase de plântula. Todavia, para que possam ser utilizados em cultivo em sequeiro, devem ser avaliados quanto à tolerância ao stress hídrico também até a fase reprodutiva.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alidu MS, Asante IK, Tongoona P, Ofori K, Danquah A, Padi FK, (2019). Desenvolvimento e Triagem de Linhagens Endogâmicas Recombinantes de Feijão-caupi para Tolerância à Seca em Mudas. **Journal of Plant Breeding and Crop Science**,doi:10.5897/JPBCS 2018.0768, v.11 p.1-10.
- De Andrade Jr, A. S.; Dos Santos, A. A.; Athayde Sobrinho, C.; Bastos, E. A.; Melo, F. de B.; Viana, F. M. P.; Freire, F. F. R.; Carneiro, J. da S.; Rocha, M. de M.; Cardoso, M. J.; Da Silva, P. H. S.; Ribeiro, V. Q, (2002). Cultivo do feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp). Teresina: Embrapa Meio-Norte,. P.108.
- Anjum, S., Xie, X., Wang, L. (2011). Morphological, physiological and biochemical responses f plants to drought stress. **African Journal of Agricultural Research**, v. 6, n. 9, p. 2026-2032.
- Anyia, A.O e Herzog, H. (2004). Variabilidade Genotípica no Desempenho e Recuperação da Seca em Feijão-caupi sob Ambiente Controlado. **Revista de Agronomia e Crop Science**, v.190, p.151-159. Barbosa, L. O.; Dresch, D. M.; Scalon, L.; Scalon, S. P. Q. (2021). Ecophysiological Strategies of Cedrela fissilis Vell. Seedlings under Conditions of Flooding and Light Availability. **Journal of Sustainable Forestry**, v. 41, n.9, p. 783-798.
- Aslam, M., Maqbool, MA, Cengiz, R. (2015). Efeitos da seca no milho. Em: “**Drought Stress in Maize (*Zea mays* L.)**”, Springer, Reino Unido, p. 1-79.
- Bassett, C. L. (2013).Water use and drought response in cultivated and wild apples. In: VAHDATI, K.; LESLIE, C. (Eds.). Abiotic Stress-Plant Responses and Applications in Agriculture, p. 249-275.
- Beebe, S.E.; Rao, I.M.; Blair, M.W.; Acosta-gallegos, J.A. (2013). Phenotyping Common Beans for Adaptation to Drought. **Front Plant Physiology**, v. 4, p. 1–20.
- Begg, J.E e Turner, N.C. (1976). Déficits de Água nas Culturas. **Adv. Agron.** v.28, p161-217.
- Botelho, S. M.; Rodrigues, J. E. L.; Teixeira, R. N.; Rocha, M. M. (2013). Rendimento de cultivares de feijão caúpi nas condições edafoclimáticas da região do marajó, Pará. III CONAC de feijão caúpi. Brasil, p.87.

- Carvalho, M., Lino-Neto, T., Rosa, E., Carnide, V., (2017). Cowpea: A legume crop for a challenging environment. J. Sci. Food Agric. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8250>. v.97, p.4273–4284.
- Chauhan, YS, Saxena, KB e Subbarao, GV, (2002). Experiências de campo triagem para tolerância à seca em feijão bóer. Em NP Saxena e JC O'Toole, editores. **Triagem de campo para tolerância à seca em plantas cultivadas com destaque para o arroz. Co-publicação do International Crops Research Institute para os Trópicos Semiáridos e a Fundação Rockefeller**, Patancheru, Índia.
- Clavel, D.; Drame.; N.K.; Roy-Macauley, H.; Braconnier, S.; Laffray, D (2005). Analysis of early responses to drought associated with field drought adaptation in four Sahelian groundnut (Arachis hypogaea L.) cultivars. Environment and Experimental Botany, v. 54, n. 3, p. 219–230.
- Crop Ontology.(2015). Crop Ontology for Plant Genomics and Breeding. Disponível em: [Crop Ontology](<http://www.cropontology.org>).
- Cordeiro, Y. E. M.; Pinheiro, H. A.; Filho, B. G. S.; Correa, S. S.; Silva, J. R. R. E.; Filho, M. B. D,(2009). Physiological and morphological responses of young mahogany (Swietenia macrophylla King) plants to drought. **Forest ecology and management**, v. 258, p. 1449-1455,.
- Costa, R. C. L.; Lobato, A. K. S.; Silveira, J. A. G.; Laughinghouse, H. D (2011). ABA mediated proline synthesis in cowpea leaves exposed to water deficiency and rehydration. **Turkish Journal of Agriculture & Forestry**, v. 35, n.3, p. 309-317.
- Cui, Q. (2019). Evaluation of Drought Tolerance in Arkansas Cowpea Lines at Seedling Stage. **Crop, Soil and Environmental Sciences Undergraduate Honors Theses Retrieved** from <https://scholarworks.uark.edu/csesuht/20>.
- Cunguara, B.; Garrett, J. (2013). Análise situacional, constrangimentos e oportunidades para o crescimento Agrário em Moçambique. **Direcção de Economia, Ministério da Agricultura, República de Moçambique. Relatório de Pesquisa**. p. 10-26.
- DAFF. Diretoria de Produção Vegetal (2011). Diretrizes de produção para feijão-fradinho. [www.arc.agric.za/Cowpea Production Guidelines.pdf](http://www.arc.agric.za/Cowpea%20Production%20Guidelines.pdf) (acessado em junho de 2019).
- Dedio, W. (1975). Relações hídricas em folhas de trigo como testes de triagem para resistência à seca. Posso. J. Plant Sci. p.369–378.

- Doddema, H. & O. Quilambo (2000). Fisiologia Vegetal II. Manual de aulas laboratoriais. UEM.
- Ehlres, J. D & Hall, A. E. (1997). Cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp). Field Crops Research. v.53 p.187-204.
- Fall, L., Diouf, D., Fall, A., Badiane, F.A., Gueye, M., (2003). Genetic diversity in cowpea [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] varieties determined by ARA and RAPD techniques. Afr. J. Biotechnol. <https://doi.org/10.5897/AJB2003.000-1009>. p.48–50.
- FAOSTAT. (2022). Statistics of cow peas, dry production. Disponível em <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>, acessado em 10/08/2024.
- Frahm, MA, JC Rosas, N. Mayek-Pérez, E. López-Salinas, JA Acosta-Gallegos, JD Kelly. (2004). Melhoramento de Feijão para Resistência à Seca Terminal nas Terras Baixas Tropicais. Eufítica v.136, p. 223-232.
- Freitas, J. B. S. (2006); Respostas fisiológicas ao estresse salino de duas cultivares de feijão caúpi. **Tese para título de Doutor em Bioquímica**. Universidade Federal de ceara-Fortaleza. p. 24-30.
- Freire, F.F.R.; Ribeiro, V.Q.; Rocha, M. de M.; Silva, K. J. D.; Nogueira, M.S.R.; Rodrigues, E.V (2011). Feijão-caupi do Brasil: produção, melhoramento genético, avanços e desafios. Teresina-PI: Embrapa Meio-Norte, p. 84.
- Freire, F. F. R.: Araujo, J. P. P. de & Watt, EE. (1988) **Genética do caupi**. O caupi no Brasil. Brasília, ITA/Embrapa., p. 194-222.
- Fruit, J., M. J. D. A., Chaves, L. S., & Azevedo, L. G.(2009). "Application of a Crop Ontology for increasing crop diversity in agricultural systems." In **Proceedings of the International Conference on Agricultural Research for Development (ICARD)**.
- Gonçalves, A., Goufo, P., Barros, A., Dominguez-Perles, R., Trindade, H., Rosa, E.A., Ferreira, L., Rodrigues, M., (2016). Cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp), a renewed multipurpose crop for a more sustainable agri-food system: Nutritional advantages and constraints. **J. Sci. Food Agric**. <https://doi.org/10.1002/jsfa.7644>. v.96, p.2941–2951.
- Hale, MG e Orcutt, DM, (1987). A fisiologia das plantas sob estresse. **Wiley Publicação Inter-Science**, Nova York.

- Hall, AE e Patel, PN, (1985). Criação de resistência à seca e ao calor. Em SR Singh e KO Rachie, eds. Pesquisa, produção de feijão-fradinho e utilização. John Willey and Sons, Nova York, p. 137-151.
- International Journal of BioSciences and Technology (2018), v. 11, Edição 1, p.1 – 19.
- INAM, estado do tempo da cidade de Maputo. Disponível em <https://pt.climate-data.org/africa/mocambique/maputo/maputo-535/>.
- INAM (2022). Dados de temperatura diária de 14 de Setembro a 25 de Outubro de 2022, Maputo. Disponível em <https://inam.gov.mz/>
- INGC. (2009). Impact of climate change on disaster risk in Mozambique: Main report. p.299.
- Kramer, PJ, (1980). O papel da fisiologia no melhoramento das culturas.. Em RC Stapes e RJ Kuhr, eds. Ligar a pesquisa à produção agrícola. Plenário Imprensa, Nova York, p. 51-62.
- Kanwal, S., Jamil, S., Afza, N., Ghafoor, I., Shehzadi, M., Kanwal, R., Iqbal, M.Z (2022) Tolerância à seca no arroz e papel dos genes WRKY. **Jornal de Ciências Animais e Vegetais**, v.32, p.615-630.
- Kumar, R. (2018) Desenvolvimento de resistência à seca em arroz. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, 7, 1439-1456.
- Larcher, W. (2000). Ecofisiologia Vegetal. São Carlos: Rima, p.531 .
- Larcher, W, (2006). Ecofisiologia vegetal. Tradução: Prado, C. H. B. A. São Carlos: Ed. Rima, p.531.
- Linhares, C. M. S.; Freitas, F. C. L.; Ambrósio, M. M. Q.; Nunes, G. H. S.; Silva, K. S. , (2018). Efeito de coberturas do solo sobre a podridão cinzenta do caule em *Vigna unguiculata*. Summa Phytopathol., Botucatu. Disponível: doi: 10.1590/0100-5405/174041, v. 44, n. 2, p. 148-155.
- Ludlow, MM e Muchow, RC, (1990). Uma avaliação crítica de características para melhorar rendimento da cultura em ambientes com escassez de água. Adv. Agro. v.43, p.107-153.
- MADER - Ministério da Agricultura e Desenvolvimento Rural. (2021). Inquérito Agrário Integrado 2020 Marco Estatístico. https://www.agricultura.gov.mz/wp-content/uploads/2021/06/MADER_Inquerito_Agrario_2020.pdf

- Maréchal, R.; Mascherpa, J. M.; Stainer, F. (1978). Étudetaxonomique d'un groupéd'especies des genres Phaseoluset Vigna (Papilionaceae) sur la base donesmorphologiques et polliniques, traitées pour l'analyseinformatique. Boisiera. v.28, p.270-273.
- Marenco, R. A., Lopes, N. F. (2005). Fisiologia vegetal: fotossíntese, respiração, relações hídricas e nutrição mineral. Viçosa MG: UFV, p.451.
- Meyer, B., D. B Anderson & R. H. Bohning (1963). *Introduction to plant physiology*. **D.Van Nostrand company, Inc.**, New Jersey, United States of America, p541.
- Mitra, J., (2001). Genética e melhoramento genético da resistência à seca em culturas plantas. Ciência atual. v.80, p.758-763.
- Moraes, J.V., (2011). Parâmetros biométricos, fisiológicos e bioquímicos em híbridos de Eucalyptus grandis x Eucalyptus urophylla sob diferentes regimes de irrigação em casa de vegetação. **Tese(doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias**, São Paulo, p.78.
- Muchero, W., Ehlers, J.D. and Roberts, P.A. (2008) Seedling Stage Drought Induced Phenotypes and Drought Responsive Genes in Diverse Cowpea Genotypes. **Crop Science**. <https://doi.org/10.2135/cropsci2007.07.0397>, p.48, 541.
- Nigam, SN, Nageswara-Rao, RC e Wright, GC (2002). Triagem de campo para tolerância à seca em amendoim. Em NP Saxena e JC O'Toole, editores. Triagem de campo para tolerância à seca em plantas cultivadas com destaque para o arroz. **Co-publicação do International Crops Research Institute para os Trópicos Semiáridos e a Fundação Rockefeller**, Patancheru, Índia. Pp. 147-151.
- Nkomo, G. V., Sadibe, M. M., and Mofokeng, M. A. (2020). Phenotyping cowpea accessions at the seedling stage for drought tolerance using the pot Method. **Agriculture Research Council Grain Crops, Potchefstroom**, South Africa, Department of Agriculture Central University of Technology Free State, p. 1-21.
- Nobrega, J. Q.; Rao, T. V. R.; Beltrao, N. E. de M.; Fideles Filho, J, (2001). Análise de crescimento do feijoeiro submetido a quatro níveis de humidade do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.5, n.3, p.437-443.
- Nooden, L.D.; Guiamet, J.J.; John, I, (1997). Senescence mechanisms. **Physiologia**

Plantarum, v.101, p.746-753.

- Onofre, A. V. C. (2008). Diversidade genética e avaliação de genótipos de feijão caúpi contrastantes para resistência aos stresses bióticos e abióticos com marcadores SSR, DAF e ISSR. Dissertação de Mestrado, UFPE, Recife. p. 63-74.
- Osakabe Y, Osakabe K, Shinozaki, K, Tran LSP (2014). Response of plants to water stress. Frontiers in plant science, 5, 86.
- Peel, M. C., Finlayson, B. L., & McMahon, T. A (2007). "Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification." **Hydrology and Earth System Sciences***, **11(5)**, 1633-1644. doi:10.5194/hess-11-1633-2007.
- Pungulani, LLM (2014). Explorando o Potencial Genético de Germoplasma Localmente Adaptado para Tolerância à Seca: Um Caso para Feijão-frade (Vigna unguiculata(L.) Walp).
- Ramanjulu, S. e Sudhakar, C., (2000). Metabolismo da prolina durante a desidratação em dois genótipos de amoreira com tolerância à seca contrastante. J. Plant Physiol. v.157, p.81-85.
- Ravelombola W, Shi A, Qin J, Weng Y, Bhattarai G, Zia B, Zhou W, Mou B (2018) Investigação sobre várias características acima do solo para identificar a tolerância à seca em mudas de feijão-fradinho. HortScience v.53(12) p.1757–1765.
- Reis, G. G.; Reis, M. G. F.; Maestri, M (1988). Crescimento e relações hídricas de mudas de Eucalyptus grandis e E. camaldulensis em tubetes sob três regimes de irrigação. Revista Árvore, v. 12, n. 2, p. 183-195,.
- Rosa, D. B. C. J.; Scalom, S. P. Q.; Dresch, D. M (2021). Shading for water stress mitigation in Copaifera langsdorffii Desf. Seedlings. South African Journal of Botany, v.140, p. 240-248.
- Salehi-Lisar, Y.; Bakhsha Yeshan-Agdam, H, (2016). Stress de Seca em Plantas: Causas, Consequências e Tolerância. Springer International Publishing. Tolerância ao stresse Seco em Plantas: Fisiologia e Bioquímica. v. 1, cap.1, p. 1-16.
- Sallam, A., Alqudah, AM, Dawood, MFA, Baenziger, PS, Börne, A. (2019) Tolerância ao estresse hídrico em trigo e cevada: avanços em fisiologia, melhoramento e pesquisa genética.
- Santos,C.A.F, (2011). Cultivares de feijão-caupi para o vale do São Francisco. Embrapa

informação Tecnológica. ISSN.(Circular Térmica 94). p.1808-9976.

Schneider, KA, R. Rosales-Serna, F. Ibarra-Perez, B. Cazares-Enríquez, JA Acosta-Gallegos, P. Ramirez-Vallejo, N. Wassimi e JD Kelly,(1997). Melhorar o desempenho do feijão comum sob stress hídrico. **Colheita Ciência.** v.37, p.43-50.

Sitoe, Tomás,(2005). Agricultura Familiar em Moçambique Estratégias de Desenvolvimento Sustentável [online] disponível:

<http://www.mef.gov.mz/index.php/documentos/instrumentos-de-gestao-economica-e-social/planos-estrategicos/planos-estrategicos-sectoriais/ministerio-da-agricultura-minag/89-agricultura-em-mocambique/file?force_download=1>

[Acessado em 27 de Setembro de 2016].

Szegletes, Z., Erdei, L., Tari, I. e Cseuz, L., (2000). Acumulação de os moprotetores em cultivares de trigo com diferentes tolerâncias à seca. *Cereal Res. Comum.* v.28 p.403-409.

Taiz, L.; Zeiger, E. (2009). Fisiologia vegetal. Porto Alegre: Artmed. v. 4 p.819.

Taiz, L.; Zeiger, E.; Moller, I. M.; Murphy, A (2017). Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal. Porto Alegre: Artmed, v.6 p.88.

Teófilo, E.M, Dutra, A.S., Pitimbeira, J.B., Dias, F.T.C. & Barbosa, F.S. (2008). Potencial fisiológicos de sementes de feijão-caupi produzidas em duas regiões do estado do Ceará. **Revista Ciência Agronômica,** v.39, p. 443-448.

Turner, NC, (1986). Déficits de água nas culturas: uma década de progresso. *Adv. Agron.* v.39 p.1-51.

Verbree DA, Singh BB, Payne WA (2015). Genética e herança tolerância à seca da parte aérea em mudas de feijão-caupi. **Crop Sci,** v.55, p.146–153

Verbrée, M., E. Horlings, P. Groenewegen, I. van der Weijden e P. van den Besselaar, (2015). Factores organizacionais que influenciam o desempenho académico: Um estudo multivariado de grupos de pesquisa biomédica. **Cienciometria,** v.102(1), p.25– 49.

Victorino, Iris & Pinto-Sintra, Ana Lúcia (2014). Estabelecimento de um Protocolo de Transformação Genética e Regeneração de Feijão Nhemba (*Vigna Unguiculata L. Walp*) [Online] disponível:

<<http://www.revistacientifica.uem.mz/index.php/scaf/article/download/61/45>>[Ac

essado em 17 de Setembro de 2022]

- Wahab, A., Abdi, G., Saleem, MH, Ali, B., Ullah, S., Shah, W., Marc, RA (2022). Respostas fisiobioquímicas e fitohormonais das plantas para aliviar os efeitos adversos do estresse da seca: uma revisão abrangente. **Plants**, v.11(13), p.1620.
- Walker, Tom, *et al.*; (2016); Avaliação dos Rumos da P&D do Feijão Nhemba no Programa “Feed the Future”, da USAID, em Moçambique em 2016 [online] disponível: <<http://fsg.afre.msu.edu/mozambique/WP80P.pdf>> [Acessado em 3 de Outubro de 2022].
- Weng, Y., A. Shi, WS Ravelombola, W. Yang, J. Qin, D. Motes, DO Moseley , Amer. J. e P. Chen. (2017). Método Arapid para medição do teor de proteína da semente em feijão-caupi (Vigna unguiculata (L.) Walp)). **Plant Sci**. v.8(10), p.2387–2396.
- Wien, HC, Littleton, EJ e Ayanaba, A., (1979). Stress de seca de feijão nhemba e soja em condições tropicais. Em H. Mussel e RC Staples, eds. Sstress fisiologia em plantas cultivadas. John Wiley and Sons, Inc, Nova York.
- WU, C.; Wang, Q.; Xie, B.; Wang, Z.; Cui, J.; HU, T, (2011). Effects of drought and salt stress on seed germination of three leguminous species. **African Journal Biotechnology**, v. 10, n. 78, p. 17954-17961.

ANEXO

1. ANEXO 1. Testes de normalidade

Tabela 1. Teste de normalidade para a variável cor das folhas

Kolmogorov-Smirnov: $D = 0.312325894929$ $pr < D = 0.067502453304$

Obs. Para amostras de dimensão superior ou igual a 30 aconselha-se o teste de Kolmogorov-Smirnov!

Tabela 2. Teste de normalidade para a variável cor do caule.

Kolmogorov-Smirnov: $D = 0.198285041356$ $pr < D = 0.230391234388$

Obs. Para amostras de dimensão superior ou igual a 30 aconselha-se o teste de Kolmogorov-Smirnov!

Tabela 3. Teste de normalidade para a variável murcha foliar.

Kolmogorov-Smirnov: $D = 0.274196177523$ $pr < D = 0.077530930134$

Obs. Para amostras de dimensão superior ou igual a 30 aconselha-se o teste de Kolmogorov-Smirnov!

Tabela 4. Teste de normalidade para a variável senescência foliar

Kolmogorov-Smirnov: D = 0.272357177884 pr<D = 0.039579641241

Obs. Para amostras de dimensão superior ou igual a 30 aconselha-se o teste de Kolmogorov-Smirnov!

Tabela 5. Teste de normalidade para a variável cor das plantas

Kolmogorov-Smirnov: D = 0.249122118519 pr<D = 0.075113443627

Obs. Para amostras de dimensão superior ou igual a 30 aconselha-se o teste de Kolmogorov-Smirnov!

2. ANEXO 2. Análises de variância para as variáveis colhidas no experimento

Tabela 1. Análise de variância da variável cor das folhas.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRATAMENTO	9	0.870337	0.096704	4.634	0.0003
erro	40	0.834687	0.020867		
Total corrigido	49	1.705024			
CV (%) =	12.63				
Média geral:	1.1436080	Número de observações:		50	

Tabela 2. Análise de variância da variável cor do caule.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRATAMENTO	9	0.187920	0.020880	5.534	0.0001
erro	40	0.150916	0.003773		
Total corrigido	49	0.338836			
CV (%) =	3.78				
Média geral:	1.6266920	Número de observações:		50	

Tabela 3. Tabela de análise de variância da variável murcha.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRATAMENTO	9	5.880000	0.653333	3.930	0.0012
erro	40	6.650000	0.166250		
Total corrigido	49	12.530000			
CV (%) =	89.30				
Média geral:	0.2800000	Número de observações:		50	

Tabela 4. Tabela de análise de variância da variável senescência foliar.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRATAMENTO	9	22.605000	2.511667	3.135	0.0060
erro	40	32.050000	0.801250		
Total corrigido	49	54.655000			
CV (%) =	65.89				
Média geral:	0.8700000	Número de observações:		50	

Tabela 5. Tabela de análise de variância da variável cor da planta.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRATAMENTO	9	1.994402	0.221600	4.649	0.0003
erro	40	1.906570	0.047664		
Total corrigido	49	3.900972			
CV (%) =	18.43				
Média geral:	1.1847400	Número de observações:		50	

Tabela 6. Tabela de análise de variância da variável cor do caule

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRATAMENTO	9	0.187920	0.020880	5.534	0.0001
erro	40	0.150916	0.003773		
Total corrigido	49	0.338836			
CV (%) =	3.78				
Média geral:	1.6266920	Número de observações:		50	

Tabela 7. Tabela de análise de variância da variável Murcha

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRATAMENTO	9	5.880000	0.653333	3.930	0.0012
erro	40	6.650000	0.166250		
Total corrigido	49	12.530000			
CV (%) =	72.30				
Média geral:	0.3800000	Número de observações:		50	

Tabela 8. Tabela de análise de variância da variável senescência foliar

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRATAMENTO	9	22.605000	2.511667	3.135	0.0060
erro	40	32.050000	0.801250		
Total corrigido	49	54.655000			
CV (%) =	88.89				
Média geral:	0.8700000	Número de observações:	50		

Tabela 9. Análise de variância da variável cor da planta

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRATAMENTO	9	1.994402	0.221600	4.649	0.0003
erro	40	1.906570	0.047664		
Total corrigido	49	3.900972			
CV (%) =	18.43				
Média geral:	1.1847400	Número de observações:	50		

3. ANEXO 3. Layout do ensaio

P81	P23	P84	2246x503-9- 1	B21x2246-4
P23	P84	B21x2246-4	P81	2246x503-9- 1
P81	2246x503-9- 1	P23	P84	B21x2246-4
2246x503-9- 1	P23	P84	B21x2246-4	P81
B21x2246-4	P81	2246x503-9- 1	P23	P84