

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**PLANTAS DE AMENDOIM (*Arachis hypogaea* L.) SUBMETIDAS À
DEFICIÊNCIA HÍDRICA E A INFLUÊNCIA DA ASSOCIAÇÃO
COM FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES E EXTRATOS
DE ALGAS MARINHAS.**

RENATA BRUNA DOS SANTOS COSCOLIN

Tese apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da UNESP – Campus de
Botucatu, para a obtenção do título de Doutora
em Agronomia (Irrigação e Drenagem).

BOTUCATU – SP

Novembro – 2016

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**PLANTAS DE AMENDOIM (*Arachis hypogaea* L.) SUBMETIDAS À
DEFICIÊNCIA HÍDRICA E A INFLUÊNCIA DA ASSOCIAÇÃO
COM FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES E EXTRATOS
DE ALGAS MARINHAS.**

RENATA BRUNA DOS SANTOS COSCOLIN

Orientador: Prof. Dr. Fernando Broetto

Tese apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da UNESP – Campus de
Botucatu, para a obtenção do título de Doutora
em Agronomia (Irrigação e Drenagem).

BOTUCATU – SP

Novembro – 2016

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - DIRETORIA TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

C834p Coscolin, Renata Bruna dos Santos, 1982-
Plantas de amendoim (*Arachis hypogaea* L.) submetidas à deficiência hídrica e a influência da associação com fungos micorrízicos arbusculares e extratos de algas marinhas / Renata Bruna dos Santos Coscolin. - Botucatu : [s.n.], 2016
xvii, 122 f. : fot. color., grafs. color., ils. color., tabs.

Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu, 2016
Orientador: Fernando Broetto
Inclui bibliografia

1. Amendoim - Cultivo. 2. Desidratação (Hídrica). 3. Amendoim - Resistência à seca. 4. Fungos micorrízicos. 5. Alga marinha. I. Broetto, Fernando. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Câmpus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônomicas. III. Título.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: PLANTAS DE AMENDOIM (*Arachis hypogaea* L.) SUBMETIDAS À DEFICIÊNCIA HÍDRICA E INFLUÊNCIA DA ASSOCIAÇÃO COM FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES E EXTRATOS DE ALGAS MARINHAS

AUTORA: RENATA BRUNA DOS SANTOS COSCOLIN

ORIENTADOR: FERNANDO BROETTO

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em AGRONOMIA (IRRIGAÇÃO E DRENAGEM), pela Comissão Examinadora:



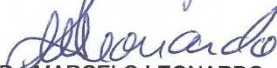
Prof. Dr. FERNANDO BROETTO

Depto de Química e Bioquímica / Instituto de Biociências de Botucatu



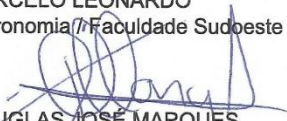
Prof. Dr. ROBERTO LYRA VILLAS BOAS

Depto de Solos e Recursos Ambientais / Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu



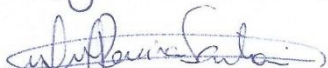
Prof. Dr. MARCELO LEONARDO

Depto de Agronomia / Faculdade Sudoeste Paulista - Avaré



Prof. Dr. DOUGLAS JOSÉ MARQUES

Depto Curso de Agronomia-Olericultura / Universidade José do Rosário Vellano - UNIFENAS



Profa. Dra. MARIA MÁRCIA PEREIRA SARTORI

Depto de Produção e Melhoramento Vegetal / Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu - UNESP

Botucatu, 17 de novembro de 2016.

AGRADECIMENTOS

A Deus, minha fortaleza de proteção e alegria diária.

Minha família, a qual cada integrante foi responsável pelo que hoje acredito e busco em todos os campos da minha vida. Começo pelas “crianças” maiores de 80 anos Mariana e Joarez responsáveis pelo início do bem mais precioso que alguém pode ter a FAMÍLIA.

Minha tia Anacê, agradeço por toda ajuda e compreensão assim como em todos os momentos importantes da minha vida pude contar com sua ajuda e obrigada por sempre colaborar para meu crescimento profissional, sem você esse título seria mais difícil.

A minha doce, amada e incrível mãe Ana, fonte inesgotável do meu amor, força, ternura e exemplo. Aprendi com ela a ser forte e ter caráter sem perder a ternura. Obrigada por me fazer essa mulher não perfeita, mas aquela que pode contribuir por cada gesto e esforço que fez. A concretização desse doutorado se tornou mais especial por poder dividir e comemorar com uma pessoa incrível como você. Quem te conhece sabe o que estou falando e o prazer e honra de ser sua filha é algo que não se explica só se sente. E faço questão de sempre alimentar esse amor todos os dias.

A família Favan: Sr. Benedito, D. Terezinha, Fernanda, Paula, Marquinhos e Fernando por me aceitarem e compartilharem toda a alegria desta família, pelo apoio, pelos momentos de descontração, independente do tanto de coisas que tinha que fazer, pela ajuda no laboratório e presença no grande dia da minha defesa.

Em especial ao meu “quase noivo” João Ricardo Favan que por obra de Deus reencontrei no início do doutorado. Ele acompanhou e participou ativamente de todo esse momento acadêmico e pessoal de minha vida sendo peça fundamental não só para finalizar esse trabalho mais com ele aprendi a ter calma e fui capaz de vivenciar momentos que levarei para o resto da minha vida.

Também quero agradecer à Bárbara Fernandes e Raquel Berna, companheiras da Rep. Harmonia, e em especial a Marcella Guerreiro, com quem vivi por três maravilhosos anos e a quem aprendi a admirar pela força e sensibilidade, obrigado por todos os momentos de harmonia que vivemos juntas, mais um presente que Botucatu me deu.

Aos meus irmãos científicos Erica, Dayanne, Enrique, Luz Maria, Jessica e Edilson, pela ajuda, suporte e risadas. Não é fácil a convivência entre “irmãos” pois não escolhemos, mas de coração eu agradeço todos pois vocês foram fundamentais para a

conclusão desse trabalho e por momentos maravilhosos que vivemos. Saibam que torço por todos e quero que cada um tenha um caminho brilhante.

Aos colegas Vitor, Mariana, Mikael, João Paulo, Elton, Grasiela, Chocolate, Cruz, Diogo e Lígia pela ajuda e disponibilidade no momento que mais precisei meus sinceros agradecimentos. Em especial à Jéssica Malheros, pessoa muito querida que no doutorado tive o prazer de ficar mais próxima e mesmo com toda pressão, junto com a “Kinha”, nos divertimos muito, sempre dando força e desabafando umas com as outras.

Minha madrinha, Nathalia que foi outro presente que ganhei de Botucatu. Pessoa incrível e um exemplo de fé, foco e determinação.

Ao quarteto fotossintético: Aline, Ma. Cecília e Elialdo pela alegria e disposição e bons momentos durante as disciplinas.

A Gloria, pessoa especial que convivi durante todo o doutorado e quem ajudou a manter a calma e estabilidade nos momentos de maior turbilhão.

Ao meu orientador de muitos anos Fernando Broetto, exemplo de pesquisador, pela amizade e pela oportunidade oferecida de conhecer o instituto de pesquisa na Espanha CEBAS.

A Prof^a Adriana Parada do Instituto Agrônomo de Campinas, não só pelo fornecimento dos isolados dos fungos mas pelo envolvimento, treinamento e conselhos profissionais também pela confiança, gentileza e uma palavra positiva e acolhedora sem dizer na disposição para solucionar minhas dúvidas. Tudo isso regado a um bom cafezinho.

A Prof.^a Márcia Sartori não só pela orientação estatística e envolvimento com este trabalho, mas também pela paciência e pelas palavras de que tudo daria certo. A cada reunião era como se uma tonelada saísse das minhas costas. Obrigada pela confiança.

Ao Instituto Agrônomo de Campinas pelo fornecimento das sementes e pela estrutura e treinamento da parte microbiológica, em especial a técnica de laboratório Rose pelos ensinamentos.

E a todos que estiveram envolvidos direta ou indiretamente, minha eterna gratidão.

*“Nada te perturbe,
nada te amedronte,
tudo passa,
a paciência tudo alcança.
A quem tem Deus nada falta.
Só Deus basta.”*

Santa Teresa D’Ávila

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	3
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
2.1	Aspectos da cultura do Amendoim (<i>Arachis hypogaea</i> L.).....	5
2.2	Fisiologia do estresse abiótico – Deficiência hídrica	8
2.3	Influência da associação com fungos micorrízicos arbusculares em plantas sob deficiência hídrica (DH)	11
2.4	Uso de extrato de algas marinhas na agricultura	13
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	15
3.1	Instalação e localização dos experimentos I e II	15
3.2	Experimento I (IAC Runner 886) - Amostragem de solo, correção, adubação e tratos culturais	16
3.3	Experimento II (IAC Tatu ST) - Amostragem de solo, correção, adubação e tratos culturais	17
3.3.1	Curva de retenção de água do solo	18
3.4	Sistema de irrigação.....	20
3.5	Uniformidade de irrigação.....	21
3.6	Monitoramento do teor de água no solo	22
3.7	Manejo da irrigação	22
3.8	Inoculação dos fungos micorrízicos arbusculares (FMAs)	23
3.9	Aplicação do extrato solúvel de alga marinha.....	24
3.9.1	Condições ambientais de cultivo dos experimentos I e II	24
3.10	Delineamento experimental e tratamentos	27
3.11	Análises dos parâmetros biométricos	29
3.11.1	Comprimento de plantas.....	29
3.11.2	Área foliar.....	29
3.11.3	Determinação da massa de matéria fresca e seca da parte aérea.....	29
3.11.4	Massa de matéria fresca e seca de raiz	29
3.11.5	Índices de crescimento.....	30
3.12	Relações hídricas	30
3.12.1	Conteúdo relativo de água na folha (CRA)	30
3.12.2	Potencial hídrico foliar	30
3.13	Determinação das características fisiológicas	31

3.13.1	Trocas gasosas	31
3.13.2	Índice SPAD	31
3.13.3	Teor de clorofilas <i>a</i> e <i>b</i>	31
3.13.4	Avaliação nutricional dos tecidos vegetais.....	32
3.14	Análises bioquímicas.....	32
3.14.1	Coleta e armazenamento do material vegetal	32
3.14.2	Procedimentos para obtenção do extrato bruto.	32
3.14.3	Determinação do teor de proteína solúvel total.....	33
3.14.4	Determinação do teor de L-prolina.....	33
3.14.5	Atividade da enzima Superóxido Dismutase (SOD; EC 1.15.1.1).....	33
3.14.6	Atividade da enzima Catalase (CAT; EC 1.11.1.6).....	34
3.14.7	Atividade da enzima Peroxidase (EC 1.11.1.7).....	34
3.14.8	Atividade da enzima Nitrato Redutase	35
3.14.9	Determinação do teor de açúcares totais	35
3.15	Análises microbiológicas.....	35
3.16	Componentes da produção.....	37
3.17	Análise estatística	37
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
4.1	Experimento I- IAC Runner	41
4.1.1	Tensões e lâminas aplicadas	41
4.1.2	Primeiro período de avaliação (P1)	42
4.1.3	Segundo e terceiro períodos de avaliação (P2 e P3).....	44
4.1.3.1	Relações hídricas	44
4.1.3.2	Biometria	48
4.1.3.3	Trocas gasosas	55
4.1.3.4	Análises bioquímicas	62
4.1.3.5	Atributos microbiológicos	68
4.1.3.6	Indicadores de produção	73
4.2	Experimento II- IAC cv. Tatu ST.....	75
4.2.1	Tensões e lâminas aplicadas	75
4.2.2	Primeiro período de avaliação (P1)	76
4.2.3	Segundo e terceiro período de avaliação (P2 e P3)	77
4.2.3.1	Relações hídricas	77
4.2.3.2	Biometria	78

4.2.3.3	Teores de nutrientes na planta.....	86
4.2.3.4	Trocas gasosas	88
4.2.3.5	Análises bioquímicas.	88
4.2.3.6	Atributos microbiológicos	97
4.2.3.7	Indicadores de produção	101
4.3	Considerações finais sobre o comportamento dos cultivares de amendoim IAC Runner 886 e IAC Tatu ST, cultivados em associação de FMAs e aplicação do ESA em condições hídricas adequadas de cultivo e sob deficiência hídrica....	103
4.3.1	Fertilidade do solo ao final do experimento I e II	103
4.3.2	Biométricos.....	103
4.3.3	Trocas gasosas e relações hídricas.....	105
4.3.4	Análises bioquímicas	105
4.3.5	Análises microbiológicas.....	106
4.3.6	Índices de produção.	107
	Convém evidenciar também que o cultivo em estufa agrícola em vaso é limitante para expressão total do potencial produtivo da cultura, em especial as pertencentes ao grupo das grandes culturas como o amendoim.....	107
	Para o presente estudo, não foram utilizados manejos para suplementação da adubação de plantio, pois segundo a literatura consultada os benefícios promovidos por esses microorganismos seriam mais pronunciados em solos sem altos níveis de nutrientes	107
5	CONCLUSÃO.....	108
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	109
7	APÊNDICE	120
7.1	Manejo dos Experimentos	120
7.2	Fotos:	121
7.3	Fluxogramas	121

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa da produção agrícola - 2014/15.....	7
Figura 2. Vistas interna (A) e externa (B) da estufa agrícola utilizada nos experimentos.	15
Figura 3. Vaso utilizado nos experimentos I e II.....	16
Figura 4. Curva de retenção de água no solo utilizada durante os experimentos.....	19
Figura 5. Visão geral do sistema de irrigação: (A) Ponto de captação de água (B) Conjunto motobomba (C) linha principal (D) linhas de derivação.	20
Figura 6. Gotejadores, micro tubos e flechas gotejadoras utilizadas no sistemas de irrigação.....	21
Figura 7. Tensiômetros e tensímetro utilizados para leitura diárias das tensões do teor de água no solo.....	22
Figura 8. Inoculação dos isolados FMAs IAC 5 e IAC 44.....	24
Figura 9. Termo-higrômetro digital.....	25
Figura 10. Déficit de pressão de vapor do experimento I.....	26
Figura 11. Déficit de pressão de vapor do experimento II	26
Figura 12. Ilustração do esquema de instalação do sistema de irrigação e tratamentos aplicados	28
Figura 13. Placa circular concêntrica e microscópio USB	36
Figura 14. (A) Raízes de amendoim clarificadas com KOH, (B) lâminas contendo segmentos de raízes de amendoim coradas com azul de triptofano.	36
Figura 15. Análise de componentes principais (PCA) por lâmina de aplicação na presença ou ausência do ESA para as variáveis biométricas, trocas gasosas, relações hídricas, análise foliar de nutrientes e indicadores de produção, dos períodos 2 e 3 e índices de produção e plantas de amendoim cv. Runner 886.	38
Figura 16. Análise de componentes principais (PCA) por lâmina de aplicação na presença ou ausência do ESA para as variáveis bioquímicas e microbiológicas dos períodos 2 e 3 de amendoim cv. Runner 886.	38
Figura 17. Análise de componentes principais (PCA) por lâmina de aplicação na presença ou ausência do ESA para as variáveis biométricas, trocas gasosas, relações hídricas, análise foliar de nutrientes e indicadores de produção, dos períodos 2 e 3 e índices de produção no cultivar Tatu ST.	39

Figura 18. Análise de componentes principais (PCA) por lâmina de aplicação na presença ou ausência do ESA para as variáveis bioquímicas, microbiológicas dos períodos 2 e 3 e índices de produção no cultivar Tatu ST.	40
Figura 19. Valores de tensão de água (kPa) no solo para os períodos 1 2 e 3 dos tratamentos 100%, 75% e 45%, no período de 22 de Abril a 29 de julho 2015.....	42
Figura 20 Valores de tensão de água (kPa) no solo para os períodos 1 2 e 3, no período de 27 de outubro de 2015 a 20 de janeiro de 2016.....	75

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Caracterização química inicial do solo do experimento I.....	16
Tabela 2. Caracterização química do solo II experimento com inoculação de FMAs ...	17
Tabela 3. Caracterização química do solo II experimento sem inoculação de FMAs....	18
Tabela 4. Caracterização química do solo II experimento sem inoculação de FMAs....	18
Tabela 5. Caracterização química do solo II experimento com inoculação de FMAs. ..	18
Tabela 6. Parâmetros do modelo de Van Genuchten para camada 0 a 0,20 m de solo. .	19
Tabela 7. Períodos de amostragem para os experimento I	27
Tabela 8. Períodos de amostragem para os experimento II.....	27
Tabela 9. Delineamento experimental para os experimentos I e II com <i>A. hypogaea</i> em P1.....	27
Tabela 10. Delineamento experimental no esquema fatorial 3 x 2 x 2 para os experimentos com D.H em <i>A. hypogaea</i> em P2 e P3.	28
Tabela 11. Variáveis biométricas e de trocas gasosas do 1º experimento com amendoim cv. IAC Runner.....	43
Tabela 12. Ψ foliar (kPa) em amendoim cv. Runner 886 cultivado em associação com FMAs e suplementado com ESA no segundo período de avaliação.	44
Tabela 13. Ψ foliar (kPa) em amendoim cv. Runner 886 cultivados sob diferentes níveis de água em associação com FMAs no segundo período de avaliação.	45
Tabela 14. CRA (%) em amendoim cv. Runner 886 cultivados sob diferentes níveis de água sob efeito da inoculação dos FMAs no segundo período de avaliação.....	45
Tabela 15. Ψ foliar (kPa) em amendoim cv. Runner 886 cultivado em associação com FMAs e suplementado com ESA no terceiro período de avaliação.	46
Tabela 16. Ψ foliar (kPa) em amendoim cv. Runner 886 cultivados sob diferentes níveis de água em associação com FMAs no terceiro período de avaliação.	47
Tabela 17. CRA (%) em amendoim cv. Runner 886 cultivados sob diferentes níveis de água suplementados com ESA no terceiro período de avaliação.	47
Tabela 18. Valores médios (n=4) de MSF (g) em amendoim cv. Runner 886 em associação com FMAs e suplementado pelo ESA no segundo período de avaliação. ...	48
Tabela 19. MFR e MSR (g) em amendoim cv. Runner 886 cultivado em associação com FMAs e suplementado com ESA no segundo período de avaliação.	48
Tabela 20. MFR (g) em amendoim cv. Runner 886 cultivados sob diferentes níveis em associação com FMAs no segundo período de avaliação.....	49

Tabela 21. Comprimento de raiz (cm) em amendoim cv. Runner 886 cultivados em associação com FMAs e suplementado pelo ESA no segundo período de avaliação. ...	50
Tabela 22. Comprimento de raiz (cm) em amendoim cv. Runner 886 cultivados sob diferentes níveis de água em associação com FMAs no segundo período de avaliação.	50
Tabela 23. MFF (g) em amendoim cv. Runner 886 cultivados em associação com FMAs e suplementado pelo ESA no segundo período de avaliação.	52
Tabela 24. MFF (g) em amendoim cv. Runner 886 cultivados sob diferentes níveis de água em associação com FMAs no terceiro período de avaliação.	52
Tabela 25. MFC e MSC (g) em amendoim cv. Runner 886 cultivados em associação com FMAs e suplementado com ESA no terceiro período de avaliação.	53
Tabela 26. Valores médios (n=4) de MFC e MSC (g) em amendoim cv. Runner 886 cultivados sob diferentes níveis de água em associação com FMAs no terceiro período de avaliação.	53
Tabela 27. Taxa de assimilação líquida de CO ₂ (A) (μmol CO ₂ m ² s ⁻¹) em amendoim cv. Runner 886 cultivados em associação com FMAs e suplementado com ESA no segundo período de avaliação.	55
Tabela 28. Taxa de assimilação líquida de CO ₂ (A) (μmol CO ₂ m ² s ⁻¹) em amendoim cv. Runner 886 cultivados sob diferentes níveis de água em associação com FMAs no segundo período de avaliação.	56
Tabela 29. Taxa de assimilação líquida de CO ₂ (A) (μmol CO ₂ m ² s ⁻¹) em amendoim cv. Runner 886 cultivados em associação com FMAs e suplementado com ESA no terceiro período de avaliação.	57
Tabela 30. Taxa de assimilação líquida de CO ₂ (A) (μmol CO ₂ m ² s ⁻¹) em amendoim cv. Runner 886 cultivados sob diferentes níveis de água em associação com FMAs no terceiro período de avaliação.	57
Tabela 31. Concentração interna de carbono (C _i) (μmol CO ₂ m ⁻² s ⁻¹) em amendoim cv. Runner 886 cultivados sob diferentes níveis de água em associação com FMAs no terceiro período de avaliação.	59
Tabela 32. Concentração interna de carbono (C _i) (μmol CO ₂ m ⁻² s ⁻¹) em amendoim cv. Runner 886 cultivados sob diferentes níveis de água em associação com FMAs no terceiro período de avaliação.	60
Tabela 33. Transpiração (E) (mol H ₂ O m ⁻² s ⁻¹) em amendoim cv. Runner 886 cultivados em associação com FMAs suplementado com ESA no terceiro período de avaliação. .	61

Tabela 34. Transpiração E ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) (E) ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) em amendoim cv. Runner 886 cultivados sob diferentes níveis de água sob efeito da inoculação dos FMAs no terceiro período de avaliação.....	61
Tabela 35. Atividade da enzima catalase (CAT) ($\mu\text{Kat } \mu\text{g proteína}^{-1}$) em folhas de amendoim cv. Runner 886 cultivados em associação com FMAs sob diferentes níveis de água suplementado com ESA no segundo período de avaliação.....	62
Tabela 36. Atividade da enzima catalase (CAT) ($\mu\text{Kat } \mu\text{g proteína}^{-1}$) em folhas de amendoim cv. Runner 886 sob diferentes níveis de água suplementados com ESA no segundo período de avaliação.....	63
Tabela 37. Atividade da enzima superóxido dismutase (SOD) ($\text{UI } \mu\text{g proteína}^{-1}$) em folhas de amendoim cv. Runner 886 cultivados em associação com FMAs e suplementado com ESA no terceiro período de avaliação.	64
Tabela 38. Atividade da enzima superóxido dismutase (SOD) ($\text{UI } \mu\text{g proteína}^{-1}$) em folhas de amendoim cv. Runner 886 cultivados sob diferentes níveis de água em associação com FMAs no terceiro período de avaliação.....	65
Tabela 39. Concentração de L-prolina ($\mu\text{mol g}^{-1} \text{ MF}$) em folhas de amendoim cv. Runner 886 cultivados em associação com FMAs e suplementado com ESA no terceiro período de avaliação.	66
Tabela 40. Concentração de L-prolina ($\mu\text{mol g}^{-1} \text{ MF}$) em folhas de amendoim cv. Runner 886 cultivados sob diferentes níveis de água associado com FMAs no segundo período de avaliação.	67
Tabela 41. Teor de açúcares totais (AST) ($\text{mg.g}^{-1} \text{ MS}$) em folhas de amendoim cv. Runner 886 cultivado em associação com FMAs e suplementado com ESA no terceiro período de avaliação.	68
Tabela 42. Teor de açúcares totais (AST) ($\text{mg.g}^{-1} \text{ MS}$) em folhas de amendoim cv. Runner 886 cultivados sob diferentes níveis de água sob efeito da inoculação dos FMAs no terceiro período de avaliação.....	68
Tabela 43. Colonização radicular (%) em plantas de amendoim cv. Runner 886 cultivados em associação com FMAs e suplementados com ESA no terceiro período de avaliação.	69
Tabela 44. Colonização radicular (%) em plantas amendoim cv. Runner 886 cultivados sob diferentes níveis de água em associação com FMAs no terceiro período de avaliação.	70

Tabela 45. Número de esporos em solo cultivado com amendoim cv. Runner 886 em associação com FMAs e suplementado com ESA no terceiro período de avaliação.	71
Tabela 46. Número de esporos em solo cultivado com amendoim cv. Runner 886 submetidos a diferentes níveis de água em associação com FMAs no terceiro período de avaliação.	71
Tabela 47. Número de nódulos presentes nas raízes das plantas de amendoim cv. Runner 886 cultivadas em associação com FMAs.	72
Tabela 48. Número de nódulos presentes nas raízes das plantas de amendoim cv. Runner 886 submetidos a diferentes níveis de água em associação com FMAs.	72
Tabela 49. Número de vagens por planta de amendoim cv. Runner 886 cultivados em associação com FMAs e suplementado com ESA.	73
Tabela 50. Número de vagens por planta de amendoim cv. Runner 886 submetidos a diferentes níveis de água associado com FMAs.	74
Tabela 51. Número de grãos por vagem de amendoim cv. Runner 886 cultivado sob diferentes níveis de água associado a FMAs.	74
Tabela 52. Valores de MFF, RPF, índice Spad, teor de prolina e atividade da nitrato redutase em plantas de amendoim cv. IAC Tatu ST em associação com FMAs.	76
Tabela 53. CRA (%) em amendoim cv. Tatu ST cultivados em associação com FMAs e suplementado com ESA no terceiro período de avaliação.	77
Tabela 54. CRA (%) em amendoim cv. Tatu ST em amendoim cv. Tatu ST cultivados sob diferentes níveis de água em associação com FMAs no terceiro período de avaliação.	78
Tabela 55. MSF e MFC (g) de amendoim cv. Tatu ST cultivados em associação com FMAs e suplementado com ESA no segundo período de avaliação.	79
Tabela 56. MSF e MFC (g) de amendoim cv. Tatu ST cultivados sob diferentes níveis de água em associação com FMAs no segundo período de avaliação.	79
Tabela 57. Razão de Área Foliar (RAF) (m^2 folhas g^{-1} MS planta) em plantas de amendoim cv. Tatu ST sob efeito da aplicação do ESA e inoculação dos FMAs no segundo período de avaliação.	80
Tabela 58. Razão de Área Foliar (RAF) (m^2 folhas g^{-1} MS planta) plantas de amendoim cv. Tatu ST cultivados sob diferentes níveis de água em associação com FMAs no segundo período de avaliação.	81

Tabela 59 Área foliar específica - AFE (cm ² folhas g ⁻¹ MS ^{folha}) de plantas de amendoim cv. Tatu ST em associação com FMAs e suplementado com ESA no segundo período de avaliação.	81
Tabela 60. Razão de massa foliar (RPF) (g MS de folhas g ⁻¹ MS total) em plantas de amendoim cv. Tatu ST cultivados em associação com FMAs e suplementado com ESA no segundo período de avaliação.....	82
Tabela 61. Razão de massa foliar (RPF) (g MS de folhas g ⁻¹ MS total) plantas de amendoim cv. Tatu ST cultivados sob diferentes níveis de água em associação com FMAs no segundo período de avaliação.....	82
Tabela 62. MFC (g) em amendoim cv. Tatu ST cultivado em associação com FMAs e suplementado com ESA no terceiro período de avaliação.	83
Tabela 63. MFC (g) em amendoim cv. Tatu ST cultivados sob diferentes níveis de água em associação com FMAs no terceiro período de avaliação.....	83
Tabela 64. MFR (g) em amendoim cv. Tatu ST cultivado em associação com FMAs e suplementado com ESA no terceiro período de avaliação.	84
Tabela 65. MFR (g) em amendoim cv. Tatu ST cultivados sob diferentes níveis de água em associação com ESA no terceiro período de avaliação.	85
Tabela 66. MFF (g) em amendoim cv. Tatu ST cultivado em diferentes níveis de água em associação com FMAs no terceiro período de avaliação.....	85
Tabela 67. MFF (g) em amendoim cv. Tatu ST cultivado em diferentes níveis de água suplementado com ESA no terceiro período de avaliação.	86
Tabela 68. Teor de P (g kg ⁻¹) em folhas de amendoim cv. Tatu ST cultivado em associação com FMAs e suplementado com ESA no terceiro período de avaliação.	87
Tabela 69. Teor de P (g kg ⁻¹) em folhas de amendoim cv. Tatu ST cultivados sob diferentes níveis em associação com FMAs de água no terceiro período de avaliação .	87
Tabela 70. Taxa de assimilação líquida de CO ₂ (A) (μmol CO ₂ m ² s ⁻¹) em folhas de amendoim cv. Tatu ST cultivados sob diferentes níveis de água suplementando com do ESA.....	88
Tabela 71. Atividade da enzima catalase (CAT) (μKat μg proteína ⁻¹) em folhas de amendoim cv. Tatu ST cultivados em associação com FMAs e suplementado com ESA no segundo período de avaliação.....	89
Tabela 72. Atividade da enzima catalase (CAT) (μKat μg proteína ⁻¹) em folhas de amendoim cv. Tatu ST sob diferentes níveis de água em associação com FMAs no segundo período de avaliação.....	89

Tabela 73. Atividade da enzima peroxidase (POD) ($\mu\text{Kat } \mu\text{g prote\u00edna}^{-1}$) em folhas de amendoim cv. Tatu ST sob efeito da inocula\u00e7\u00e3o dos FMAs sob diferentes n\u00edveis de \u00e1gua no segundo per\u00edodo de avalia\u00e7\u00e3o.....	90
Tabela 74. Atividade da enzima peroxidase (POD) ($\mu\text{Kat } \mu\text{g prote\u00edna}^{-1}$) em folhas de amendoim cv. Tatu ST cultivado sob diferentes n\u00edveis de \u00e1gua suplementado com ESA no segundo per\u00edodo de avalia\u00e7\u00e3o.....	91
Tabela 75. Atividade da enzima super\u00f3xido dismutase (SOD) ($\text{UI } \mu\text{g prote\u00edna}^{-1}$) em folhas de amendoim cv. Tatu ST cultivado em associa\u00e7\u00e3o com FMAs e suplementado com ESA no terceiro per\u00edodo de avalia\u00e7\u00e3o.....	92
Tabela 76. Atividade da enzima super\u00f3xido dismutase (SOD) ($\text{UI } \mu\text{g prote\u00edna}^{-1}$) em folhas de amendoim cv. Tatu ST cultivados sob diferentes n\u00edveis de \u00e1gua associados com FMAs no terceiro per\u00edodo de avalia\u00e7\u00e3o.....	92
Tabela 77. Atividade da enzima nitrato redutase (NR) ($\text{nM NO}_2 \text{ h}^{-1}\text{g}^{-1} \text{ MF}$) em folhas de amendoim cv. Tatu ST cultivado em associa\u00e7\u00e3o com FMAs e suplementado com ESA no terceiro per\u00edodo de avalia\u00e7\u00e3o.....	94
Tabela 78. Atividade da enzima nitrato redutase (NR) ($\text{nM NO}_2 \text{ h}^{-1}\text{g}^{-1} \text{ MF}$) em folhas de amendoim cv. Tatu ST cultivados sob diferentes n\u00edveis de \u00e1gua sob efeito da inocula\u00e7\u00e3o dos FMAs no terceiro per\u00edodo de avalia\u00e7\u00e3o.....	95
Tabela 79. Concentra\u00e7\u00e3o de L-prolina ($\mu\text{mol g}^{-1} \text{ MF}$) em folhas de amendoim cv. Tatu ST cultivados sob efeito da aplica\u00e7\u00e3o do ESA e inocula\u00e7\u00e3o dos FMAs no terceiro per\u00edodo de avalia\u00e7\u00e3o.....	96
Tabela 80. Concentra\u00e7\u00e3o de L-prolina ($\mu\text{mol g}^{-1} \text{ MF}$) em folhas de amendoim cv. Tatu ST cultivados sob diferentes n\u00edveis de \u00e1gua em associa\u00e7\u00e3o com FMAs no terceiro per\u00edodo de avalia\u00e7\u00e3o.....	96
Tabela 81. N\u00famero de esporos em solo cultivado com amendoim cv. Tatu ST associado com FMAs e suplementado com ESA.....	97
Tabela 82. Valores m\u00e9dios ($n=4$) do n\u00famero de esporos em solo cultivado com amendoim cv. Tatu ST submetidos a diferentes n\u00edveis de \u00e1gua em associa\u00e7\u00e3o com FMAs no terceiro per\u00edodo de avalia\u00e7\u00e3o.....	98
Tabela 83. Mat\u00e9ria seca de n\u00f3dulos (mg) presentes nas ra\u00edzes das plantas de amendoim cv. Tatu ST cultivados em associa\u00e7\u00e3o com FMAs e suplementado com ESA.....	98
Tabela 84. Mat\u00e9ria seca de n\u00f3dulos (mg) presentes nas ra\u00edzes das plantas de amendoim cv. Tatu ST submetidos a diferentes n\u00edveis de \u00e1gua em associa\u00e7\u00e3o com FMAs.....	98

Tabela 85. Colonização radicular (%) de plantas de amendoim cv. Tatu ST cultivado em associação com FMAs e suplementado com ESA.	100
Tabela 86. Colonização radicular (%) em plantas amendoim cv. Tatu ST cultivados sob diferentes níveis de água sob efeito da inoculação dos FMAs.	100
Tabela 87. Número de vagens por planta de amendoim cv. Tatu ST cultivados em diferentes níveis de água em associação com FMAs.	102
Tabela 88. Número de vagens por planta de amendoim cv. Tatu ST cultivados em diferentes níveis de água suplementado com ESA.	102
Tabela 89. Número de vagens por planta de amendoim cv. Tatu ST cultivados em associação com FMAs e suplementado com ESA.	102

RESUMO

O amendoim é uma cultura de interesse econômico para o estado de São Paulo, principalmente para renovação de canaviais e pastagens na região oeste do estado. Nesta região, os crescentes custos de produção do amendoim acompanhados por baixo rendimento por área devido à suscetibilidade às variações climáticas são influências negativas e contribuem para desestimular a produção dessa cultura. Nesse âmbito, a associação com fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) e suplementação com bioestimulante a base de extrato solúvel de algas (*Ascophyllum nodosum*) (ESA) podem promover melhorias no crescimento e desenvolvimento da planta, além de atenuarem os efeitos negativos provocados pela deficiência hídrica. As plantas foram cultivadas em estufa agrícola, com monitoramento das relações hídricas além do estudo de trocas gasosas, análise de crescimento, análises microbiológicas e de produção, bem como das respostas metabólicas das plantas em função dos tratamentos. A presente pesquisa valida os benefícios para a cultura do amendoim quando em associação com os FMAs e / ou com a suplementação com o ESA, pois além de incrementarem o crescimento e taxa de assimilação líquida de carbono nas plantas em condições hidratadas, mantiveram o *status* hídrico das plantas e proveram também o acionamento de enzimas do complexo antioxidativo nas plantas em condições de deficiência hídrica moderada e severa.

Palavras-chave: Água, *Ascophyllum nodosum*, estresse abiótico, metabolismo, micorrizas, produção vegetal.

PEANUT PLANTS (*Arachis hypogaea* L.) SUBMITTED TO WATER DEFICIT AND THE INFLUENCE OF THE ASSOCIATION WITH ARBUSCULAR MYCORRHIC FUNGI AND SEAWEEDS EXTRACTS. Botucatu, 2016. 142 p. Doctoral Thesis in Agronomy/ Irrigation and Drainage – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: RENATA BRUNA DOS SANTOS COSCOLIN

Adviser: PROF. DR. FERNANDO BROETTO

SUMMARY

Water is essential element for plant development and its absence or deficiency induces physiological changes with severe consequences for productivity. Peanut is a culture of economic interest to the State of São Paulo especially in the western region. In this region, the increasing of production costs in peanuts is associate by low yield due to susceptibility to climate variations, such as dry seasons. They are negative influences and do not contribute to production in that crop. In this context, the association with arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) and supplementation with biostimulant based on soluble algal extract (*Ascophyllum nodosum*) (ESA) can promote improvements in plant growth and development, as well as attenuate the negative effects caused by water deficiency. The plants grown in a greenhouse with monitoring of water relations in addition to the study of gas exchange parameters, growth analysis, microbiological analysis, production, and metabolic responses of plants in the treatments. The present study validates the benefits for peanut cultivation with fungus and/or seaweed extract supplementation. Plants under hydrated conditions had better performance in growth and carbon assimilation rate and under conditions of moderate and severe water deficiency, they maintained water status of the plants and also provided the activation of enzymes of the antioxidative complex.

Keywords: water, *Ascophyllum nodosum*, abiotic stress, metabolism, arbuscular mycorrhizal fungi, crop yield.

1 INTRODUÇÃO

O Brasil se destaca entre os principais produtores mundiais de amendoim (*Arachis hypogae* L.), sendo a região Sudeste responsável pela maior parte da produção nacional.

Essa cultura tem despertado grande interesse econômico, pois sua exploração comercial é uma opção para agricultura irrigada e apresenta grande potencial de expansão. A recomendação para plantio do amendoim atende a diversos mercados, seja para o consumo in natura, para a indústria, para renovação de canaviais, recuperação de pastagens degradadas e na integração lavoura pecuária. Esta espécie, tem alto valor nutricional e aceitação do produto no mercado, contudo apresenta problemas com a seca.

O período de estiagem durante os anos de 2013/14 causou dificuldades para os produtores de amendoim, pois a limitação ou fornecimento irregular da água às plantas acarretou queda na produtividade e na qualidade dos grãos.

Um dos primeiros efeitos gerados pela deficiência hídrica (DH) é a diminuição de turgescência celular e juntamente a esse evento também são previstas alterações no processo de crescimento, como a expansão foliar e alongamento das raízes. Como efeito fisiológico, geralmente observa-se o aumento da resistência estomática, reduzindo a transpiração e conseqüentemente o suprimento de CO₂, além da diminuição do conteúdo de clorofila, comprometendo assim o processo de fotossíntese.

No entanto, estes efeitos do estresse abiótico nas plantas são resultados combinados de uma interação complexa entre diferentes processos morfológicos, fisiológicos e bioquímicos que podem agir de diversas maneiras.

Além disso, a nível celular, situações de estresse como a DH, pode induzir a produção de espécies reativas de oxigênio que degradam as membranas celulares.

Em situações de estresse, as plantas são capazes de desenvolver estratégias de tolerância, que incluem alterações morfo-fisiológicas e indução de complexos antioxidativos enzimáticos e não enzimáticos.

Nesse sentido, a associação simbiótica com fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) e o uso de bioestimulantes naturais como o extrato solúvel de algas marinhas (ESA) está cada vez mais se difundindo na agricultura, pois podem estimular o crescimento e produção do vegetal, além de induzir tolerância a diversos estresses bióticos e abióticos.

Os FMAs podem ser utilizados devido sua ação na redução no fornecimento adubos, considerando-se que durante a sua associação com as raízes das plantas, certos elementos de pouca mobilidade do solo, como o fósforo, podem ser absorvidos mais eficientemente pela planta.

Objetivou-se com este trabalho avaliar o comportamento de dois cultivares de amendoim submetidos à diferentes níveis hídricos e a capacidade de mitigação dos efeitos da DH pela associação com FMAs e/ ou aplicação de ESA na produção.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Aspectos da cultura do Amendoim (*Arachis hypogaea* L.)

A cultura do amendoim (*Arachis hypogaea* L.) é uma das oleaginosas mais cultivadas no mundo (CORREIA et al., 2009) e considerada entre as leguminosas, uma das mais importantes, ao lado do feijão e da soja. Atualmente, o Estado de São Paulo é o maior produtor de amendoim do Brasil.

Na região Oeste do Estado de São Paulo, o amendoim possui outras recomendações de plantio além da produção de grãos, como: a semeadura em área de renovação de canaviais para rotação de culturas, chegando a 12.307 ha (IEA, 2015), na integração lavoura pecuária e na recuperação de áreas de pastagens degradadas, onde as condições do solo são favoráveis à semeadura de culturas graníferas diretamente sobre a palhada remanescente das forrageiras, sem necessidade de preparo prévio do solo (NETO et al., 2012).

O Estado de São Paulo é responsável por 80% da produção brasileira, em torno de 230 mil toneladas, sendo o principal estado exportador de amendoim em casca (CONAB, 2015).

A planta de amendoim é uma dicotiledônea pertencente à família das leguminosas do gênero *Arachis* nativo da América do Sul.

As espécies do gênero *Arachis*, no geral, são: alotetraplóides, autogâmicas, herbáceas, eretas ou prostradas, anuais, com ciclo entre 90 e 160 dias, atingindo altura média da haste principal entre 50 a 60 cm (SANTOS et al., 2010). As plantas apresentam hábito indeterminado de crescimento, ocorrendo concomitantemente o desenvolvimento vegetativo e o reprodutivo.

Na fase do florescimento, a demanda por nutrientes e por condições ambientais adequadas é alta, pois eventos como: produção de folhas, flores,

raízes e ginóforos, penetração dos ginóforos no solo ocorrem simultaneamente na planta (NETO et al., 2012). A cultura possui uma ampla fase de florescimento, onde há períodos de aparecimento do maior número de flores com o processo de frutificação sendo por geocarpia, em que a flor aérea, após ser fecundada, produz um fruto subterrâneo por meio do ginóforo.

As sementes constituem a parte de maior interesse econômico, por ser uma importante fonte de proteína vegetal e de óleo comestível (BARBOSA et al., 2014). Essas podem ser consumidas diretamente na alimentação humana, para confeitaria e processadas em indústrias oleoquímicas e para produção de biodiesel (CORREIA et al., 2009).

As raízes são do tipo pivotantes e possuem uma taxa de crescimento elevada durante os primeiros estádios de desenvolvimento, sendo reduzido na fase de desenvolvimento dos grãos (NETO et al., 2012).

No aspecto climático, a cultura do amendoim é adaptada aos trópicos e seu cultivo é realizado predominantemente em regiões de latitude até 30° N e S. Sua exploração comercial é uma importante alternativa para a agricultura irrigada, em regiões onde os níveis pluviais são irregulares, entretanto para alguns cultivares pode-se obter uma colheita economicamente rentável mesmo sob baixa disponibilidade hídrica (SILVA; RAO, 2006).

A planta do amendoim possui grande plasticidade genotípica podendo ser cultivada sob variadas condições ambientais. O amendoineiro pode ser cultivado em diversos tipos de solo, tendo melhor desempenho naqueles de boa drenagem, fertilidade razoável e textura arenosa. Contudo, a melhor exploração do potencial da cultura se dá em função da cultivar e, sobretudo, das interações entre temperatura e disponibilidade hídrica (NETO et al., 2012).

A expansão do mercado de castanhas e amêndoas tem surgido, recentemente, uma forte demanda por cultivares rasteiras, mais conhecidas como *runners*, por serem mais produtivas e indicadas para este segmento (SANTOS et al., 2010).

A área de produção de amendoim no Brasil na safra 2014/15 foi de 109,6 mil hectares para uma produção de 346,9 mil toneladas, sendo a área e produção do Estado de São Paulo, neste mesmo período, respectivamente 95,1 mil hectares e 310,8 mil toneladas como mostra a Figura 1 (CONAB, 2015).

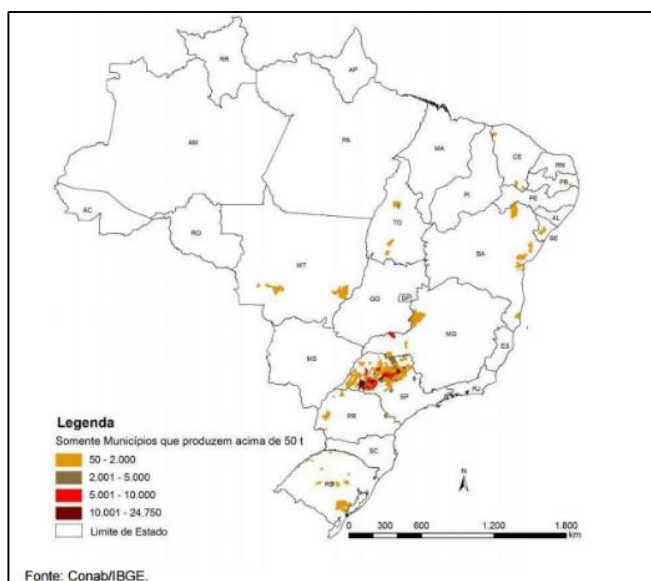


Figura 1. Mapa da produção agrícola - 2014/15

A cultivar Runner IAC 886 (Grupo rasteiro) é de origem norte americana, possui material genético uniforme e mais bem adaptado às condições de clima e solo das regiões produtoras paulistas (GODOY et al., 2003). Essa cultivar tem hábito de crescimento rasteiro e apresentam folhagem de tonalidade ligeiramente mais escura e haste principal mais destacada.

Nas condições climáticas de São Paulo, seu ciclo, do plantio à maturação é, em média, de 130 dias (GODOY et al., 2003).

Após a semeadura, as plântulas apresentam emergência mais rápida na fase de florescimento e na emissão de vagens sendo que o desenvolvimento vegetativo praticamente cessa em 90-100 dias.

Em relação a doenças, essa cultivar é suscetível às manchas castanha e preta e à ferrugem quando comparadas à cultivares eretas precoces. As vagens são uniformes, e produzem duas sementes sendo que em condições normais de cultivo, a produtividade pode chegar a 6.500 kg ha^{-1} (ABICAB, 2015).

A cultivar Tatu, tipo mais tradicional de amendoim no Brasil tem predominância em diversas regiões. Em São Paulo, ocupa 10-15% da área de plantio, atualmente este tipo de amendoim constitui um nicho de mercado, onde predominam os amendoins tipo *Runner* pertencente ao grupo comercial Valência (plantas de porte ereto).

A cv Tatu é precoce, com ciclo em torno de 90 a 100 dias do plantio à colheita, nas condições de São Paulo com produtividade média de 3.000 Kg ha^{-1} ; com potencial de até 4.000 Kg ha^{-1} .

O fator temperatura atua basicamente sobre a velocidade de crescimento da cultura e duração das fases do estágio vegetativo. Temperaturas entre 32 °C e 34 °C são consideradas ótimas para a cultura, proporcionando melhor eficiência de germinação. Para o crescimento vegetativo, as temperaturas ótimas variam de 25 °C a 35 °C (NOGUEIRA; TÁVORA, 2005).

A tolerância à seca no amendoim pode ser atribuída ao seu sistema radicular profundo por associações com microrganismos como *Rhizobium* e com fungos micorrízicos arbusculares (FMAs). Essas permitem que a cultura explore volume de solo das camadas mais subsuperficiais e aumentando a absorção de água e nutrientes (NOGUEIRA et al., 1998, SUGAVANAM et al., 1994).

As condições de produção para a agricultura paulista presentes durante a safra 2013/14 impuseram ao produtor a difícil convivência com o longo período de estiagem, comprometendo o desenvolvimento da maioria das culturas.

Na safra 2014/15, os reflexos da seca e as condições de produção foram distintos, tanto para as culturas perenes, quanto para as temporárias.

Na última década, a cultura do amendoim teve ampliação dos volumes de produção, impulsionada pelos ganhos em produtividade através das mudanças tecnológicas desde o plantio ao beneficiamento dos grãos (MARTINS, 2015).

2.2 Fisiologia do estresse abiótico – Deficiência hídrica

Estresses ambientais como estresse hídrico, salinidade, temperatura e deficiência ou desbalanço nutricional, em geral causam reduções substanciais no desenvolvimento, produção (SILVA et al., 2008) e efeitos direto na fisiologia das plantas (DOUPIS et al., 2013).

Estudos para minimizar as perdas através de técnicas de melhoramento ou manejo das culturas podem auxiliar na compreensão dos mecanismos envolvidos na adaptação e ajuste das plantas a esses agentes estressores (WARAICH et al., 2011). Logo, estes estudos visam otimizar o uso dos insumos (fertilizantes) e dos recursos naturais (água).

A utilização de espécies tolerantes à restrição hídrica e a adoção de práticas de manejo de cultivo, do solo e da água, tem propiciado o implemento de culturas em ambientes com baixos níveis pluviais (CORREIA et al., 2009).

Entretanto, as culturas não respondem da mesma forma a esses níveis de DH e algumas delas conseguem manter uma produtividade economicamente viável mesmo diante essa condição adversa.

Plantas mantidas sob influência dos agentes estressores, apresentam baixa eficiência fotossintética e conseqüentemente de crescimento, os quais não respondem igualmente a gradientes de água e nutrientes.

A capacidade fotossintética das culturas é afetada pela DH refletindo diretamente na produtividade (GRACIANO, 2009; WARAICH et al., 2011).

Desta forma, os processos de crescimento são rapidamente afetados (TAIZ; ZEIGER, 2006), pois o decréscimo no turgor das células causa a interrupção do alongamento das mesmas. Todavia, a fotossíntese líquida não é sensível a limitações moderadas destes recursos (KRAMER; BOYER, 1995).

Em ambientes favoráveis as necessidades requeridas pelas plantas, os processos metabólicos voltados para o crescimento recebem alocação prioritária, ocasionando assim o decréscimo da disponibilidade relativa de carbono para suportar o metabolismo secundário.

Frequentemente, o acentuado decréscimo na fotossíntese está associado a variação do status hídrico das culturas (DOUPIS et al., 2013) e resulta na ativação de vários mecanismos de respostas fisiológicas (LAWLOR; CORNIC, 2002).

Alguns trabalhos reportam que a cultura do amendoim, assim como a cultura soja (PINTO et al., 2014), quando comparadas a outras espécies, recuperam se mais rapidamente o grau de abertura dos seus estômatos, o que pode atenuar os efeitos da seca (NOGUEIRA; SANTOS, 2000).

Para se aclimatar a períodos de seca, as plantas desenvolvem mecanismos de tolerância que podem variar com o genótipo (CHAVES, 2002) e os danos provocados dependem da intensidade o período de duração e o estágio fenológico da cultura.

Esses mecanismos incluem alterações morfológicas, fisiológicas e em algumas características bioquímicas (FINI et al., 2013), uma vez que a fotossíntese é o fenômeno fisiológico responsável pelo crescimento, desenvolvimento e rendimento de grãos (WARAICH et al., 2011).

Para aprimorar o manejo do sistema solo-planta, torna-se necessário estudar mecanismos fisiológicos adotados por plantas oleaginosas nas condições de irrigação deficitária, através de medidas como o potencial hídrico foliar,

conteúdo relativo de água, transpiração foliar, condutância estomática, taxa fotossintética, eficiência do uso da água (DOUPIS et al., 2013). Tais medidas são importantes componentes para adaptação das culturas à seca (WARAICH et al., 2011).

Ao nível celular, estresses prolongados e intensos podem induzir a produção de espécies reativas de oxigênio (EROs), compostos que levam o organismo a um desequilíbrio entre a formação e a remoção de agentes oxidantes, promovendo estresse oxidativo decorrente da geração excessiva dessas EROs (SCANDALIOS, 2002).

Em condições ótimas, produção de EROs ocorre naturalmente em baixa intensidade, normalmente associado ao metabolismo respiratório e fotossintético, representando então uma condição metabólica normal das células vegetais (ASADA, 2006; COSCOLIN et al., 2011; DOUPIS et al., 2013).

Logo, a célula vegetal atua continuamente na proteção oxidativa mediante uma complexa rede de sistemas antioxidativos constituída por componentes de natureza enzimática e não enzimática. No entanto, em plantas cultivadas sob deficiência hídrica ou outro estresse ambiental pode ocorrer um aumento expressivo na produção de EROs e devido a esse balanço metabólico entre os sistemas (produção e de proteção) ocasionando danos oxidativos severos que pode ser seguido pela posterior morte da célula.

A limitação da assimilação de CO₂ em plantas submetidas a restrição hídrica causa uma redução na cadeia de elétrons dos fotossistemas (DOUPIS et al., 2013). Como a folha não pode dissipar a energia da luz em excesso existe uma reorientação dessa energia dos fótons para os processos que favorecem a produção das EROs (DOUPIS et al., 2013).

Segundo Mittler (2002) e Scandalios (2005), os agentes oxidantes das EROs são resultantes de uma redução parcial do oxigênio molecular, podendo estes estar na forma de oxigênio singleto ¹O₂, radical hidroxila OH^{o-}, ânion superóxido O₂^{o-} e peróxido de hidrogênio H₂O₂.

O acúmulo maior das EROs ocorre em plantas devido a exposição a baixas temperaturas, seca, alta intensidade luminosa, salinidade e outros estresses (ASADA, 2006; BROETTO et al., 2002).

Os principais sistemas enzimáticos responsáveis pelas respostas antioxidativas, são a superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT; EC 1.11.1.6), ascorbato peroxidase (APX) e glutathiona redutase (GR). Desta maneira, o balanço da

atividade dessas enzimas cooperam para a dismutação das EROs reduzindo seu nível de tóxicidade para a célula (SCANDALIOS, 2002; SCANDALIOS, 2005).

No período de seca, ocorrem mudanças em nível celular como alteração da expressão de genes que codificam proteínas do tipo chaperonas. Essas auxiliam no reparo de outras proteínas e participam na síntese de enzimas envolvidas na eliminação das EROs contribuindo assim para a homeostase celular. Assim, em plantas sob regime de irrigação deficitário ou períodos de estiagem pode super exprimir essas enzimas que atuam na indução do sistema de resposta antioxidativas (DOUPIS et al., 2013; AGANCHICH et al., 2009).

2.3 Influência da associação com fungos micorrízicos arbusculares em plantas sob deficiência hídrica (DH)

Os Fungos micorrízicos arbusculares são fungos de solo, biotróficos obrigatórios e que formam com a planta uma simbiose mutualista chamada: micorriza arbuscular (MA) que pode ser dos tipos: ecto, ericóide, arbutóide orquidóide (SMITH; READ, 2009).

A habilidade de formar as MA é específica aos fungos pertencentes a 10 famílias que são: Glomeraceae, Pacisporaceae, Acaulosporaceae, Diversisporaceae, Gigasporaceae, Claroideoglobus, Paraglomaceae, Archaeosporaceae e Ambisporaceae, da ordem Glomerales do filo Glomeromycota (INVAM, 2016).

Dentro dessas famílias encontram-se 18 gêneros (INVAM, 2016), destaque para o gênero *Glomus* e *Clariodeoglobus* aos quais pertencem os isolados selecionados para o presente estudo.

Aproximadamente 80% das espécies vegetais podem formar associações micorrízicas, sendo que existem cerca de 6000 espécies de fungos que podem colonizar as raízes das plantas para estabelecer a simbiose (SMITH; READ, 2009).

O uso de fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) é um dos mais promissores meios para manter a umidade em regiões próximas a raiz e melhorar as propriedades físico-químicas do solo (AUGÉ, 2001; ROONEY et al., 2011; WU et al., 2008).

Esse efeito positivo o qual reflete na produtividade da cultura pode ser atribuído pelo favorecimento da absorção de íons imóveis no solo como P, Zn e Cu (MIRANDA; JÚNIOR; DA SILVA, 2008). Além disso, também envolvem o aumento

da captação e transporte de nitrogênio (N), particularmente sob condições de seca (LIU; PLENCHETTE; HAMEL, 2007; SMITH; READ, 2009)

Estes microorganismos são responsáveis por promoverem uma regulação diferenciada e variada em processos como crescimento e desenvolvimento de diversas espécies vegetais (PÉREZ; URCELAY, 2009)

Alguns autores ainda sugerem que as micorrizas podem ser benéficas ao crescimento das plantas mesmo quando cultivadas sob DH (ZHU et al., 2012).

O incremento do crescimento e da produção pela associação entre FMAs e as plantas sob DH também relacionam-se com as modulações bioquímicas (MIRANSARI, 2010) e pela modificação nas relações hídricas nas plantas.

A resistência a DH em diversas culturas por associação micorrízica pode ocorrer por diversos mecanismos, como por exemplo: a absorção intensiva de água e nutrientes através de hifas externas (AUGÉ, 2001; RUIZ-LOZANO, 2003). Outros efeitos envolvem a regulação da condutância estomática em resposta a sinais hormonais (GOICOECHA et al., 1998), manutenção do turgor celular e modificação da atividade metabólica e fotossintética (SÁNCHEZ-DÍAZ et al., 1990) favorecendo assim aumento na produção de grãos.

Além disso, outros fatores associados com a colonização micorrízica também colaboram com a resistência a DH como mudanças na elasticidade foliar, aumento do potencial hídrico nas folhas e manutenção da transpiração.

A simbiose promovida pelas micorrizas também influencia o metabolismo da planta pela alocação do carbono e a concentração dos metabólitos em tecidos de estruturas propagativas como rebentos e também nas raízes. A colonização por FMAs também promove o incremento da concentração de carboidratos solúveis e clorofila nas folhas e por consequência o aumento da capacidade fotossintética (BOOMSMA; VYN, 2008)

Segundo Augé (2001) e Ruiz-Lozano (2003) plantas colonizadas frequentemente mostram o incremento no acúmulo de aminoácidos e compostos nitrogenados através da alta atividade da enzima SOD sob condições de DH. Entretanto, outros autores argumentam que a resistência a seca pode não ser influenciada por associações micorrízicas (ALLEN; BOOSALIS, 1983).

2.4 Uso de extrato de algas marinhas na agricultura

Os bioestimulantes vegetais podem ser uma alternativa à suplementação de nutrientes para as plantas cultivadas e recomendados para aplicação via solo, sistemas de irrigação ou foliar.

Os efeitos de bioestimulantes como extratos de algas marinhas tem sido documentados pela literatura (SPANN; LITTLE, 2011). Entre estes, os provenientes da espécie *A. nodosum* merecem destaque por sua importância agrícola (ALMEIDA et al., 2014b).

A alga marinha *A. nodosum* (L.), é encontrada exclusivamente em águas temperadas do hemisfério norte (Canadá) e vem sendo explorada comercialmente a muitos anos (BETTINI, 2015).

O uso do extrato das algas na agricultura como suplemento nutricional, bioestimulantes ou até biofertilizantes incrementam o crescimento e produtividade das culturas e seu uso justificado pela composição variada e elevada concentração de nutrientes (ALMEIDA et al., 2014; SAA et al., 2015) e para o auxílio do controle de pragas e doenças.

Os produtos comerciais a base de extrato da alga *A. Nodosun*, como o utilizado no presente estudo, apresentam 13 a 16 % de M.O, 1,01% de aminoácidos (alanina, ácido aspártico e glutâmico, glicina, isoleucina, lisina, metionina, fenilalanina, prolina, tirosina, triptofano e vanila), carboidratos, macro e micro nutrientes.

O ESA capacita as plantas a produção endógena de hormônios de crescimento como: auxina, giberelinas e citocininas.

Através da aplicação desses produtos, outros aspectos fitotécnicos podem ser influenciados como: a antecipação da germinação de sementes, melhoria do estabelecimento inicial das mudas, melhor desenvolvimento vegetativo (destaque as raízes laterais e pelos absorventes), maiores níveis nutricionais da planta, prolongar o período pós colheita e o tempo de prateleira.

Pesquisas também comprovaram a indução de resistência frente a estresses bióticos e abióticos como a seca, alta ou baixa temperatura e salinidade (KHAN et al., 2009; SPANN; LITTLE, 2011; SAA et al., 2015).

Também foi demonstrado efeito positivo no uso de extratos *de A. nodosum* na multiplicação da microbiota do solo, ênfase para os FMAs, uma vez que

esses microrganismos secretam substâncias que atuam diretamente nas propriedades físicas e químicas do solo (ALAM et al., 2013; KHAN et al., 2009).

Como citado, os efeitos desses bioestimulantes já estão reportados pela literatura, entretanto os compostos ativos responsáveis para comprovar esses efeitos ainda estão começando a ser elucidados (KHAN et al., 2009; SPANN; LITTLE, 2011).

Assim, alguns desses compostos ativos responsáveis pelo bom desempenho agrônômico das culturas, pode-se incluir: compostos com atividade citocínicas e alguns compostos fenólicos (KHAN et al., 2009; CRAIGIE, 2011).

Também se observa nesses organismos a presença de betaínas e prolínas que são compostos ligados à defesa de plantas contra agentes estressores (MACKINNON et al., 2009).

Estes efeitos da aplicação de extratos de algas nas plantas são relatados em diversos cultivos de importância para o Brasil, tais como feijão, soja, trigo, batata, tomate, citrus, café entre outros (BETTONI; ADAM; MÓGOR, 2008; MÓGOR et al., 2008; OLIVEIRA et al., 2011).

Almeida et al., (2014b), usando o bioestimulante a base de extrato de alga combinada a associação micorrízica no desenvolvimento inicial de porta –enxerto de aceroleira, observou que a união dessas técnicas biotecnologias representa uma alternativa para complementar a demanda nutricional e estimulou ao crescimento das mudas.

Devido à variabilidade dos benefícios demonstrados pelo cultivo das plantas suplementado ao uso do extrato a base dessas algas e o aumento de seu consumo por ser um produto de origem biológica, pesquisas agrônômicas devem ser realizadas com o intuito de identificar alguns dos mecanismos de ação dos extratos de algas em associação com fungos micorrízicos em plantas cultivadas.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Instalação e localização dos experimentos I e II

A pesquisa foi desenvolvida no Departamento de Química e Bioquímica do Instituto de Biociências IB - UNESP, Campus de Botucatu, SP.

A condução dos experimentos denominados I e II foi em estufa agrícola com uma área de 70m² (Figura 2) nos períodos de Abril de 2015 a Agosto 2015 e Outubro de 2015 a Fevereiro 2016 respectivamente com as cultivares comerciais de amendoim fornecidas pelo IAC: IAC Runner 886 e IAC Tatu Vermelho- ST, respectivamente.



Figura 2. Vistas interna (A) e externa (B) da estufa agrícola utilizada nos experimentos.

Utilizou-se Latossolo Vermelho Escuro distrófico textura média (Led), coletado na Fazenda Experimental Lageado, na gleba denominada “Patrulha”.

Dois experimentos, denominados I e II foram conduzidos nos períodos de Abril de 2015 a Agosto 2015 e Outubro de 2015 a Fevereiro 2016, com as cultivares comerciais de amendoim fornecidas pelo IAC: IAC Runner 886 e IAC Tatu Vermelho- ST, respectivamente.

3.2 Experimento I (IAC Runner 886) - Amostragem de solo, correção, adubação e tratos culturais

Ao início do experimento I foram coletadas amostras de solos da camada de 0 a 0,15 cm e analisadas no Departamento de Produção e Melhoramento Vegetal da FCA/UNESP – Setor de Solos e Nutrição Mineral (Tabela 1). Com base nessa análise do solo, calculou-se a necessidade de calcário dolomítico, em torno de 48g/ vaso para elevar a saturação de bases (V) para 60%. Em seguida, o solo permaneceu coberto e úmido por 30 dias para reação de neutralização, em vasos com capacidade para 30 L de solo (Figura 3).



Figura 3. Vaso utilizado nos experimentos I e II.

Tabela 1. Caracterização química inicial do solo do experimento I.

Camada	pH CaCl ²	M.O. g dm ⁻³	P _{resina} mg dm ⁻³	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V%
				----- mmolc dm ⁻³ -----						
0-15	4,1	12,8	4,8	52,7	0,7	12,2	3,4	16,3	69,0	23,4

Sementes do cultivar IAC Runner 886 foram semeadas na ordem de 5 a 6 por vaso, sendo que após a emergência (cerca de 15 dias) fez-se o desbaste mantendo-se 2 plantas por vaso.

Os tratos culturais consistiram na adubação de base, baseado na recomendação descrita pelo Boletim Técnico 100 do IAC (RAIJ et al., 1997) para a cultura. Aplicou-se o equivalente a 1,35 g uréia/ vaso, 1,62 g KCl/ vaso e 2,22 g fosfato diamônico /vaso aos 7 dias antes da semeadura homogeneizados com auxílio de uma betoneira.

Pulverizações com inseticida Actara 250 WG foram realizadas aos 14 e 28 dias após plantio (DAP) e a calda foi preparada na concentração de 1,0 g de produto L⁻¹ de água.

3.3 Experimento II (IAC Tatu ST) - Amostragem de solo, correção, adubação e tratos culturais

Ao término do experimento I, após um período de 2 meses de pousio, o solo foi reutilizado fez-se uma nova análise de solo representadas na tabela 2 e 3. A amostragem representou a condição de fertilidade do solo ao final do experimento I e inicial do experimento II. As amostras compostas foram coletadas de forma aleatória dos tratamentos com e sem a inoculação com os FMAs. Não houve a necessidade de amostragem do solo considerando o ESA pois não há indicativos de efeito residual do produto após o pousio.

Tabela 2. Caracterização química do solo II experimento com inoculação de FMAs

Camada	pH CaCl ²	M.O. g dm ⁻³	P _{resina} mg dm ⁻³	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V%
				----- mmolc dm ⁻³ -----						
0-15	6,4	15,4	60,6	14	3,3	30,8	22,7	56,9	70,9	80,2

Tabela 3. Caracterização química do solo II experimento sem inoculação de FMAs.

Camada	pH CaCl ²	M.O. g dm ⁻³	P _{resina} mg dm ⁻³	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V%	
				----- mmolc dm ⁻³ -----							
0-15	6,2	13,8	35,5	16,5	3,3	25,3	20,5	49,1	65,5	74,3	

Da mesma forma, ao final do experimento II, foram coletadas amostras compostas que foram homogeneizadas para avaliar a fertilidade do solo inoculado e não inoculado com FMAs (Tabelas 4 e 5).

Tabela 4. Caracterização química do solo II experimento sem inoculação de FMAs.

Camada	pH CaCl ²	M.O. g/dm ³	P _{resina} mg/dm ³	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V%	
				----- mmolc dm ⁻³ -----							
0-15	6,0	9	43	19	4,1	44	33	80	92	80	

Tabela 5. Caracterização química do solo II experimento com inoculação de FMAs.

Camada	pH CaCl ²	M.O. g/dm ³	P _{resina} mg/dm ³	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V%	
				----- mmolc dm ⁻³ -----							
0-15	6,5	11	55	12	6,2	40	31	78	97	87	

Sementes do cultivar IAC Tatu ST foram semeadas na ordem de 5 a 6 por vaso, sendo que após a emergência (cerca de 15 dias) fez-se o desbaste mantendo-se 2 plantas por vaso.

De acordo os resultados obtidos, a partir da análise de solo e da recomendação de adubação para a cultura do amendoim não se realizou adubação de base para o experimento II.

3.3.1 Curva de retenção de água do solo

Coletou-se duas amostras de solo na profundidade de 0,20 m, as quais foram encaminhadas para o Departamento de Engenharia Rural da FCA/UNESP

para processamento da obtenção da curva de retenção de água. Utilizando-se o método da câmara de pressão de Richards, foi determinado o conteúdo de água no solo para os pontos 10, 30, 50, 100, 300, 500 e 1500 kPa. Os pontos foram modelados no software SWRC versão 3.0 de Dourado Neto et al., (1995) para gerar os parâmetros de α , n , m , θ_r e θ_s (Tabela 6). Depois, para ajuste da curva de retenção (Figura 4) aplicou-se o modelo proposto por Van Genuchten, (1980), equação 1.

Equação 1

$$\theta = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{[1 + (|\Psi_m| * \alpha)^n]^m} \quad (1)$$

Onde:

θ - teor de água atual à base de volume ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$);

θ_r - teor de água residual ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$);

θ_s - teor de água de saturação ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$);

Ψ_m - potencial de água no solo (kPa);

α - parâmetro de ajuste (cm^{-1});

m e n - parâmetros empíricos do modelo matemático.

Tabela 6. Parâmetros do modelo de Van Genuchten para camada 0 a 0,20 m de solo.

Camada (m)	θ_r ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$)	θ_s ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$)	α (cm^{-1})	m	n	ρ (g cm^{-3})
0 - 0,20	0,099	0,166	0,0287	1,186	1,3765	1,62

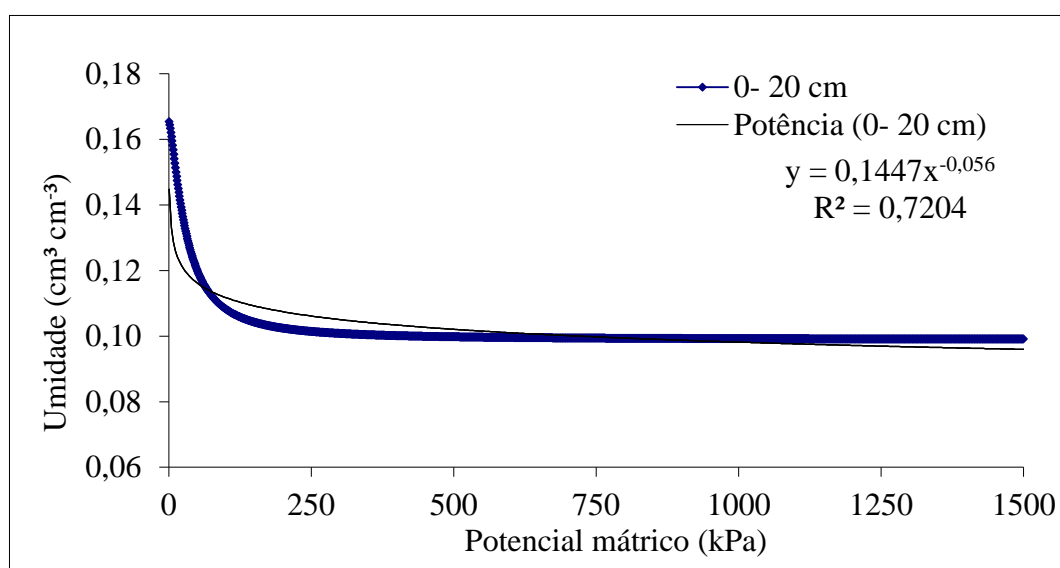


Figura 4. Curva de retenção de água no solo utilizada durante os experimentos

Após a obtenção da curva de retenção de água do solo, determinou-se o ponto de capacidade de campo. Para isso, saturou-se o solo e depois esperou-se o excedente parar de drenar. Em seguida, aguardou-se 48 h, coletou três amostras e determinou o conteúdo de água no solo presente para aquela situação. Depois correlacionou com a curva de retenção.

3.4 Sistema de irrigação

O sistema de irrigação utilizado nos experimentos foi por gotejamento onde nas adjacências da estufa agrícola, instalou-se uma caixa d'água de 1000 L e o bombeamento da água realizado por uma bomba de água periférica IDB- 35-0,25 cv (Figura 5). A linha principal foi constituída de cano PVC de 1", registros em cada derivação, filtro de discos de 120 mesh para filtragem de água e manômetro para monitoramento da pressão do sistema. Nas linhas de derivações foram utilizadas mangueiras de polietileno de baixa densidade de 16 mm e gotejadores autocompensantes (Figura 6), de vazão $4,0 \text{ L h}^{-1}$. Aos gotejadores estavam conectados à microtubos e flechas gotejadoras, espaçados 15 cm entre vasos (Figura 6).

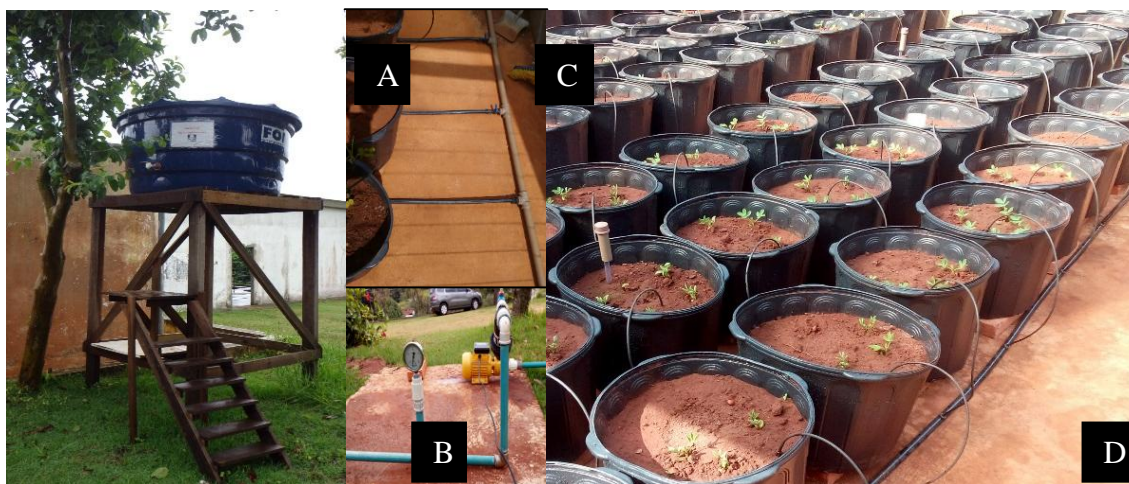


Figura 5. Visão geral do sistema de irrigação: (A) Ponto de captação de água (B) Conjunto motobomba (C) linha principal (D) linhas de derivação.



Figura 6 Gotejadores, micro tubos e flechas gotejadoras utilizadas no sistemas de irrigação

3.5 Uniformidade de irrigação

Em antecedência a cada experimento, realizou-se um ensaio de uniformidade, onde foram selecionadas 5 linhas de derivação e distribuídos entre elas 15 coletores de vazão (recipientes volumétricos graduados - 500 mL), sendo posicionados 5 coletores para o início, 5 no meio e 5 ao final das linhas. O ensaio teve duração de 5 minutos, sendo repetido por 3 vezes.

Ao final dos ensaios, mediu-se o volume de água obtido nos coletores com uma proveta graduada. Esses valores foram utilizados para calcular vazão média dos gotejadores, em $L h^{-1}$. A uniformidade de irrigação foi expressa pelo CUD (Coeficiente de Uniformidade) como calculado pela equação 2.

Equação 2

$$CUD = 100 \frac{q_{25\%}}{\bar{q}_{usado}}$$

Em que:

CUD – coeficiente de uniformidade de distribuição

q^{25} – médias das 25% menores vazões coletadas, $L h^{-1}$;

\bar{q} – média das vazões coletadas, $L h^{-1}$.

3.6 Monitoramento do teor de água no solo

Para o monitoramento do teor de água no solo, foram instalados 5 tensiômetros por tratamento, distribuídos de maneira aleatória com profundidade de 0,15 m e obtidas as leituras das tensões a partir do teor de água do solo através de tensímetro (Figura 7).



Figura 7. Tensiômetros e tensímetro utilizados para leitura diária das tensões do teor de água no solo.

3.7 Manejo da irrigação

O manejo da irrigação visou manter o teor de água do solo em três níveis diferentes baseados na necessidade hídrica da cultura.

Para o cálculo estimado da lâmina de irrigação, utilizou-se o conceito da capacidade de água disponível (CAD) apresentado pela equação 3.

Equação 3:

$$CAD = (CC - PMP) * Z$$

Em que:

CAD - capacidade de água disponível (mm);

100% - teor de água volumétrico na capacidade de campo ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$);

PMP - teor de água volumétrico no ponto de murcha permanente ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$)

Z - profundidade efetiva do sistema radicular (mm).

Dessa forma, durante o período experimental, os níveis hídricos e o cálculo para a determinação do tempo de funcionamento do sistema de irrigação em cada tratamento foram realizados com base na tensão de água no solo pelas equações 4 e 5.

Equação 4:

$$La = \frac{CAD}{Ef}$$

Em que:

La - lâmina aplicada (mm);

CAD - capacidade de água disponível (mm);

Ef - eficiência de irrigação (0,95).

Equação 5:

$$Ti = \frac{(La * A)}{(n * q)} * 60$$

Em que:

Ti - tempo de irrigação (minuto);

La - lâmina aplicada (mm);

A - área ocupada por planta (0,119 m²);

n - número de emissores por planta (1);

q - vazão do gotejador (4 L h⁻¹)

3.8 Inoculação dos fungos micorrízicos arbusculares (FMAs)

Para os tratamentos que tiveram a presença de fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) foram utilizados uma mescla de 2 isolados, IAC 5 (*Rhizophagus intraracis*) e IAC 44 (*Claroideoglossum etunicatum*), fornecidas pelo IAC

– Instituto Agronômico de Campinas como fonte de inóculos (Figura 8). Esses provenientes de vasos estoques multiplicadores em milho tendo as estruturas presentes: esporos, hifas e pedaços de raízes infectadas.

O procedimento de inoculação dos FMAs foi realizado ao início dos experimentos I e II em solo não estéril aplicando-se 100 g do inóculo, o equivalente a aproximadamente a 5.400 esporos por vaso e aplicado no mesmo instante da semeadura junto a cova.



Figura 8. Inoculação dos isolados FMAs IAC 5 e IAC 44

3.9 Aplicação do extrato solúvel de alga marinha

Em cada vaso adicionou-se 50 ml da solução a partir do extrato comercial de *A.nodosum* diluído na concentração de 0,3% de produto via solo.

As aplicações, por recomendação técnica, iniciaram-se aos 30 dias após o plantio (DAP) correspondente ao estágio pré – florescimento das plantas e as aplicações subsequentes realizadas semanalmente até o início da senescência das plantas.

3.9.1 Condições ambientais de cultivo dos experimentos I e II

Foram registrados diariamente os valores de umidade relativa do ar e das temperaturas máximas e mínimas no interior da estufa agrícola através de um

termo-higrômetro digital HT- 500 INSTRUTERM (Figura 9) durante todo o período de condução dos experimentos I e II.



Figura 9. Termo-higrômetro digital.

Através desses dados foi calculado o déficit de pressão de vapor (DPV), utilizados para determinar a pressão de saturação de vapor d'água no ar, conforme proposto por Tetens (1930) (Equação 4).

Equação 4

$$e_s = 0,6108 \cdot 10^{\left[\frac{(7,5 T)}{237,5+T}\right]}$$

Em que:

e_s = pressão de saturação de vapor d'água no ar (kPa);

T = temperatura do ar (°C).

Posteriormente, a partir da umidade relativa e da pressão de saturação de vapor d'água no ar, determinou-se a pressão parcial de vapor d'água no ar (Equação 5).

Equação 5:

$$e_a = \frac{UR \cdot e_s}{100}$$

Em que:

e_a = pressão parcial de vapor d'água (kPa);

UR = umidade relativa do ar (%).

A diferença entre a pressão de saturação e a pressão parcial de vapor d'água no ar possibilitou o cálculo do déficit de pressão de vapor d'água no ar

(DPV) ou seja, a quantidade de vapor d'água necessária para que o ambiente atinja o ponto de saturação (Equação 6), para ambos os experimentos mostrados pelas figuras 10 e 11.

Equação 6

$$DPV = (e_s - e_a)$$

Em que:

DPV= déficit de pressão de vapor d'água no ar (kPa).

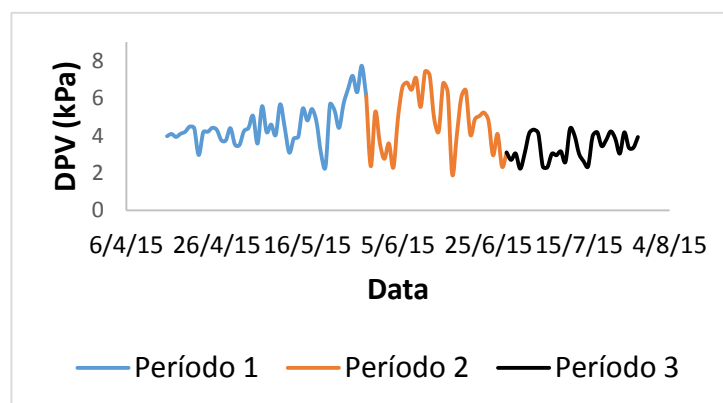


Figura 10. Déficit de pressão de vapor do experimento I

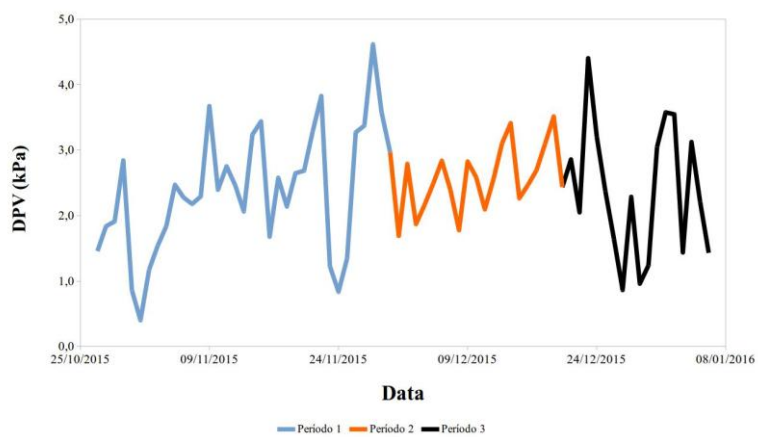


Figura 11. Déficit de pressão de vapor do experimento II

3.10 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental definido para os dois experimentos foi inteiramente ao acaso com avaliações realizadas em três períodos de amostragens denominados P1, P2 e P3 como mostrado nas Tabelas 7 e 8.

Tabela 7. Períodos de amostragem para os experimento I

Períodos de amostragem		
P1 (Período 1)	P2 (Período 2)	P3 (Período 3)
40 DAP	70 DAP	100 DAP
DL	30 DADL	60 DADL

DAP- Dias após plantio; DL- Início da diferenciação das lâminas de irrigação DADL- Dias após a diferenciação das lâminas de irrigação.

Tabela 8. Períodos de amostragem para os experimento II

Períodos de amostragem		
P1 (Período 1)	P2 (Período 2)	P3 (Período 3)
30 DAP	52 DAP	77 DAP
DL	30 DADL	60 DADL

DAP- Dias após plantio; DL- Início da diferenciação das lâminas de irrigação DADL- Dias após a diferenciação das lâminas de irrigação.

Para P1 considerou-se apenas a presença e ausência dos FMAs como exibido na Tabela 9, pois o início do diferenciamento das lâminas de irrigação e a aplicação do ESA foram aproximadamente aos 30 dias após o plantio (DAP) correspondente ao estágio pré – florescimento das plantas.

Tabela 9. Delineamento experimental para os experimentos I e II com *A. hypogaea* em P1.

Lâminas	FMAs	
100%	+	-

Nos demais períodos (P2 e P3), as plantas foram submetidas a três lâminas de irrigação correspondentes a 100%, 75% e 45% da necessidade hídrica da cultura.

De forma que todos os níveis hídricos tiveram plantas inoculadas e não inoculadas com os isolados selecionados assim como a aplicação ou não do ESA,

conforme a tabela 10. Configurando assim, 12 tratamentos com quatro repetições cada uma, totalizando 216 vasos, como exemplificado na Figura 12.

Tabela 10. Delineamento experimental no esquema fatorial 3 x 2 x 2 para os experimentos com D.H em *A. hypogaea* em P2 e P3.

Lâminas	ESA	FMA _s
100%	+	+ -
75%	+	+ -
45%	+	+ -

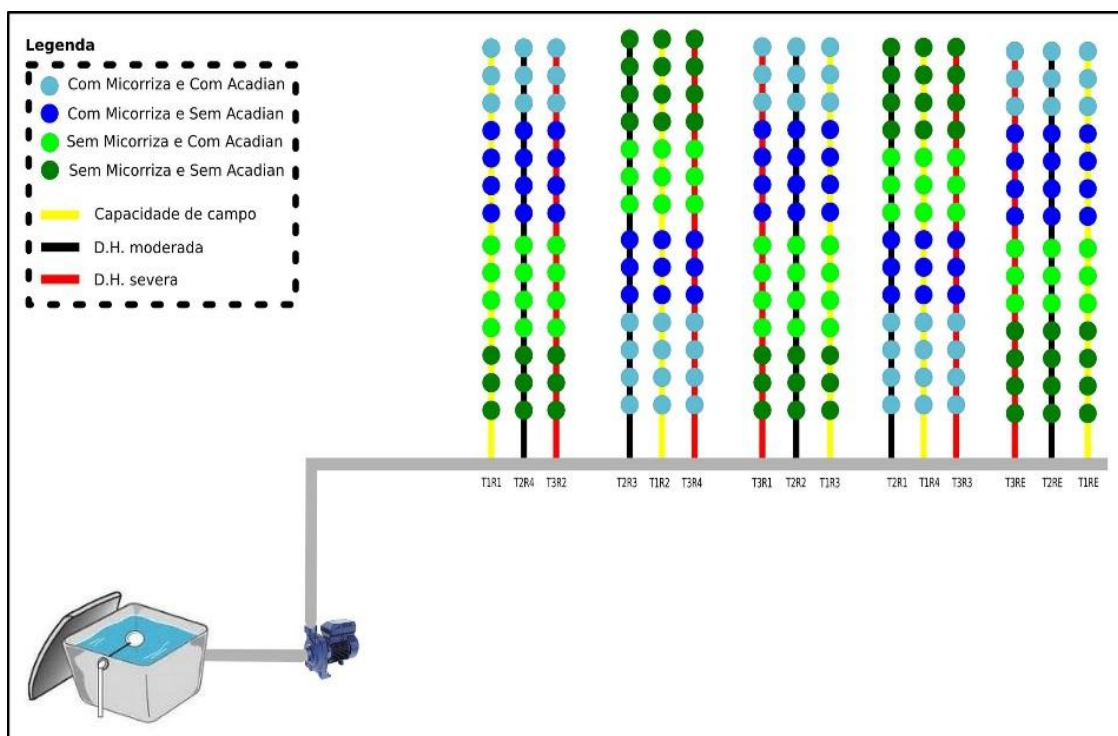


Figura 12. Ilustração do esquema de instalação do sistema de irrigação e tratamentos aplicados

3.11 Análises dos parâmetros biométricos

3.11.1 Comprimento de plantas

Foram realizadas medidas de comprimento das plantas, a partir dos 30 DAP; nesta determinação utilizou-se uma trena métrica sendo 4 plantas por tratamento medidas do colo até o ápice da haste maior.

3.11.2 Área foliar

Para a determinação da área foliar (cm^2 /planta) foram coletadas todas as folhas de cada planta ao final de cada período de amostragem, perfazendo um total de 4 repetições por tratamento, mensuradas por um integrador de área foliar Licor® 3100 (Licor Inc., Lincon, Nebraska, EUA).

3.11.3 Determinação da massa de matéria fresca e seca da parte aérea

Foram coletadas quatro plantas por tratamento, ao final de cada período de amostragem, para quantificar a MFF (matéria fresca da folha), MFC (matéria fresca de caule), MSF (matéria seca de caule) e MSC (matéria seca de caule) em g/ planta.

As plantas foram coletadas e em seguida foram separadas as folhas do caule e pesadas para determinação de massa de matéria fresca e posteriormente levadas a estufa de circulação de ar forçado a $60^\circ \text{C} \pm 5$ até massa constante, para determinação da massa de matéria seca.

3.11.4 Massa de matéria fresca e seca de raiz

Ao final de cada período de amostragem, foram coletados os sistemas radiculares de quatro plantas. Em seguida, o material vegetal foi pesado e levado a estufa de circulação de ar forçado a 60°C , para secagem. Quando o material atingiu massa constante, foi determinada a matéria seca, expressa em g planta⁻¹.

3.11.5 Índices de crescimento

Com os dados coletados nos itens 3.10.3 e 3.10.4 foram calculados os seguintes índices de crescimento: AFE (área foliar específica), RPF (razão de massa foliar, ou o inverso de AFE) e RAF (razão da área foliar), de acordo com Atwell et al. (1999) e Wilson et al., (1999) conforme segue-se.

$$\text{AFE (cm}^2\text{g}^{-1}) = \text{MSF/MSF}$$

$$\text{RPF (g cm}^{-2}) = \text{MSF / MST}$$

$$\text{RAF (cm}^2\text{ g}^{-1}) = \text{AF / MST}$$

Onde:

MSF- matéria seca de folha

MST- matéria seca total da planta

AF- área foliar

3.12 Relações hídricas

3.12.1 Conteúdo relativo de água na folha (CRA)

O conteúdo relativo de água na folha (CRA) das plantas de *A. hypogaea* foi analisado conforme Barrs e Weatherley (1962), através da pesagem da massa fresca (MF), túrgida (MT) e seca (MS) cinco discos foliares de quatro plantas por tratamento e calculado segundo a expressão:

$$\text{CRA(\%)} = [(\text{MF-MS}) / (\text{MT-MS})] * 100$$

3.12.2 Potencial hídrico foliar

O ψ foliar foi determinado através de uma câmara de pressão *Soil Moisture Equipment Corp* (SCHOLANDER et al., 1964), no período de ante manhã das

5:00 às 6:00 h, utilizando-se a segunda folha totalmente expandida e saudável de cada planta.

3.13 Determinação das características fisiológicas

3.13.1 Trocas gasosas

Avaliou-se os parâmetros fisiológicos como: taxa assimilatória líquida de CO₂ (A), condutância estomática (g_s), transpiração (E) e concentração interna de carbono (C_i) na segunda folha totalmente expandida próxima a gema apical. Os valores foram obtidos através de um medidor portátil de trocas gasosas Mod. IRGA LI-6400 entre 09:00 e 11:00 am. A radiação fotossinteticamente ativa foi de 1000 $\mu\text{mol m}^{-2}$. Foram utilizadas 4 plantas de cada tratamento durante os períodos de avaliação

3.13.2 Índice SPAD

Para a medição do índice SPAD em cada período de avaliação, utilizou-se um clorofilômetro (100%M-200 plus, Opti-sciences) e selecionadas 5 folhas por planta num total de 4 plantas por tratamento.

3.13.3 Teor de clorofilas a e b

Para a análise do teor de pigmentos, foram utilizados discos foliares com 2 cm² de diâmetro os quais foram mantidos em 2 mL de dimetil-formamida (DMF) por 24 h para extração de clorofilas (a e b). Após a incubação, as leituras da densidade ótica (D .) foram realizadas em espectrofotômetro nos comprimentos de onda 480, 646,8 e 663,8 nm. Os teores de clorofila foram determinados a partir de expressões específicas, descritas por Lee, Brammeier e Smith (1987).

3.13.4 Avaliação nutricional dos tecidos vegetais

No segundo período de avaliação de ambos experimentos foram coletadas folhas de 4 plantas por tratamento. A seleção deste período para essa avaliação esteve relacionada ao tempo esperado para o estabelecimento da colonização radicular simultânea a aplicação do ESA. O material foi seco em estufa de circulação de ar forçado a 60 °C, até massa constante. Em seguida as amostras foram moídas e levadas ao Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas situado no Departamento de Solos e Recursos Ambientais da FCA-UNESP Campus de Botucatu, para análise de macro nutrientes.

3.14 Análises bioquímicas

As análises bioquímicas realizadas durante os experimentos I e II seguiram os protocolos descritos na publicação intitulada Métodos de trabalho em bioquímica vegetal e tecnologia de enzimas (BROETTO, 2014).

3.14.1 Coleta e armazenamento do material vegetal

Para a realização das análises bioquímicas, foram coletadas quatro plantas de cada tratamento. Após a coleta as folhas foram acondicionadas em tubos plásticos do tipo *Falcon* e imediatamente imersas em nitrogênio líquido para congelamento rápido. Em seguida, os tubos foram mantidos em *Freezer* a – 80 °C.

Para o processamento, as folhas foram moídas em almofariz, na presença de nitrogênio líquido, até a obtenção de um pó fino. Após pesagem, as amostras foram armazenadas transferidas para frascos *Eppendorf* e armazenadas em *Freezer* a – 80 °C.

3.14.2 Procedimentos para obtenção do extrato bruto.

As amostras foram processadas para obtenção de dois extratos diferentes: o primeiro para a análise do teor de L-prolina e o segundo para as análises de atividade enzimática.

Para o primeiro extrato (análise de prolina), amostras de tecido foliar (100 mg) foram ressuspensas em 2,0 mL de ácido sulfosalicílico (3% em água destilada). Após centrifugação por 10 min a 4.000 x g, o sobrenadante foi coletado e armazenado em freezer a - 80° C.

O extrato para as análises das enzimáticas (SOD, CAT) e para a análise da concentração de proteína foi obtido pela ressuspensão do material vegetal (200 mg) em 2,0 mL de tampão fosfato de potássio 0.1 M, pH 7,8. Após centrifugação por 20 minutos a 5.000 x g, o sobrenadante foi coletado e armazenado em freezer a - 80° C.

3.14.3 Determinação do teor de proteína solúvel total

A concentração de proteína solúvel presente nos extratos foi determinada em triplicata, utilizando-se o método descrito por Bradford (1976) com albumina de soro bovino (BSA) como proteína padrão.

3.14.4 Determinação do teor de L-prolina

O teor de L-prolina ($\mu\text{g mL}^{-1}$ extrato) foi determinado utilizando-se o método de Bates, Waldren e Teare (1973). Para a realização do teste colorimétrico, pipetou-se alíquotas de 100 μL do extrato bruto; 2,0 mL de ninhidrina ácida; 2,0 mL de ácido acético glacial. Após aquecimento em banho-maria à aproximadamente 100 °C por 60 minutos, resfriaram-se os frascos e efetuou-se leitura a 520 nm. Como referência, utilizou-se curva padrão com (0, 20, 40, 60, 80 e 100 mg) de L-prolina.

3.14.5 Atividade da enzima Superóxido Dismutase (SOD; EC 1.15.1.1).

A determinação da atividade da SOD considerou a capacidade da enzima em inibir a fotorredução do NBT (Azul de nitrotetrazólio cloreto). A atividade foi determinada pela adição de 50 μL de extrato bruto a uma solução contendo 13 mM de metionina, 75 μM de NBT, 100 nM de EDTA e 2 μM de riboflavina em 3,0 mL de tampão fosfato de potássio 50 mM, pH 7.8, conforme descrito por (LONGO et al., 1993).

A reação foi iniciada pela iluminação dos tubos, em câmara composta por tubos fluorescentes (15 W), a 25° C. Após 5 minutos de incubação, o final da catálise foi determinado pela interrupção da luz (GIANNOPOLITIS; RIES, 1977). O composto azul formado (formazana) pela fotoredução do NBT foi determinado pelo incremento na absorção, feita por espectrofotometria com leituras a 560 nm. Os tubos considerados “branco” para a análise receberam os mesmos reagentes, porém foram mantidos cobertos com papel alumínio, portanto, abrigados da luz. Uma unidade de SOD foi definida como a quantidade de enzima necessária para a inibição de 50 % da fotoredução do NBT. Para o cálculo da atividade específica da enzima, considerou-se a percentagem de inibição obtida, o volume da amostra e a concentração de proteína na amostra ($\mu\text{g } \mu\text{L}^{-1}$).

3.14.6 Atividade da enzima Catalase (CAT; EC 1.11.1.6).

A atividade da enzima catalase foi determinada por medição em espectrofotômetro a um comprimento de onda de 240 nm pelo monitoramento da variação da absorção do peróxido de hidrogênio, conforme Peixoto et al. (1999). Para o teste, 50 μL de extrato bruto foram adicionados a 950 μL de um tampão fosfato de potássio 50 mM, pH 7,0 suplementado com peróxido de hidrogênio a uma concentração final de 12.5 mM. A variação da absorção (ΔE) foi calculada em um intervalo de 80 s, sendo a atividade da enzima calculada utilizando-se um coeficiente de extinção molar $\epsilon = 39,4 \text{ mM}^{-1} \text{ cm}^{-1}$. A atividade específica ($\mu\text{Kat } \mu\text{g Prot}^{-1}$) da catalase, levou em consideração a concentração de proteína solúvel no teste.

3.14.7 Atividade da enzima Peroxidase (EC 1.11.1.7)

A atividade da enzima POD foi determinada a partir da diluição (1:25) de 100 μL de extrato bruto e adicionados a 4,9 mL de solução tampão fosfato de potássio 25 mM, pH 6,8 contendo 20 mM de Pyrogallol e 20 mM H_2O_2 . Após incubação por 1 minuto a reação foi paralisada com 0,5 mL de H_2SO_4 e a leitura da absorbância feita a 420 nm. Para o cálculo da atividade específica ($\mu\text{Kat } \mu\text{g}^{-1}$ de proteína) da enzima POD foi utilizado um coeficiente de extinção molar de $2,47 \text{ mM cm}^{-1}$ (PEIXOTO et al., 1999).

3.14.8 Atividade da enzima Nitrato Redutase

A coleta das folhas ocorreu de forma padrão às 10:00 em 3 plantas por tratamento, sendo usados 200mg para determinação da atividade da enzima. O ensaio in vivo da nitrato redutase, foi efetuado pelo método Jaworski (1971) onde de segmentos de tecidos foliares (200 mg) foram incubados em frascos de vidro contendo 10 mL de solução tampão fosfato $0,1\text{ mol L}^{-1}$, pH 7,0, adicionado de 1ml de nitrato de potássio (KNO_3 $0,25\text{ mol L}^{-1}$) e 1mL de n- propanol (1% v/v), O tecido vegetal, submerso na solução de incubação, foi infiltrado à vácuo durante três minutos com intervalo de 30 segundos. Este procedimento foi repetido três vezes e teve por finalidade aumentar a penetração da solução nos tecidos. Após a infiltração os tubos foram levados em banho-maria a $30\text{ }^\circ\text{C}$, por 60 minutos. Finalizada a incubação retirou-se uma alíquota de 1 mL a qual foi adicionado 1 mL de sulfanilamida 1% (para interromper a reação) e 1 mL de N-naftil-etilenodiamino 0,02%. Após a adição destes reagentes procedeu-se a leitura de absorbância em espectrofotômetro a 540 nm. A atividade da enzima foi expressa em $\mu\text{moles de NO}_2$ - liberados por grama de matéria fresca na solução de incubação no período de uma hora ($\mu\text{moles de NO}_2\text{ h}^{-1}\text{ gm}^{-1}$), com base na curva padrão de NaNO_3 (0, 5, 10, 20, 25, 40 e 50 μM) de acordo com a metodologia proposta por Jaworski (1971).

3.14.9 Determinação do teor de açúcares totais

A quantificação de açúcares totais foi determinada em duplicata pelo método de Dubois et al. (1956). Para as análises, 20 μL de extrato bruto foram adicionados a 980 μL de água destilada, 500 μL de fenol 5% (Folin Ciocauteau, Dinâmica Ltda.) e 2,5 mL de ácido sulfúrico (Anidrol, 95 a 98% de pureza) em tubos de ensaio. Após 20 min de incubação, as leituras foram realizadas em espectrofotômetro (Shimadzu, UVmini-1240) a 490 nm com o auxílio de cubetas de vidro (4 mL e 10 mm de caminho óptico), e comparadas com a curva padrão de glicose (concentrações: 20, 40, 60, 80 e 100 $\mu\text{g mL}^{-1}$).

3.15 Análises microbiológicas

Para avaliar o número de esporos de FMAs, processou-se de 100 g de solo e pela técnica de peneiramento úmido e centrifugação (3.000 rpm) por 3 minutos

em solução de sacarose (GERDEMANN; NICOLSON, 1963) e para contagem total do número de esporos, fez-se, uso de uma placa circular concêntrica com canaletas e Microscópio Eletrônico Digital USB 800X (Figura 13).

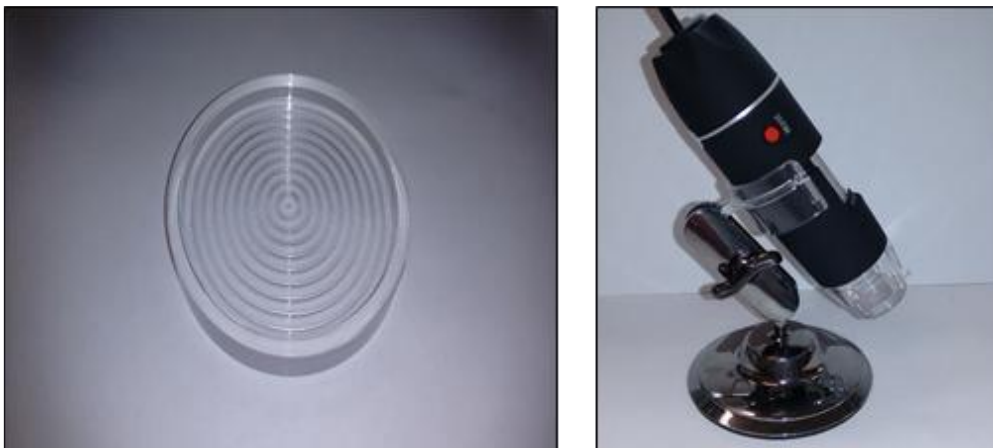


Figura 13. Placa circular concêntrica e microscópio USB

Para a determinação do número e peso de nódulos secos, destacou-se os nódulos das raízes de amendoim. Essas raízes foram lavadas e mantidas em álcool 50% até o momento da avaliação da colonização micorrízica. Para tal, retirou-se as raízes finas das plantas, sendo essas lavadas, clarificadas com KOH (10%) e coradas com azul de triptofano em glicerol 0,05% (PHILLIPS; HAYMAN, 1970).

Posteriormente foram avaliadas quanto à porcentagem de colonização micorrízica, de acordo com Giovannetti e Mosse (1980), em microscópio óptico com aumento final de 400X, observando-se 5 lâminas com 10 campos para cada segmento de aproximadamente 1cm de raiz para cada repetição, totalizando 15 lâminas por tratamento (Figura 14).

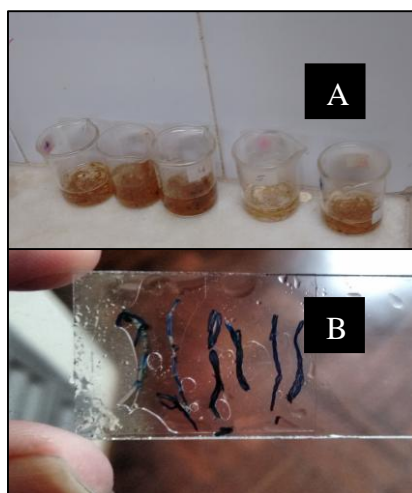


Figura 14. (A) Raízes de amendoim clarificadas com KOH, (B) lâminas contendo segmentos de raízes de amendoim coradas com azul de triptofano.

3.16 Componentes da produção

Determinou-se para indicadores de produção o número de vagens colhidas e número de grãos por vagem.

3.17 Análise estatística

As variáveis do P1 foram submetidas ao teste t “student” para identificar a diferença entre a presença e ausência dos FMAs nas plantas de amendoim.

Para os demais períodos (P2 e P3) foi utilizada a ferramenta matemática análise de componentes principais (PCA), utilizando-se o programa MINITAB. A PCA usa um conjunto de dados representado por uma matriz e sumariza esse conjunto por eixos não correlacionados (componentes principais) que são uma combinação linear das variáveis originais.

O intuito dessa ferramenta foi reduzir o número de variáveis a serem analisadas, selecionando as que apresentaram maior variabilidade entre os fatores descritos anteriormente.

No experimento I, as variáveis as quais tiveram quatro repetições como: biométricas, de trocas gasosas, de relações hídricas, de análise foliar de nutrientes e produção tiveram um valor de corte para seleção de 0,25, onde 31% da informação está presente no eixo X e 18% no eixo Y (Figura 15).

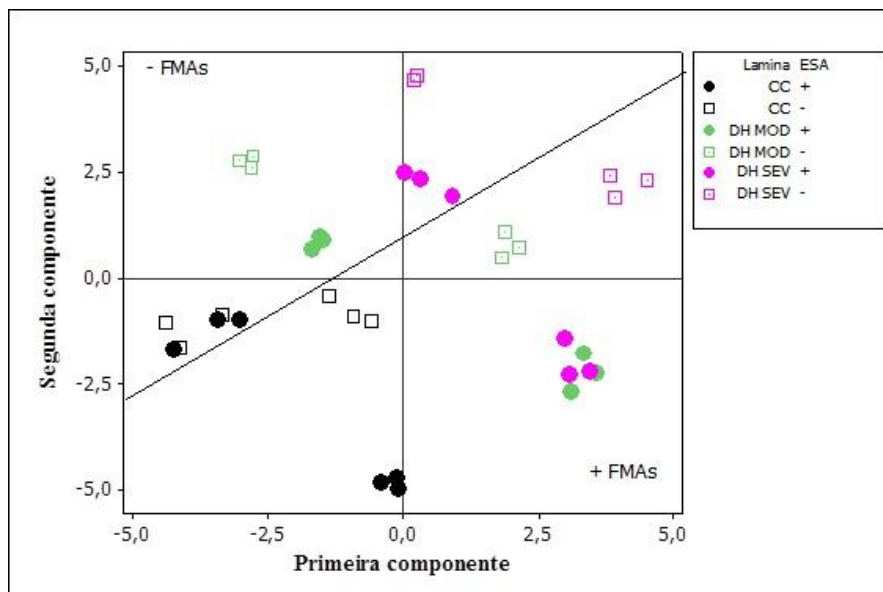


Figura 15. Análise de componentes principais (PCA) por lâmina de aplicação na presença ou ausência do ESA para as variáveis biométricas, trocas gasosas, relações hídricas, análise foliar de nutrientes e indicadores de produção, dos períodos 2 e 3 e índices de produção e plantas de amendoim cv. Runner 886.

Para as variáveis com três repetições correspondentes a avaliações bioquímicas e microbiológicas o valor corte foi de 0,3 onde 23% da informação está presente no eixo X e 19% no eixo Y respectivamente (Figura 16).

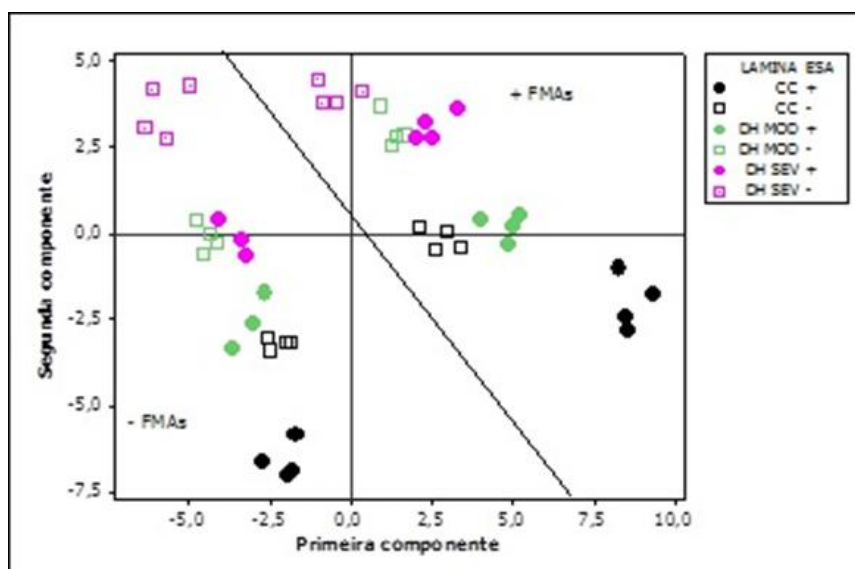


Figura 16. Análise de componentes principais (PCA) por lâmina de aplicação na presença ou ausência do ESA para as variáveis bioquímicas e microbiológicas dos períodos 2 e 3 de amendoim cv. Runner 886.

Da mesma maneira, para o experimento II, foi selecionada através do valor de corte de 0,26 as variáveis com 4 repetições: relações hídricas, biométricas, trocas gasosas, análise foliar de nutrientes e produção, onde 37% e 12% da informação estão no eixo X e Y respectivamente (Figura 17).

Para as variáveis com 3 repetições correspondente as avaliações bioquímicas e microbiológicas o valor de corte foi de 0,27 onde 12% da informação está presente no eixo X e 16% no eixo Y (Figuras 18).

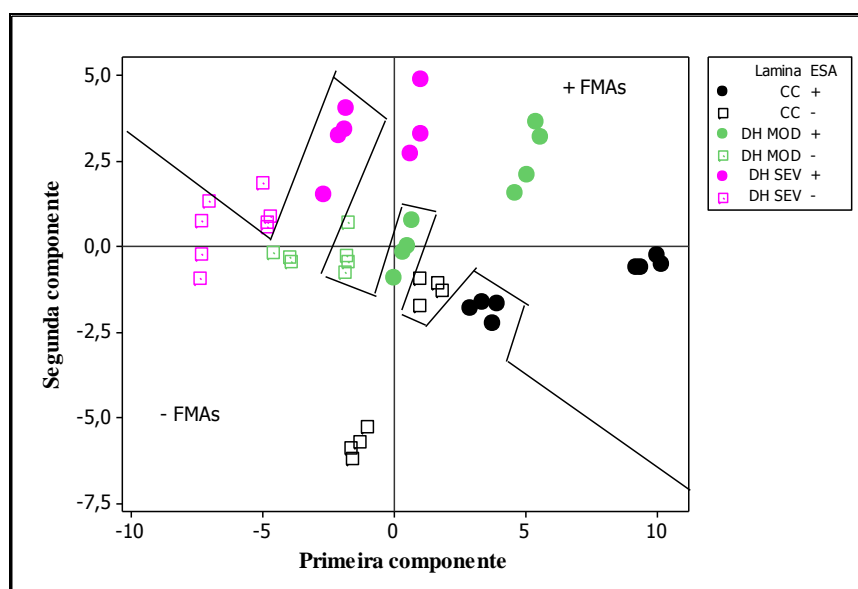


Figura 17. Análise de componentes principais (PCA) por lâmina de aplicação na presença ou ausência do ESA para as variáveis biométricas, trocas gasosas, relações hídricas, análise foliar de nutrientes e indicadores de produção, dos períodos 2 e 3 e índices de produção no cultivar Tatu ST.

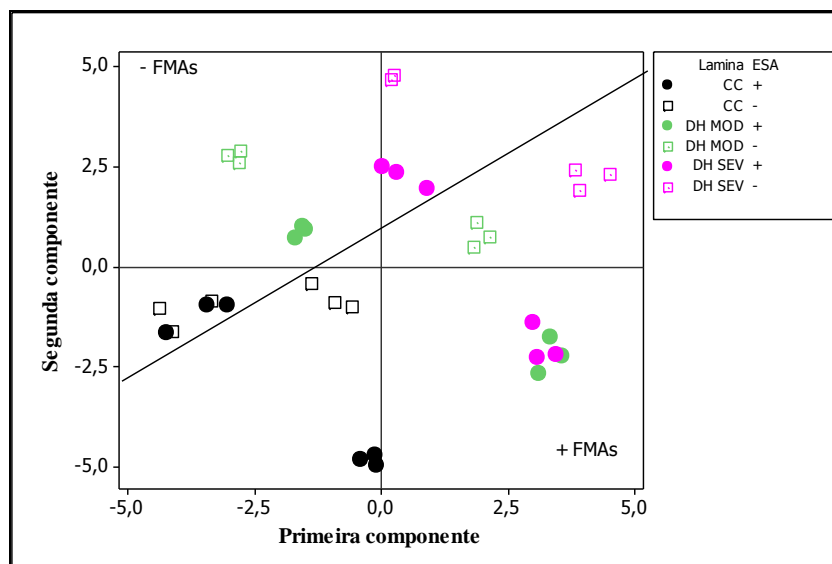


Figura 18. Análise de componentes principais (PCA) por lâmina de aplicação na presença ou ausência do ESA para as variáveis bioquímicas, microbiológicas dos períodos 2 e 3 e índices de produção no cultivar Tatu ST.

Essas variáveis selecionadas pela PCA, em P2 e P3, em ambos os experimentos foram avaliadas pela ANOVA, sendo as médias dos tratamentos comparadas pelo teste Tukey ($p < 0,05$) realizadas pelo programa estatístico ASSISTAT 7.7.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados e discussão serão apresentados em 2 segmentos contendo cada experimento conduzido e seguiram os fluxogramas relativos aos experimentos I e II (anexos 1 e 2) baseados nas variáveis que apresentaram diferença em P1 e as selecionadas pela PCA em P2 e P3.

4.1 Experimento I- IAC Runner

4.1.1 Tensões e lâminas aplicadas

Durante o P1, todas as plantas foram mantidas sob uma tensão de água no solo aproximada de 10 kPa correspondente a lâmina de 100% da necessidade hídrica da cultura. A partir do diferencialmento das lâminas, iniciado em P2 sendo mantido até o P3, as plantas que continuaram submetidas a lâmina de 100% permaneceram sob uma tensão de 10 kPa, as submetidas a lâmina de 75% sob uma tensão de 20kPa e as plantas submetidas a lâmina de 45% sob uma tensão de 50Kpa (Figura 19)

Ao final do Experimento I obteve-se as seguintes lâminas aplicadas dentre os 90 dias os quais as plantas ficaram sobre os regimes hídricos definidos para o presente estudo, respectivamente: 100%= 360,1 mm, 75%= 225,3 mm e 45%. 161,3 mm.

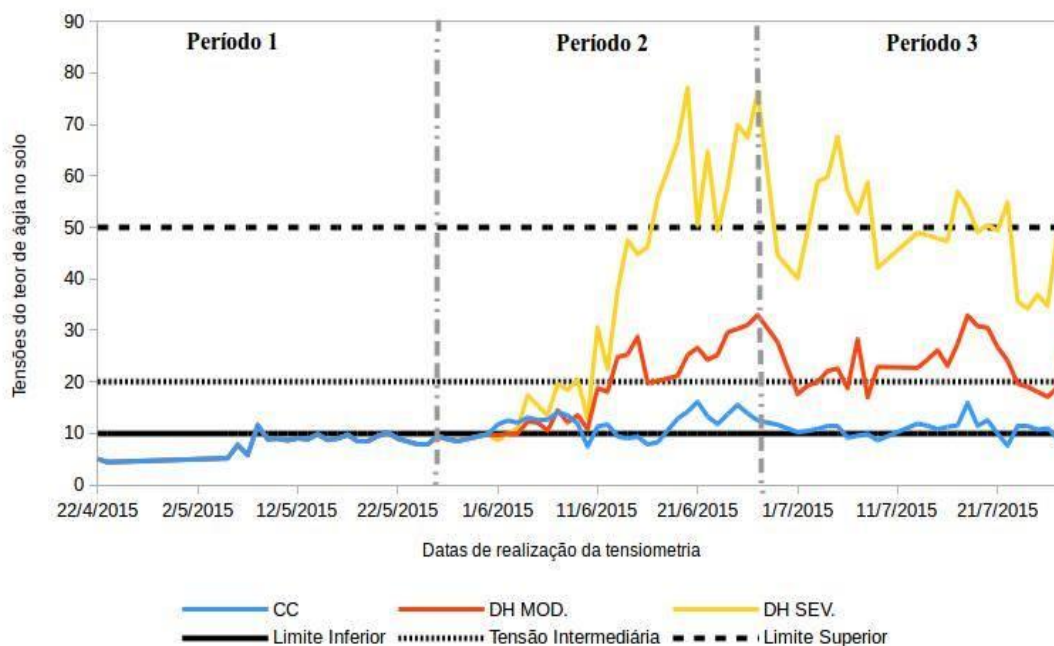


Figura 19. Valores de tensão de água (kPa) no solo para os períodos 1 2 e 3 dos tratamentos 100%, 75% e 45%, no período de 22 de Abril a 29 de julho 2015.

4.1.2 Primeiro período de avaliação (P1)

As avaliações biométricas e de trocas gasosas, correspondentes ao P1, indicaram a homogeneidade das plantas antes da diferenciação dos níveis de água entre os tratamentos. Assim como a confirmação de que no estágio inicial de desenvolvimento não se teve a influência do fator hídrico.

Logo, os efeitos primários encontrados nos referidos indicadores podem ser atribuídos pela presença dos FMAs, pois a adição do extrato solúvel de algas (ESA) foi a partir de P2.

Segundo a Tabela 11, indicadores como: altura de plantas e produção de matéria fresca e seca de folha e caule foram diferentes, indicando a promoção de crescimento através da simbiose entre o complexo solo-planta e FMAs. Semelhante comportamento foi relatado por Hippler e Moreira, (2009) e para a cultura de soja por Pereira *et al.*,(2013). Entretanto, resultados encontrados por Lazcano; Barrios-masias; Jackson, (2014), Kohler *et al.* (2008) e ZHU *et al.* (2012) demonstraram que não houve efeito significativo dos inoculantes biológicos para os parâmetros de crescimento em plantas de tomate, milho e alface respectivamente.

Tabela 11. Variáveis biométricas e de trocas gasosas do 1º experimento com amendoim cv. IAC Runner.

Variáveis	FMAs	
	Presença	Ausência
Ψ foliar (kPa)	-2,6A	-1,28B
Altura de planta (cm)	14,1A	11,0B
Matéria fresca de folha (g)	4,2A	3,6B
Matéria seca de folha (g)	0,8A	0,6B
Matéria fresca de caule (g)	3,4A	2,9B
Matéria seca de caule (g)	0,6A	0,6B
Matéria fresca de raiz (g)	1,2A	0,6B
Matéria seca de raiz (g)	0,2A	0,1A
Comprimento raiz (cm)	11,6A	1,4A
A ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	10,5A	5,5B
g_s ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	0,2A	0,1B
C_i ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	305,5A	257,3B
E ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	2,6A	0,5 B

Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem estatisticamente entre si pelo teste t !student.

Com relação ao *status* hídrico da planta, Augé (2001) aponta que a simbiose pode modificar o equilíbrio hídrico e que o ψ foliar e a condutância estomática estão funcionalmente relacionadas. No geral, mudanças em um desses indicadores levam a mudanças ao outro. Logo, as FMAs podem influenciar esse equilíbrio, no entanto, o comportamento estomático pode variar nas plantas colonizadas com FMAs sem que haja a variação no ψ foliar.

O ψ foliar em plantas não submetidas à DH em geral não é alterado pela simbiose com os FMAs, porém em alguns casos esse fator pode diferir mesmo em plantas que estão em condições de capacidade de campo (AUGÉ, 2001).

Geralmente, quando os sistemas radiculares estão contidos em volume restrito, como vasos, o ψ foliar reduz rapidamente em plantas micorrizadas devido ao sistema radicular estar mais profundo e denso (AUGÉ, 2001).

Já para os parâmetros de troca gasosas, as plantas micorrizadas expressaram uma taxa de assimilação líquida de carbono (A) e transpiração (E) superior frente as plantas não micorrizadas, o que é condizente com o trabalho de Lazcano et al. (2014) e ZHU et al. (2012). O referido trabalho de Lazcano compara a influência de sete espécies do gênero *Glomus* no crescimento e trocas gasosas quando há disponibilidade e restrição hídrica. Sendo que nos fatores de trocas gasosas, também se encontraram variações nas plantas que não sofreram restrição hídrica.

A condutância estomática (g_s) nas plantas inoculadas também foi superior frente as plantas não inoculadas em condições 100%. Por isso, a simbiose com as FMAs levaram ao incremento da capacidade de trocas gasosas através do decréscimo da resistência estomática e o aumento do fluxo transpiratório (LAZCANO et al., 2014). De certa forma, esse comportamento indica que a associação entre os fungos e as plantas auxiliou o desenvolvimento inicial das plantas.

4.1.3 Segundo e terceiro períodos de avaliação (P2 e P3)

4.1.3.1 Relações hídricas

Para o período 2, o ψ foliar não apresentou variações nas plantas submetidas a 100% independentemente da presença das FMAs e ESA. Porém, a partir do estabelecimento dos níveis de DH nas plantas, esse indicador sugeriu melhor manutenção do status hídrico das mesmas quando sob influência dos FMAs, do ESA e de ambos para a lâmina de 75%. Todavia, o solo quando atinge o maior de nível de restrição hídrica (45%) apenas na ausência dos FMAs o ESA surte efeito significativo (Tabela 12).

Com relação as lâminas, observou-se que houve expressiva redução do ψ foliar a medida em que se intensificava a DH, ainda que essa redução tenha sido atenuada quando aplicados os FMAs e o ESA (Tabela 13).

Tabela 12. Ψ foliar (kPa) em amendoim cv. Runner 886 cultivado em associação com FMAs e suplementado com ESA no segundo período de avaliação.

Lâminas	ESA	FMAs	
		Presença	Ausência
100%	+	-2,5 Aa	-2,7 Aa
	-	-2,9 Aa	-2,6 Aa
75%	+	-4,2 Aa	-3,7 Ba
	-	-4,8 Aa	-5,4 Aa
45%	+	-5,5 Aa	-5,8 Ba
	-	-5,8 Aa	-8,6 Aa

Médias seguidas de letras diferentes, maiúscula na coluna para cada lâmina e minúscula na linha, diferem pelo teste Tukey ($p < 0,05$).
FMAs- Fungos micorrízicos arbusculares e ESA- Extrato solúvel de algas marinhas.

Tabela 13. Ψ foliar (kPa) em amendoim cv. Runner 886 cultivados sob diferentes níveis de água em associação com FMAs no segundo período de avaliação.

Lâminas	ESA	FMAs	
		Presença	Ausência
100%	-	-2,9B	-2,6C
75%	-	-4,8A	-5,4B
45%	-	-5,8A	-8,6A
100%	+	-2,5C	-2,7B
75%	+	-4,2B	-3,7B
45%	+	-5,5A	-5,8A

Médias seguidas de letra maiúscula na coluna diferem entre as lâminas pelo teste Tukey ($p < 0,05$). FMAs- Fungos micorrízicos arbusculares e ESA- Extrato solúvel de algas marinhas.

Ao final de P2, o CRA a partir do estabelecimento da DH nas plantas, esse indicador apresentou diferença na lâmina de 45% entre as plantas micorrizadas e não micorrizadas (Tabela 14).

Tabela 14. CRA (%) em amendoim cv. Runner 886 cultivados sob diferentes níveis de água sob efeito da inoculação dos FMAs no segundo período de avaliação.

Lâminas	FMAs	
	Presença	Ausência
100%	84 Aa	88 Aa
75%	82 Aa	84 Aa
45%	83 Aa	73 Bb

Médias seguidas de letra maiúscula na coluna diferem entre as lâminas pelo teste Tukey ($p < 0,05$). FMAs- Fungos micorrízicos arbusculares.

Deste modo, as relações hídricas para este cultivar demonstraram que nestas condições, a simbiose com as espécies de FMAs (*C. etunicatum* e *R. intraradices*) podem ter favorecido a respostas frente a esse agente estressor. Dentre alguns mecanismos, destacam-se novamente o aumento da absorção de água através das hifas (AUGÉ et al., 2003) pelo aumento do contato solo/raiz e ajustamento osmótico (ALLEN; BOOSALIS, 1983).

A literatura apresenta duas frentes, uma que sustenta os efeitos apenas nutricionais causados pelos FMAs nas relações hídricas da planta hospedeira e outra que reconhece que efeitos não nutricionais, de forma que os FMAs podem influenciar as relações hídricas totalmente independente dos benefícios nutricionais, (AUGÉ, 2001).

Outros trabalhos validaram que durante a seca, plantas micorrizadas apresentam diferentes limiares até que haja a interferência no comportamento estomático, ou seja, elas mantêm a alta condutância estomática e a transpiração por mais tempo em relação as plantas não inoculadas (RUIZ-LOZANO, 2003).

Ao contrário do presente estudo, em condições de plena disponibilidade hídrica, o trabalho de Araújo e Ferreira (1997), apresentou as menores oscilações no potencial hídrico foliar entre o controle e os tratamentos estressados para a cultura do amendoim.

Os resultados observados na lâmina de 100% em P3, independente do uso dos agentes biológicos (FMAs e ESA), não demonstraram diferenças para o potencial hídrico foliar (Tabela 15).

Tabela 15. Ψ foliar (kPa) em amendoim cv. Runner 886 cultivado em associação com FMAs e suplementado com ESA no terceiro período de avaliação.

Lâminas	ESA	FMAs	
		Presença	Ausência
100%	+	-1,85Aa	-2,00Aa
	-	-2,83Aa	-2,43Aa
75%	+	-3,25Ab	-4,75Aa
	-	-3,76Aa	-4,25Aa
45%	+	-5,07Aa	-5,28Ba
	-	-5,66Aa	-6,75Aa

Médias seguidas de letras diferentes, maiúscula na coluna para cada lâmina e minúscula na linha, diferem pelo teste Tukey ($p < 0,05$).
FMAs- Fungos micorrízicos arbusculares e ESA- Extrato solúvel de algas marinhas.

Entretanto, ao ser considerado o fator ESA, para lâmina de 75%, houve um efeito positivo quando em associação com os FMAs. Como consequência da limitação do fornecimento de água foi verificado um aumento do potencial hídrico foliar (Tabela 16).

Tabela 16. Ψ foliar (kPa) em amendoim cv. Runner 886 cultivados sob diferentes níveis de água em associação com FMAs no terceiro período de avaliação.

Lâminas	ESA	FMAs	
		Presença	Ausência
100%	-	-2,83B	-2,43C
75%	-	-3,76B	-4,25B
45%	-	-5,66A	-6,75A
100%	+	-1,85C	-2,00B
75%	+	-3,25B	-4,75A
45%	+	-5,07A	-5,28A

Médias seguidas de letras diferentes na coluna diferem entre as lâminas pelo teste Tukey ($p < 0,05$). FMAs- fungos micorrizicos.ESA- Extrato solúvel de algas.

A manutenção do turgor celular das raízes durante a DH pode estar relacionada ao ajustamento osmótico promovido pela inoculação com FMAs, assim como também pela alternância no fracionamento da água durante o transporte via apoplasto/simplasto (AUGE et al., 1992; DODD; PEREZ-ALFOCEA, 2012). Segundo os autores citados anteriormente, o incremento do transporte ativo de solutos poderia agir como um mecanismo para de sustentação dor o fluxo de água na raiz.

O CRA nas folhas sob 75% e 45%, próximo ao final do ciclo da cultura, foi inferior comparado as plantas em 100% (Tabela 17). Contudo, baseado nos valores encontrados de 87,9% para lâmina 100% e 80,6% e para lâmina 75% na ausência do ESA e 82,6 para lâmina 100% e 76,2 para a lâmina de 75% com a utilização do extrato, demonstrou que o uso do bioestimulante acarretou na redução desse atributo.

Essas alterações percebidas através das relações hídricas, durante esse experimento, manifestaram influência a longo prazo na tolerância do cultivar Runner quando presente os agentes biológicos.

Tabela 17. CRA (%) em amendoim cv. Runner 886 cultivados sob diferentes níveis de água suplementados com ESA no terceiro período de avaliação.

Lâmina	ESA	
	Com	Sem
100%	82.7 Ab	88.0 Aa
75%	76.3 Bb	80.6 Ba
45%	72.8 Ba	72.7 Ca

Médias seguidas de letras diferentes na coluna diferem entre as lâminas pelo teste Tukey ($p < 0,05$). ESA-extrato solúvel de algas.

4.1.3.2 Biometria

A massa seca de folha (MSF) não apresentou diferença e, relação as lâminas no P2 e o maior incremento significativo para esta variável pode ser verificado pela associação dos FMAs e adição do ESA seguido das plantas que foram apenas inoculadas com os FMAs (Tabela 18). Este resultado corrobora com resultados encontrados por Al-Khaliel, et al., (2010) para cultura do amendoim sob influência da salinidade em plantas inoculadas com FMAs. Assim, nota-se que para esse atributo o ESA não promoveu alteração na ausência dos FMAs.

Tabela 18. Valores médios (n=4) de MSF (g) em amendoim cv. Runner 886 em associação com FMAs e suplementado pelo ESA no segundo período de avaliação.

FMAs	ESA	
	Com	Sem
Presença	1,4192 Aa	1,0912 Ab
Ausência	0,7290 Ba	0,6561 Ba

Médias seguidas de letras diferentes maiúscula na coluna e minúsculas na linha diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$). MSF- matéria seca de folha, FMAs- Fungos micorrízicos arbusculares e ESA- Extrato solúvel de algas marinhas.

As variáveis, matéria fresca e seca da raiz (Tabela 19) apontaram nas plantas hidratadas suplementadas com o ESA, os melhores resultados quando comparadas as plantas que foram somente inoculadas e sob a influência de ambos os agentes biológicos não há benefícios para as mesmas.

Tabela 19. MFR e MSR (g) em amendoim cv. Runner 886 cultivado em associação com FMAs e suplementado com ESA no segundo período de avaliação.

Lâminas	ESA	MFR		MSR	
		FMAs		FMAs	
		Presença	Ausência	Presença	Ausência
100%	+	0,731Bb	2,073Aa	0,222Ab	0,624Aa
	-	1,394Ab	1,829Aa	0,302Aa	0,312Ba
75%	+	1,046Ab	2,005Aa	0,300Aa	0,408Aa
	-	0,915Aa	0,658Ba	0,211Aa	0,247Ba
45%	+	0,897Aa	1,109Aa	0,266Aa	0,431Aa
	-	0,644Aa	0,892Aa	0,237Aa	0,236Ba

Médias seguidas de letras diferentes, maiúscula na coluna para cada lâmina e minúscula na linha, diferem pelo teste Tukey ($p < 0,05$). MFR- matéria fresca de raiz, FMAs- Fungos micorrízicos arbusculares e ESA- Extrato solúvel de algas marinhas.

Por conseguinte, esse comportamento antagônico entre FMAs e o ESA permaneceu nas plantas submetidas a 75% e pôde ser identificado através dos

maiores valores de MFR e MSR serem pela aplicação do ESA sem FMAs, assim como pela presença dos FMAs sem o ESA respectivamente. Entretanto, para a lâmina de 45% houve diferença apenas na ausência dos FMAs quando há a suplementação do ESA para esses atributos.

Notadamente, o efeito prejudicial demonstrado pela expressiva redução da MFR e MSR fica evidente frente a 45% (Tabela 20).

Tabela 20. MFR (g) em amendoim cv. Runner 886 cultivados sob diferentes níveis em associação com FMAs no segundo período de avaliação.

Lâminas	ESA	MFR FMAs		MSR FMAs	
		Presença	Ausência	Presença	Ausência
100%	-	1,394A	1,829 A	0,302A	0,312 A
75%	-	0,915 AB	0,892 AB	0,211A	0,247 A
45%	-	0,644 B	0,658 B	0,237A	0,236 A
100%	+	0,731A	2,073 A	0,222A	0,624 A
75%	+	1,046A	2,005 A	0,300A	0,408B
45%	+	0,897A	1,109 B	0,266A	0,431B

Médias seguidas de letra maiúscula na coluna diferem entre as lâminas pelo teste Tukey ($p < 0,05$). MFR-matéria fresca de raiz, FMAs-Fungos micorrízicos arbusculares e ESA- Extrato solúvel de algas marinhas.

Em equivalência aos resultados anteriores relacionados a MFR e MSR, o atributo comprimento da raiz (Tabela 21) apontou para as plantas 100% com aplicação do ESA diferença significativa entre a presença e ausência dos FMAs. Sendo que o maior valor encontrado foi de 22,05 cm, para essa lâmina, na ausência dos fungos seguido do tratamento sem a aplicação do ESA na presença dos FMAs com valor de 19,75 cm. Entretanto, esse último não diferiu quando aplicado o ESA na presença dos fungos e nem na ausência dos dois fatores.

Apesar desse comportamento apresentado pelas plantas hidratadas, na 75% independentemente da aplicação simultânea, individual ou a inexistência dos fatores FMAs e ESA, nenhuma dessas condições promoveu efeitos significativos para o atributo comprimento da raiz.

Ainda assim, efeitos significativos positivos para a lâmina de 45% foram observados quando aplicado o ESA tanto na presença quanto na ausência dos FMAs e com a inoculação dos FMAs sem o ESA quando comparados a ausência desses fatores.

Por fim, com relação aos níveis hídricos constatou-se que, com a inoculação dos fungos e aplicação do ESA, a lâmina 100% diferiu entre as lâminas de

75% e 45%, porém entre elas não houve diferença significativa para o presente atributo. Já quando esses fatores são avaliados em conjunto há apenas a diferença significativa entre as lâminas 100% e 45%. Em função da intensidade do nível de DH (Tabela 22) foi observado a redução do comprimento da raiz na ausência de ambos.

Quando as plantas de amendoim sofreram estresse entre os 30 e 60 DAP (correspondente a P2), período de maior crescimento vegetativo, a lâmina de 45%, promoveu menores valores para os atributos biométricos o que também foi encontrado pelo trabalho de (ARAÚJO; FERREIRA, 1997) ao submeter plantas de amendoim à deficiência hídrica em diferentes estádios fenológicos.

Tabela 21. Comprimento de raiz (cm) em amendoim cv. Runner 886 cultivados em associação com FMAs e suplementado pelo ESA no segundo período de avaliação.

Lâminas	ESA	FMAs	
		Presença	Ausência
100%	+	17,40Ab	22,05Aa
	-	19,75Aa	18,71Ba
75%	+	16,75Aa	17,04Aa
	-	14,12Aa	14,62Aa
45%	+	14,15Aa	12,62Aa
	-	11,62Aa	8,25Bb

Médias seguidas de letras diferentes, maiúscula na coluna para cada lâmina e minúscula na linha, diferem pelo teste Tukey ($p < 0,05$). FMAs- Fungos micorrízicos arbusculares e ESA- Extrato solúvel de algas marinhas.

Tabela 22. Comprimento de raiz (cm) em amendoim cv. Runner 886 cultivados sob diferentes níveis de água em associação com FMAs no segundo período de avaliação.

Lâminas	ESA	FMAs	
		Presença	Ausência
100%	-	19,75A	18,71A
75%	-	14,12B	14,62B
45%	-	11,62B	8,25C
100%	+	17,40A	22,05A
75%	+	16,75AB	17,00B
45%	+	14,15B	12,62B

Médias seguidas de letras diferentes na coluna diferem entre as lâminas pelo teste Tukey ($p < 0,05$). FMAs- Fungos micorrízicos arbusculares e ESA- Extrato solúvel de algas marinhas.

A ação individual da aplicação de ESA para os parâmetros MFR e MSR, no presente ensaio, se mostrou mais evidente quando comparada às plantas que receberam inoculação com FMAs. Almeida et al. (2014) em seu trabalho com porta enxerto de aceroleira, para os parâmetros relacionados a raiz, não identificou efeito

sinérgico entre ESA e FMAs e atribuiu o incremento nestes parâmetros a inoculação dos FMAs.

Diferente dos resultado encontrados neste trabalho, o ESA apresentou maior influência para os atributos de raiz. Segundo Paszt et al. (2015), que associaram fertilizantes orgânicos com FMAs nativos em morango, o fertilizante orgânico a base de extrato de algas se mostrou mais eficiente para as características de crescimento da raiz do que o produto comercial com a mistura de microrganismos (*Glomus sp.*, *Trichoderma viride* e espécies de rizobactérias como *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas fluorescens*, *Streptomyces spp.*). Santos et al., (2013) ao avaliar o efeito de biostimulantes a base de algas marinhas para cultura do milho, também encontrou resultados mais expressivos para MSR.

Para a cultura do trigo quando aplicado o ESA (via tratamento de sementes) a base de *A. nodosun* não foram encontradas diferenças significativas para MFR, MSR, MFA e MSA quando aplicado o ESA via semente (MATOS et al., 2015), assim como para a cultura da soja (ROSSETO; SIMONETI, 2012). Esses trabalhos indicaram que uso de bioestimulantes pode influenciar negativamente a absorção de nutrientes pela planta (CAMPOS et al., 2011) e assim interferir nas relações com FMAs, dependendo do cultivar em estudo, presença de determinados compostos e região geográfica onde o ensaio é realizado.

Constatou-se que no último período de amostragem (P3) houve decréscimo nas medidas das variáveis representativas a biomassa vegetal da parte aérea (MFF, MFC e MSC).

Todavia, para as plantas submetidas à lâmina de 100% (Tabela 19) com relação ao fator FMAs e independente da aplicação do ESA, não demonstraram efeito significativo mesmo na ausência dos fungos. Por sua vez, com a utilização ou não do ESA, a interação deste fator com os FMAs mostrou resultados superiores. Isso parece indicar que houve incremento na MFF em plantas micorrizadas, embora em valor absoluto, os dois agentes biológicos combinados promoveram maior incremento na massa vegetal.

Para a lâmina de 75%, a aplicação associada de FMA e ESA resultou em efeito sinérgico significativo para todas as combinações avaliadas em relação a MFF. Ademais, em função das lâminas para este atributo biométrico com a inoculação dos fungos, todas diferiram entre si, onde os maiores valores foram encontrados para o tratamento de 100%. Verificou-se também que na ausência de agentes biológicos, a

lâmina 100% difere da de 45%. Entretanto, ambas as lâminas não diferem da 75%, possivelmente por ser esta uma lâmina de transição onde alguns dos atributos podem apresentar desempenho variáveis entre a população dentro daquele tratamento (Tabela 23). Por fim, o ESA amenizou as perdas nas plantas submetidas a 75% da lâmina de irrigação pois os resultados não diferiram estatisticamente dos resultados apresentados pela lâmina 100% (Tabela 24).

Tabela 23. MFF (g) em amendoim cv. Runner 886 cultivados em associação com FMAs e suplementado pelo ESA no segundo período de avaliação.

Lâminas	ESA	FMAs	
		Presença	Ausência
100%	-	15,746Aa	7,193Ab
75%	-	10,643Aa	6,156Ab
45%	-	10,385Aa	7,255Ab
100%	+	7,893Ba	5,681Bb
75%	+	8,211Aa	5,519Ab
45%	+	5,128Ba	4,640Aa

Médias seguidas de letras diferentes na coluna diferem entre as lâminas pelo teste Tukey ($p < 0,05$). FMAs- Fungos micorrízicos arbusculares e ESA- Extrato solúvel de algas marinhas. MFF- Massa fresca de folha

Tabela 24. MFF (g) em amendoim cv. Runner 886 cultivados sob diferentes níveis de água em associação com FMAs no terceiro período de avaliação.

Lâminas	ESA	FMAs	
		Presença	Ausência
100%	-	10,643A	6,156A
75%	-	7,893B	5,681AB
45%	-	5,128C	4,640B
100%	+	15,746A	7,193A
75%	+	10,385B	7,255A
45%	+	8,211C	5,519B

Médias seguidas de letras diferentes na coluna diferem entre as lâminas pelo teste Tukey ($p < 0,05$). MFF- matéria fresca de folha, FMAs- Fungos micorrízicos arbusculares e ESA- Extrato solúvel de algas marinhas.

Nas plantas hidratadas (100%), independente da inoculação com micorrizas, a aplicação do ESA influenciou os atributos MF e MS do caule. Assim como, independente da aplicação do ESA, as plantas inoculadas tiveram seus resultados diferentes das quais não foram inoculadas. Do mesmo modo, as plantas submetidas à lâmina de 75%, exceto na ausência do ESA, pois estas foram indiferentes a aplicação dos FMAs. Embora, durante o último período de amostragem, a limitação do fornecimento de água tenha reduzido significativamente a MFC e MSC (Tabelas 25 e 26), foi possível

observar o potencial efeito sinérgico e individual desses fatores biológicos em detrimento do acúmulo de biomassa, causado pela DH, através do incremento da MFF, MFC e MSC.

Tabela 25. MFC e MSC (g) em amendoim cv. Runner 886 cultivados em associação com FMAs e suplementado com ESA no terceiro período de avaliação.

Lâminas	ESA	MFC FMAs		MSC FMAs	
		Presença	Ausência	Presença	Ausência
100%	+	25,001Aa	8,409Ab	6,193Aa	0,867Ab
	-	8,963Ba	5,533Bb	3,636Ba	1,399Ab
75%	+	10,583Aa	6,046Ab	2,533Aa	1,468Ab
	-	5,497Ba	4,086Ba	1,246Ba	1,215Aa
45%	+	8,132Aa	5,607Ab	1,924Aa	1,229Aa
	-	6,581Aa	4,083Bb	0,787Ba	0,456Ba

Médias seguidas de letras diferentes, maiúscula na coluna para cada lâmina e minúscula na linha, diferem pelo teste Tukey ($p < 0,05$). MFC- matéria fresca de caule e MSC- matéria seca de caule. FMAs- Fungos micorrízicos arbusculares e ESA- Extrato solúvel de algas marinhas.

Tabela 26. Valores médios (n=4) de MFC e MSC (g) em amendoim cv. Runner 886 cultivados sob diferentes níveis de água em associação com FMAs no terceiro período de avaliação.

Lâminas	ESA	MFC FMAs		MSC FMAs	
		Presença	Ausência	Presença	Ausência
100%	-	8,963A	5,533A	3,636A	1,399A
75%	-	5,497B	4,086B	1,246B	1,215A
45%	-	6,581B	4,083B	0,787B	0,456B
100%	+	25,001A	8,409A	6,193A	0,867A
75%	+	10,583B	6,046B	2,533B	1,468A
45%	+	8,132C	5,607B	1,924B	1,229A

Médias seguidas de letra maiúscula na coluna diferem entre as lâminas pelo teste Tukey ($p < 0,05$). MFC- matéria fresca de caule e MSC- matéria seca de caule. FMAs- Fungos micorrízicos arbusculares e ESA- Extrato solúvel de algas marinhas.

Os resultados relatados parecem demonstrar que há benefícios relacionados ao uso de extratos comerciais de algas, como os obtidos de *A. Nodosum*. Este efeito pode estar associado aos compostos ativos do extrato que atuam sinergicamente em diferentes concentrações (HERNÁNDEZ-HERRERA et al., 2014). Considera-se também, a possibilidade de efeitos diretos do uso destes extratos, como os observados pelos métodos de aplicação via solo ou foliar, os quais podem ser diretos ou indiretos a medida que o ESA altera a comunidade microbiana da rizosfera (CRAIGIE, 2011).

Conforme Temple e Bomke (1989), a melhoria no desempenho metabólico atribuída pela aplicação dos bioestimulantes é constatada pelos indicadores de qualidade fitotécnica, como altura de planta, MSF, MSC e MSC).

A ação dos bioestimulantes pode não ser tão evidente quando o manejo da cultura e o emprego da adubação recomendada são adequados (GALINDO et al., 2015). Dessa forma, algumas características biométricas podem ser influenciadas pelas próprias características do cultivar, associada a condições experimentais de clima e manejo.

Contudo, as plantas mantidas sob ação de agentes ambientais adversos, podem apresentar resposta mais eficaz pela ação dos bioestimulantes devido a melhora do sistema de defesa e incremento nos níveis antioxidativos na planta (KARNOK, 2000).

A composição química do extrato de algas marinhas (*A. nodosum*, no caso do presente ensaio) é rica em aminoácidos que participam da síntese de compostos ativos que estimulam o crescimento da parte aérea e radicular das plantas. Além disso, as substâncias húmicas presentes nesses extratos podem influenciar na fertilidade do substrato que, pela liberação dos nutrientes, melhora a condições físico-químicas e biológicas do solo.

Comparando dois tipos de cultivares locais de amendoim com inoculação de FMAs Quilambo et al. (2005b), observaram aumento tanto da área foliar, MSF e MSR apenas para uma das cultivares de amendoim em ambas as fontes de FMAs. Corroborando com o presente ensaio, este comportamento pode sugerir a diferença entre a dependência micorrízica do hospedeiro através da variedade genética e a especificidade ecológica (ZHU et al., 2001).

Cultivares de amendoim mais rústicas, e que tenham potencial de se desenvolver em solos de baixa fertilidade, podem ter maior compatibilidade com os FMAs nativos e inoculados (QUILAMBO et al., 2005b). O nível de tolerância a DH pode ser incrementado em função da espécie do isolado (RUIZ-LOZANO; AZCÓN, 1995). E segundo Al-karaki (1998) e Quilambo et al. (2005a) esse é um aspecto importante para se definir a melhor combinação entre o hospedeiro e os fungos, aplicados para ambientes com baixa disponibilidade hídrica.

4.1.3.3 Trocas gasosas

No experimento com o cv. Runner para os atributos fisiológicos de trocas gasosas, observou-se diferença significativa entre as três lâminas aplicadas (100%, 75% e 45%) sem a suplementação ESA, independentemente da presença dos FMAs. Efeitos benéficos pelo uso do ESA, em associação aos FMAs ou de forma individual, também são constatados nas plantas hidratadas (100%) assim como naquelas submetidas a DH, sendo que os níveis de 75% e 45% não diferiram entre si (Tabela 27).

As plantas submetidas a lâmina de 100%, quando suplementadas com ESA e micorrizadas, apresentaram a maior taxa de assimilação líquida (A), contudo a introdução dos agentes biológicos individualmente também provocaram incremento de A, porém em menor proporção (Tabela 28).

Entretanto, a imposição da lâmina 75%, na presença dos FMAs, os valores de A não foram sensíveis a suplementação do ESA, mas ocorreu o incremento de A nas plantas inoculadas com FMAs, independente do uso do bioestimulante.

Tabela 27. Taxa de assimilação líquida de CO₂ (A) ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) em amendoim cv. Runner 886 cultivados em associação com FMAs e suplementado com ESA no segundo período de avaliação.

Lâminas	ESA	FMAs	
		Presença	Ausência
100%	+	18,08Aa	8,05Ab
	-	7,96Ba	4,40Bb
75%	+	5,27Aa	1,38Ab
	-	5,41Aa	2,49Ab
45%	+	4,74Aa	1,19Ab
	-	1,66Ba	0,23Bb

Médias seguidas de letras diferentes, maiúscula na coluna para cada lâmina e minúscula na linha, diferem pelo teste Tukey ($p < 0,05$).
FMAs- Fungos micorrízicos arbusculares e ESA- Extrato solúvel de algas marinhas.

Tabela 28. Taxa de assimilação líquida de CO₂ (A) ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) em amendoim cv. Runner 886 cultivados sob diferentes níveis de água em associação com FMAs no segundo período de avaliação.

Lâminas	ESA	FMAs	
		Presença	Ausência
100%	-	7,96A	4,40A
75%	-	5,41B	2,49B
45%	-	1,66C	0,23C
100%	+	18,08A	8,05A
75%	+	5,27B	1,38B
45%	+	4,74B	1,19B

Médias seguidas de letras diferentes na coluna diferem entre as lâminas pelo teste Tukey ($p < 0,05$). FMAs- Fungos micorrízicos arbusculares e ESA- Extrato solúvel de algas marinhas.

Assim em P2, a medida que se intensificou as condições de DH (lâmina de 45%), os dados indicaram também que as plantas micorrizadas mantiveram as taxas de A superiores às plantas que tiveram apenas a suplementação com ESA. Tal comportamento apresentado no presente ensaio, parece estar relacionado a intensidade do estresse (75% e 45%), o período de submissão e o material cultivado (cv. Runner).

Através da simbiose com as plantas, as FMAs demonstraram ser agentes capazes de atenuar o impacto fisiológico causados por estresse abiótico (SHENG et al., 2008).

No geral, sob DH, os FMAs e ESA e favorecem as relações hídricas e ajudam a manter a pressão de turgor da célula, evitando o fechamento estomático, resultando em maior A e por consequência o incremento do crescimento (XU; LESKOVAR, 2015; ZHU et al., 2012).

Contudo neste estudo, o efeito promovido pelos FMAs e o ESA aplicados simultaneamente apresentou efeito estimulante para A comparado ao mesmo efeito quando aplicados individualmente nas plantas que não sofreram restrições hídricas. A aplicação dos ESA pode beneficiar o crescimento de microrganismos de solo pela presença de oligossacarídeos em sua composição. Essa classe de carboidratos, oriundos da degradação enzimática do ácido algínico, (composto extraído das algas marrons), pode estimular o crescimento e alongação de hifas de FMAs (KHAN et al., 2009).

Outros mecanismos também estão envolvidos em benefício a tolerância do amendoim frente a restrição hídrica pela inoculação dos FMAs, como mudanças na morfologia da raiz e na estrutura físico-química do solo, que melhoram a absorção de nutrientes e atividade fotossintética (DODD et al., 2012; AUGÉ, 2001).

Houve aumento da atividade fotossintética em resposta a inoculação com os FMAs, com ou sem a aplicação do ESA em P3 (Tabela 29). Isto parece demonstrar a influência dos FMAs já que os valores medidos são superiores as plantas não micorrizadas em condições hidratadas. O mesmo efeito não foi verificado em função da utilização do ESA, pois na ausência da micorriza sua aplicação não causou efeito sobre a fotossíntese.

Resultados similares também foram obtidos quando se aplicou as lâminas de 75% e 45%. Portanto, a interação entre as FMAs e ESA pelo efeito significativo sobre a fotossíntese confere efeito sinérgico, tanto em condições favoráveis quanto adversas. No entanto o uso individual desse bioestimulante não proporcionou alterações significativas. Os diferentes níveis de DH isoladamente, provocaram redução na atividade fotossintética. Este efeito pode ser evidenciado pelos valores significativamente maiores encontrados pela lâmina 100% frente as de 75% e 45% (Tabela 30).

Tabela 29. Taxa de assimilação líquida de CO₂ (A) ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$) em amendoim cv. Runner 886 cultivados em associação com FMAs e suplementado com ESA no terceiro período de avaliação.

Lâminas	ESA	FMAs	
		Presença	Ausência
100%	+	16,29Aa	5,849Ab
	-	9,90Ba	6,285Ab
75%	+	6,74Aa	0,510Ab
	-	2,74Ba	0,426Ab
45%	+	6,96Aa	1,890Ab
	-	2,20Ba	0,717Aa

Médias seguidas de letras diferentes, maiúscula na coluna para cada lâmina e minúscula na linha, diferem pelo teste Tukey ($p < 0,05$). FMAs- Fungos micorrízicos arbusculares e ESA- Extrato solúvel de algas marinhas.

Tabela 30. Taxa de assimilação líquida de CO₂ (A) ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$) em amendoim cv. Runner 886 cultivados sob diferentes níveis de água em associação com FMAs no terceiro período de avaliação.

Lâminas	ESA	FMAs	
		Presença	Ausência
100%	-	9,90A	6,28A
75%	-	2,74B	0,42B
45%	-	2,20B	0,71B
100%	+	16,2A	5,84A
75%	+	6,74B	0,51B
45%	+	6,96B	1,89B

Médias seguidas de letras diferentes na coluna diferem entre as lâminas pelo teste Tukey ($p < 0,05$). FMAs- Fungos micorrízicos arbusculares e ESA- Extrato solúvel de algas marinhas.

Tal resultado foi acompanhado pela redução do ψ foliar, como descrito no ítem de relações hídricas. Embora considerada uma cultura adaptada a regimes hídricos deficitários (PANDEY et al., 1984), o amendoinzeiro sofreu alterações neste fator quando reduziu-se severamente a disponibilidade hídrica.

Segundo Pinto et al., (2014), um dos efeitos negativos da DH sobre amendoinzeiro é afetar negativamente as taxas fotossintéticas. Entretanto, a associação dos FMAs contribuíram para que esses fatores não comprometessem a integridade do sistema fotossintético e mesmo na persistência dessa condição adversa as plantas conseguiram imprimir mecanismos e estratégias para limitar a perda de água (AUGÉ, 2001).

Alguns trabalhos como o de Sheng et al., (2008) indicam que a colonização micorrízica pode incrementar a taxa de assimilação líquida de carbono em plantas de milho. Contudo, ainda são poucos os estudos voltados para a influência da inoculação de FMAs sobre as relações hídricas e trocas gasosas frente a estresses abióticos associado ao uso de bioestimulantes a base de algas marinhas.

Com relação ao uso do ESA e seus efeitos exclusivamente nas trocas gasosas, também são poucos os trabalhos encontrados na literatura. Spann; Little, (2011) e Xu; Leskovar, (2015) trabalharam com citros e espinafre, respectivamente, e não encontraram efeitos significativos para A em condições hidratadas. À medida que se impôs a DH para os referidos trabalhos, as plantas de espinafre apresentaram incremento na A , entretanto para plantas de citros não foi identificado tal efeito.

Bettini, (2015) também não observou padrão de resposta para A em plantas de café sob DH. Entretanto as plantas, que receberam os extratos de alga, ainda mantiveram sua capacidade fotossintética similar as plantas que receberam o maior volume de irrigação.

A variável C_i (concentração interna de CO_2) apresentou valores superiores significativos em relação aos demais tratamentos, pela colonização dos FMAs, para as plantas hidratadas (Tabela 31). Demonstrando também que o ESA não produziu efeito sobre C_i nestas condições.

Tabela 31. Concentração interna de carbono (C_i) ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) em amendoim cv. Runner 886 cultivados sob diferentes níveis de água em associação com FMAs no terceiro período de avaliação.

Lâminas	ESA	FMAs	
		Presença	Ausência
100%	+	216,722Aa	97,956Ab
	-	282,610Aa	85,699Ab
75%	+	274,113Ba	78,501Bb
	-	373,316Aa	194,916Ab
45%	+	288,167Aa	117,639Ab
	-	171,166Ba	78,518Ab

Médias seguidas de letras diferentes na coluna diferem entre as lâminas pelo teste Tukey ($p < 0,05$). FMAs- Fungos micorrízicos arbusculares e ESA- Extrato solúvel de algas marinhas.

Quando imposta a lâmina de 75%, independente da colonização micorrízica, os resultados obtidos são melhores onde não houve a aplicação do bioestimulante. Assim como, os tratamentos onde o fator micorriza estava presente, tiveram valores superiores, os quais não diferiram pelo uso do ESA.

Diferentemente, a interação entre esses dois fatores na lâmina de 45% foi mais pronunciada. Em concordância com alguns resultados citados na literatura, o ESA promoveu incremento para esse atributo tanto em plantas micorrizadas ou não. Contudo, o incremento de C_i em plantas micorrizadas foi mais evidente na condição experimental, quando as plantas receberam ambiente de cultivo mais favorável.

Sánchez-díaz et al., (1990), por outro lado, trabalhando com plantas de *Medicago sativa* verificaram baixas taxas de C_i em tecido foliar de plantas micorrizadas, comparado as não micorrizadas. Isso denota novamente a variação da influência entre os micobiontes, sobre o comportamento estomático do hospedeiro.

Foi verificada também interação entre os níveis hídricos e os agentes biológicos (Tabela 32). Todavia, considerando-se que C_i é uma variável que geralmente mantém correlação positiva com A , maiores detalhes a respeito dos aspectos fotossintéticos comparativo entre plantas micorrizadas e não micorrizadas devem ser investigados.

Tabela 32. Concentração interna de carbono (C_i) ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) em amendoim cv. Runner 886 cultivados sob diferentes níveis de água em associação com FMAs no terceiro período de avaliação.

Lâminas	ESA	FMAs	
		Presença	Ausência
100%	-	282,610B	85,699B
75%	-	373,316A	194,916A
45%	-	171,166C	78,518B
100%	+	216,722A	97,956A
75%	+	274,113A	78,501A
45%	+	288,167A	117,639A

Médias seguidas de letras diferentes na coluna diferem entre as lâminas pelo teste Tukey ($p < 0,05$). FMAs- Fungos micorrízicos arbusculares e ESA- Extrato solúvel de algas marinhas.

Os níveis de deficiência hídrica, impostas pelas lâminas de irrigação de 75% e 45%, permaneceram no P3 a apresentar efeito direto sobre o potencial hídrico do amendoimzeiro. De forma que esse efeito possivelmente levaria a alterações na regulação estomática e posteriormente na capacidade de trocas gasosas.

Os estômatos respondem aos agentes estressores através de mecanismos hormonais que alteram as taxas de trocas gasosas entre a folha e o ar, regulando taxas de transpiração, com a manutenção do estado hídrico das células, mas também dificultando as trocas gasosas, como por exemplo a fixação de carbono.

O movimento estomático é um processo que sofre grande influência do ψ foliar e por consequência a diminuição da transpiração (PACHECO et al., 2011).

Em situações de restrição hídrica a suspensão da fotossíntese pode então ser atribuída ao fechamento estomático com redução da g_s (DOUPIS et al., 2013). Porém Centritto et al., (2003) observaram que a influência da variação do *status* hídrico no desempenho fotossintético não é demonstrado apenas pela g_s .

Portanto em condições de estresse moderado a capacidade fotossintética da folha pode não ser comprometida, sugerindo que não são apenas os estômatos responsáveis pela regulação da fotossíntese (CENTRITTO, et al., 2003).

Desta forma, os efeitos da aplicação dos agentes biológicos sobre a manutenção do potencial hídrico das plantas são o ponto determinante para o entendimento dos efeitos significativos obtidos nestes parâmetros de trocas gasosas.

No trabalho de Xu e Leskovar (2015), os resultados sugerem que o incremento das variáveis de trocas gasosas se deu através do movimento estomático diretamente influenciado pelas relações hídricas da planta.

A avaliação da transpiração (E) demonstrou que houve redução nos tratamentos com restrição da irrigação e na ausência dos FMAs e o bioestimulante quando comparados ao tratamento 100%.

Tanto para as plantas hidratadas quanto sob deficiência hídrica, foram observados valores significativos para E na presença dos FMAs, que para este parâmetro se mostrou mais eficiente que o ESA (Tabelas 33 e 34).

Tabela 33. Transpiração (E) ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$) em amendoim cv. Runner 886 cultivados em associação com FMAs suplementado com ESA no terceiro período de avaliação.

Lâminas	ESA	FMAs	
		Presença	Ausência
100%	+	4,75Aa	0,35Bb
	-	1,99Ba	1,79Aa
75%	+	2,03Aa	0,21Ab
	-	1,69Aa	0,10Ab
45%	+	2,84Aa	1,58Ab
	-	1,32Ba	0,22Bb

Médias seguidas de letras diferentes, maiúscula na coluna para cada lâmina e minúscula na linha, diferem pelo teste Tukey ($p < 0,05$). FMAs- Fungos micorrízicos arbusculares e ESA- Extrato solúvel de algas marinhas.

Tabela 34. Transpiração E ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$) (E) ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$) em amendoim cv. Runner 886 cultivados sob diferentes níveis de água sob efeito da inoculação dos FMAs no terceiro período de avaliação.

Lâminas	ESA	FMAs	
		Presença	Ausência
100%	-	1,99A	1,79A
75%	-	1,69A	0,10B
45%	-	1,32A	0,22B
100%	+	4,753A	1,92A
75%	+	2,034C	0,21B
45%	+	2,847B	1,58A

Médias seguidas de letras diferentes na coluna diferem entre as lâminas pelo teste Tukey ($p < 0,05$). FMAs- Fungos micorrízicos arbusculares e ESA- Extrato solúvel de algas marinhas.

Notadamente, para os tratamentos onde foi aplicado o ESA mais os FMAs a A também se manteve acima dos valores encontrados quando se tinha apenas um dos agentes biológicos, sugerindo que alguns dos parâmetros de crescimento continuaram a apresentar efeito sinérgico no terceiro período de amostragem.

Entretanto, não se observou padrão de resposta para os parâmetros de trocas gasosas com relação à interação entre a presença das FMAs e aplicação do ESA. Conforme Xu e Leskovar (2015), a indução de resistência promovida pelos biostimulantes está associada com o tipo de estresse envolvido e suas consequências metabólicas específicas de como cada agente estressor afeta a planta.

As respostas obtidas pela aplicação de agentes biológicos podem ser diferentes em plantas mantidas sob condições favoráveis ou quando submetidas a algum nível de estresse (SPANN e LITTLE, 2011; XU e LESKOVAR, 2015). De fato, tal comportamento também pode ser verificado para as plantas de amendoim no ensaio, quando se combinou agentes biológicos para se contrapor o impacto da DH.

4.1.3.4 Análises bioquímicas

Formulou-se a hipótese de que a restrição hídrica poderia desencadear uma resposta antioxidativa nas plantas e que poderia haver a interação com os bioestimulantes e a presença de micorrizas, alterando este sistema de resposta. Atividade da enzima catalase (CAT), para esse período de avaliação (P2), não demonstrou qualquer interação entre os três fatores estudados. Entretanto, houve interação significativa entre as lâminas d'água e FMAs (Tabela 35), assim como para lâminas e ESA (Tabela 36). Assim, constatou-se que a associação dos fungos com a planta assim como a aplicação do ESA, induziram a atividade da catalase, principalmente nas plantas mantidas sob qualquer nível de DH.

Tabela 35. Atividade da enzima catalase (CAT) ($\mu\text{Kat } \mu\text{g proteína}^{-1}$) em folhas de amendoim cv. Runner 886 cultivados em associação com FMAs sob diferentes níveis de água suplementado com ESA no segundo período de avaliação.

Lâminas	FMAs	
	Presença	Ausência
100%	73.291 Ba	23.619 Cb
75%	92.947 Aa	72.805 Ab
45%	94.741 Aa	62.763 Bb

Médias seguidas de letras diferentes, maiúscula na coluna para cada lâmina e minúscula na linha, diferem pelo teste Tukey ($p < 0,05$). FMAs- Fungos micorrízicos arbusculares e ESA- Extrato solúvel de algas marinhas.

Tabela 36. Atividade da enzima catalase (CAT) ($\mu\text{Kat } \mu\text{g prote\u00edna}^{-1}$) em folhas de amendoim cv. Runner 886 sob diferentes n\u00edveis de \u00e1gua suplementados com ESA no segundo per\u00edodo de avalia\u00e7\u00e3o.

L\u00e2minas	ESA	
	Presen\u00e7a	Aus\u00eancia
100%	51,910 Ba	45,015 Bb
75%	92,523 Aa	73,228 Ab
45%	89,595 Aa	67,916 Ab

M\u00e9dias seguidas de letra mai\u00fascula na coluna diferem entre as l\u00e2minas pelo teste Tukey ($p < 0,05$). FMAs- Fungos micorr\u00edzicos arbusculares e ESA- Extrato sol\u00favel de algas marinhas.

Ainda que muitos dos impactos positivos sejam atribu\u00eddos a uma melhor nutri\u00e7\u00e3o da planta pela associa\u00e7\u00e3o com FMAs (FOLLI-PEREIRA et al., 2012) e (XU; LESKOVAR, 2015) pelo uso do extrato oriundo de algas marinhas, o aumento da atividade dessas enzimas permitem que a planta tolere o excesso de EROs gerados durante a preval\u00eancia de condi\u00e7\u00f5es de estresse (COSTA, 2003).

Em seu estudo, Folli (2012) verificou que entre as plantas de *Jatropha curcas* inoculadas com FMAs (*G. Clarum*) com ou sem aplica\u00e7\u00e3o de GB ex\u00f3gena (glicina beta\u00edna), em condi\u00e7\u00f5es de estresse h\u00eddrico, redu\u00e7\u00f5es na atividade das enzimas CAT, POX e APX somente nas plantas micorrizadas. Contudo, Ghorbanli et al. (2004) em plantas de *Glycine Max* inoculadas com FMAs da esp\u00e9cie *G. etunicatum* sob estresse salino identificou o aumento da atividade dessas enzimas frente a esse agente estressore.

O contraste na interfer\u00eancia da micorriza sobre os atributos bioqu\u00edmicos podem ser atribu\u00eddos as condi\u00e7\u00f5es experimentais adotadas, estado fitossanit\u00e1rio est\u00e1dio fisiol\u00f3gico da planta durante a amostragem. Ainda no trabalho de Folli (2012) foi notado que a a\u00e7\u00e3o individual da GB ex\u00f3gena levou ao aumento de praticamente de todas as enzimas antioxidativas (CAT e SOD) em condi\u00e7\u00f5es de DH, assim como no presente trabalho quando aplicado o ESA.

Os bioestimulantes derivados de *A. nodosum* constituem em sua composi\u00e7\u00e3o qu\u00edmica amino\u00e1cidos do grupo beta\u00ednas e a poss\u00edvel efic\u00e1cia pela aplica\u00e7\u00e3o ex\u00f3gena desse amino\u00e1cido agregado a capacidade de algumas esp\u00e9cies sintetizarem e acumularem esse amino\u00e1cido quando expostos a agentes estressores, sugere um estimulo a toler\u00e2ncia de algumas esp\u00e9cies frente ao estresse abi\u00f3tico.

Constatou-se no terceiro período de amostragem, diferenças entre os níveis hídricos e os agentes biológicos pela análise dos dados de atividade correspondentes as atividades das enzimas do complexo antioxidativo,

Nas plantas hidratadas (100%) (Tabelas 37), o uso do ESA não alterou a atividade da enzima SOD tanto em plantas micorrizadas ou não, sendo que para estes tratamentos a enzima SOD apresentou baixa atividade. A partir da aplicação da lâmina de 75%, verificou-se aumento na atividade da SOD para plantas que não receberam suplementação com agentes biológicos. Na ausência da micorriza porém com aplicação de ESA, a atividade da SOD foi menor. Por outro lado, a presença de micorriza mas sem ESA, a atividade da enzima foi similar ao tratamento com a lâmina de 100%.

Para o nível severo de restrição hídrica (45%), a aplicação conjunta dos FMAs e ESA não favoreceu a atividade da enzima. A inoculação dos FMAs ou a suplementação do ESA induz ao aumento da atividade da SOD, porém, a ausência completa dos mesmos pode ser a combinação que mais ativa esta enzima. Em síntese, o uso de agentes biológicos parece ter efeito de mitigar o impacto do estresse, visto que estas enzimas antioxidativas só podem ser induzidas em situação ambiental adversa.

Tabela 37. Atividade da enzima superóxido dismutase (SOD) (UI $\mu\text{g prote\u00edna}^{-1}$) em folhas de amendoim cv. Runner 886 cultivados em associa\u00e7\u00e3o com FMAs e suplementado com ESA no terceiro per\u00edodo de avalia\u00e7\u00e3o.

L\u00e2minas	ESA	FMAs	
		Presen\u00e7a	Aus\u00eancia
100%	+	7,26Aa	8,06Aa
100%	-	7,43Aa	8,63Aa
75%	+	10,62Ab	15,02Ba
75%	-	7,96Bb	18,32Aa
45%	+	8,04Ab	15,96Ba
45%	-	15,78Bb	21,32Aa

M\u00e9dias seguidas de letras diferentes, mai\u00fascula na coluna para cada lâmina e min\u00fascula na linha, diferem pelo teste Tukey ($p < 0,05$). FMAs- Fungos micorr\u00edzicos arbusculares e ESA- Extrato sol\u00favel de algas marinhas.

Zhang e Schmidt, (1999) ao submeterem a gram\u00ednea *Poa pratensis* a estresse h\u00eddrico e a aplica\u00e7\u00e3o de \u00e1cidos h\u00famicos, subst\u00e2ncias tamb\u00e9m presentes no ESA, observaram o aumento da atividade da SOD relacionado \u00e0s doses aplicadas de bioestimulantes. Todavia houve tamb\u00e9m a diminui\u00e7\u00e3o da atividade em rela\u00e7\u00e3o ao teor de \u00e1gua no solo, como observado tamb\u00e9m no presente estudo (Tabela 38).

Tabela 38. Atividade da enzima superóxido dismutase (SOD) (UI μg proteína⁻¹) em folhas de amendoim cv. Runner 886 cultivados sob diferentes níveis de água em associação com FMAs no terceiro período de avaliação.

Lâminas	ESA	FMAs	
		Presença	Ausência
100%	-	11,43C	8,63C
75%	-	7,96A	18,32B
45%	-	15,78B	21,32A
100%	+	7,26A	8,06A
75%	+	10,62A	15,02B
45%	+	8,04A	15,32C

Médias seguidas de letras diferentes na coluna diferem entre as lâminas pelo teste Tukey ($p < 0,05$). FMAs- Fungos micorrízicos arbusculares e ESA- Extrato solúvel de algas.

Uma possível justificativa pela diminuição da atividade da SOD, na presença do ESA, seria pelo acúmulo compostos não enzimáticos com ação antioxidante que ocasionaram decréscimos das EROs. Esse acúmulo é favorecido pelas substâncias como: ácidos graxos, polissacarídeos dentre outras que fazem parte da composição dos ácidos húmicos, posteriormente metabolizadas pela planta.

Folli (2012) também não identificou alterações na atividade da SOD pela inoculação de *G. clarus* em plantas de pinhão manso em plantas hidratadas e sob DH, porém pela aplicação exógena do aminoácido glicina (composto também presente no ESA) essa variação ocorreu.

Ruiz-lozano e Azcón (1995) encontraram um aumento da atividade da SOD em plantas de alface micorrizadas e Azcón et al. (2009) em plantas micorrizadas submetidas a estresse por metais pesados, ao contrário dos resultados encontrados por Ghorbanli et al. (2004) em plantas de soja inoculadas com *G. etunicatum* sob estresse osmótico.

Por causa da ligação das enzimas do complexo antioxidativo na preservação do organismo contra os danos provocados pela instabilidade das EROS durante o estresse, os FMAs podem beneficiar a capacidade da planta em resistir essas condições, apesar do papel dessas enzimas em plantas micorrizadas em ação conjunta a aplicação do ESA não estarem completamente elucidados.

Dessa forma, a atividade dessas enzimas confirma que o organismo vegetal ao sofrerem alterações a nível celular, estresse secundário, respondem diferentemente em decorrência desses fatores e espécies.

Perante condições de DH, as plantas tendem a preservar seu *status* hídrico concentrando osmólitos compatíveis como a prolina e glicina betaína (ZHANG et al., 2008), sendo um índice fisiológico sensível perante alguns agentes estressores.

Em todos os níveis hídricos, quando comparadas as plantas micorrizadas com as não micorrizadas, praticamente, o maior acúmulo de prolina esteve nas plantas sem a presença de micorriza (Tabela 39).

Nas plantas sob condições hidratadas em associação com os FMAs não foram identificadas diferenças pela suplementação com o ESA, ao contrário das plantas não inoculadas, onde a suplementação com o ESA promoveu maior acúmulo desse osmólito.

Tabela 39. Concentração de L-prolina ($\mu\text{mol g}^{-1}$ MF) em folhas de amendoim cv. Runner 886 cultivados em associação com FMAs e suplementado com ESA no terceiro período de avaliação.

Lâminas	ESA	FMAs	
		Presença	Ausência
100%	+	0.552Ab	1.370Aa
100%	-	0.470Ab	1.105Ba
75%	+	0.612Ab	1.553Aa
75%	-	0.659Ab	1.025Ba
45%	+	0.913Aa	0.844Ba
45%	-	0.808Ab	1.545Aa

Médias seguidas de letras diferentes, maiúscula na coluna para cada lâmina e minúscula na linha, diferem pelo teste Tukey ($p < 0,05$). FMAs- Fungos micorrízicos arbusculares e ESA- Extrato solúvel de algas marinhas.

Por fim, o maior acúmulo, considerando as três lâminas esteve na nas plantas submetidas a lâmina de 45% as quais não foram aplicados os agentes biológicos, seguido das plantas submetidas a mesma lâmina as quais os dois agentes estiveram presentes (tabela 40).

Tabela 40. Concentração de L-prolina ($\mu\text{mol g}^{-1}$ MF) em folhas de amendoim cv. Runner 886 cultivados sob diferentes níveis de água associado com FMAs no segundo período de avaliação.

Lâminas	ESA	FMAs	
		Presença	Ausência
100%	-	0.470 B	1.105 B
75%	-	0.659 A	1.025 B
45%	-	0.808 A	1.545 A
100%	+	0.552 B	1.370 A
75%	+	0.612 B	1.553 A
45%	+	0.913 A	0.840 B

Médias seguidas de letras diferentes na coluna diferem entre as lâminas pelo teste Tukey ($p < 0,05$). FMAs- Fungos micorrízicos arbusculares e ESA- Extrato solúvel de algas.

Ashoori et al. (2015), ao inocular plantas de manjerição sob estresse salino com dois isolados de FMAs, não identificaram acúmulo em função da inoculação de *G. intraradices* e *G. Mosea*. Contudo, a redução do conteúdo de prolina no presente estudo pode ser justificado devido ao consumo desse aminoácido pelos mecanismos de defesa frente ao nível severo de DH (ASHOORI et al., (2015).

O efeito variável na biossíntese desse osmólito em plantas micorrizadas sujeitas a seca constam na literatura (GARG; BAHER, 2013), entretanto não há muitas informações da influência da colonização nesse acúmulo (SANNAZZARO et al., 2007). Como os FMAs são sistemas biológico complexos compartimentalizados e influenciados pelo ambiente, cada componente edáfico pode ter ação direta ou indireta, fazendo com que essa interação seja constante e intensa na formação, funcionamento e ocorrência da simbiose (MARTINEZ; JOHNSON, 2010).

Para o terceiro período de amostragem notou-se, em função da diferenciação dos níveis hídricos, a redução no teor de açúcares totais (AST) nas plantas em associação com os FMAs e incremento nas plantas suplementadas com ESA (Tabelas 41 e 42).

Entretanto para os tratamentos sem a presença dos agentes biológicos a variação nos teores de AST foi maior sugerindo um efeito compensatório da própria planta frente a DH pela maior translocação dos AST. Agentes estressores exercem efeito sobre o metabolismo de carboidratos em consequência das transformações induzidas pela fotossíntese e na transformação dos açúcares e podem indicar uma ação osmoprotetora frente a condições adversas (CHEN et al., 2014). Os

mesmos autores identificaram maior conteúdo de açúcares em plantas de milho micorrizadas sob baixa temperatura.

Tabela 41. Teor de açúcares totais (AST) ($\text{mg.g}^{-1}\text{MS}$) em folhas de amendoim cv. Runner 886 cultivado em associação com FMAs e suplementado com ESA no terceiro período de avaliação.

Lâminas	ESA	FMAs	
		Presença	Ausência
100%	+	25,1179 Aa	21,9995 Ab
100%	-	17,6837 Ba	17,9279 Ba
75%	+	31,5167 Aa	17,0599 Ab
75%	-	15,1535 Ba	11,5261 Bb
45%	+	35,5806 Aa	13,3934 Bb
45%	-	22,9590 Ba	17,5567 Ab

Médias seguidas de letras diferentes, maiúscula na coluna para cada lâmina e minúscula na linha, diferem pelo teste Tukey ($p < 0,05$). FMAs- Fungos micorrízicos arbusculares e ESA- Extrato solúvel de algas marinhas.

Tabela 42. Teor de açúcares totais (AST) ($\text{mg.g}^{-1}\text{MS}$) em folhas de amendoim cv. Runner 886 cultivados sob diferentes níveis de água sob efeito da inoculação dos FMAs no terceiro período de avaliação.

Lâminas	ESA	FMAs	
		Presença	Ausência
100%	-	21,9995 A	17,9279 A
75%	-	17,0599 B	11,5261 B
45%	-	13,3934 C	17,5567 A
100%	+	25,1179 C	17,6837 B
75%	+	31,5167 B	15,1535 B
45%	+	35,5806 A	22,9590 A

Médias seguidas de letras diferentes na coluna diferem entre as lâminas pelo teste Tukey ($p < 0,05$). FMAs- Fungos micorrízicos arbusculares e ESA- Extrato solúvel de algas.

4.1.3.5 Atributos microbiológicos

A colonização micorrízica para os tratamentos submetidos a lâmina 100% foram maiores nas plantas inoculadas, mesmo em condição de solo não estéril, em torno de 60% sem o ESA e 50% com ESA. Essas porcentagens diferiram estatisticamente das plantas não inoculadas que tiveram valores em torno de 54% sem o

ESA e 44% com ESA. Como consequência, conforme apresentado pela tabela 38, a aplicação do ESA pode ter inibido o processo de colonização radicular pelos FMAs.

Contudo, quando as plantas foram submetidas a lâmina de 75% sem a presença dos FMAs houve redução na porcentagem de em contraste o com as plantas que foram inoculadas e suplementada com ESA. Essas tiveram porcentagem de colonização radicular semelhante a encontrada na lâmina 100%.

A redução na colonização radicular foi verificada também para as plantas submetidas a lâmina de 45%, contudo houve diferença quando as plantas foram inoculadas e não inoculadas. A suplementação do ESA também promoveu diferença, tanto nas plantas micorrizadas quanto nas não micorrizadas e favoreceu a colonização das plantas inoculadas.

Ao compararmos o fator lâmina (Tabelas 43 e 44), foi observado que independente da inoculação pelos fungos ou/ e aplicação do ESA houve redução da porcentagem de colonização causada pela imposição da DH tanto moderado quanto severo. Isso mostra que para a porcentagem de colonização nas plantas colonizadas pelos FMAs selecionados teve um comportamento semelhante as quais estavam presentes os fungos nativos.

Tabela 43. Colonização radicular (%) em plantas de amendoim cv. Runner 886 cultivados em associação com FMAs e suplementados com ESA no terceiro período de avaliação.

Lâminas	ESA	FMAs	
		Presença	Ausência
100%	+	51,0 Ba	44,5 Bb
100%	-	59,9 Aa	54,3 Ab
75%	+	29,5 Aa	33,6 Ba
75%	-	23,8 Ab	51,0 Aa
45%	+	33,9 Aa	30,1 Aa
45%	-	26,7 Ba	25,0 Aa

Médias seguidas de letras diferentes, maiúscula na coluna para cada lâmina e minúscula na linha, diferem pelo teste Tukey ($p < 0,05$).
FMAs- Fungos micorrízicos arbusculares e ESA- Extrato solúvel de algas marinhas.

Tabela 44. Colonização radicular (%) em plantas amendoim cv. Runner 886 cultivados sob diferentes níveis de água em associação com FMAs no terceiro período de avaliação.

Lâminas	ESA	FMAs	
		Presença	Ausência
100%	-	59,9 A	54,3 A
75%	-	23,8 B	51,0 A
45%	-	26,7 B	25,0 B
100%	+	51,0 A	44,5 A
75%	+	29,5 B	33,6 B
45%	+	33,9 B	30,1 B

Médias seguidas de letras diferentes na coluna diferem entre as lâminas pelo teste Tukey ($p < 0,05$). FMAs- Fungos micorrízicos arbusculares.

Segundo He et al. (2007), existem evidências que as plantas submetidas a condição de estresse alteram a formação e estabelecimento da simbiose evidenciado pela redução da colonização das raízes por alguns FMAs. Resultados similares ao presente trabalho foram demonstrados por Quilambo et al. (2005a) que observaram a sensibilidade a DH por alguns isolados de FMAs, selecionados e os nativos presentes em solo não estéril, em dois cultivares de amendoim. Segundo, Bonfim et al. (2010), a colaboração dos FMAs é potencializada em condições de restrição hídrica devido a contribuição da simbiose na manutenção do crescimento vegetal.

Com referência ao número de esporos, se observou valores superiores nas plantas inoculadas - ESA seguido das plantas inoculadas + ESA (Tabela 40). Os tratamentos sem inoculação, apenas na presença dos FMAs nativos, independente do uso do ESA, não apresentaram diferença para a lâmina de 100%.

A medida em que se intensificou os níveis de DH, os tratamentos inoculados com FMAs selecionados na ausência do ESA tiveram aumentados o número de esporos, assim como o tratamento não inoculado - ESA (Tabelas 45 e 46).

Esse atributo, para essa condição experimental, demonstrou que a DH acarretou na esporulação dos fungos e a utilização do ESA dificultou esse mecanismo de possível sobrevivência do fungo frente a um ambiente adverso.

Amorim et al, (2004) observaram, assim como no presente trabalho, aumento do número de esporos quando as plantas de aroeira do sertão e umbu foram submetidas a DH.

Tabela 45. Número de esporos em solo cultivado com amendoim cv. Runner 886 em associação com FMAs e suplementado com ESA no terceiro período de avaliação.

Lâminas	ESA	FMAs	
		Presença	Ausência
100%	+	63,6 Ba	36,0 Ab
100%	-	85,3 Aa	33,0 Ab
75%	+	84,0 Ba	15,3 Ab
75%	-	105,0Aa	10,6 Ab
45%	+	120,6 Ba	80,3 Ab
45%	-	195,0 Aa	35,0 Bb

Médias seguidas de letras diferentes, maiúscula na coluna para cada lâmina e minúscula na linha, diferem pelo teste Tukey ($p < 0,05$). FMAs- Fungos micorrízicos arbusculares e ESA- Extrato solúvel de algas marinhas.

Tabela 46. Número de esporos em solo cultivado com amendoim cv. Runner 886 submetidos a diferentes níveis de água em associação com FMAs no terceiro período de avaliação.

Lâminas	ESA	FMAs	
		Presença	Ausência
100%	-	85,3 C	33,0 A
75%	-	105,0 B	10,6 B
45%	-	195,0 A	35,0 A
100%	+	63,6 C	36,0 B
75%	+	84,0 B	15,3 C
45%	+	120,6 A	80,3 A

Médias seguidas de letras diferentes na coluna diferem entre as lâminas pelo teste Tukey ($p < 0,05$). FMAs- Fungos micorrízicos arbusculares e ESA- Extrato solúvel de algas.

Em concordância com o presente trabalho com o amendoim cv Runner, o maior número de esporos também foi encontrado após a fase de florescimento em plantas de café por Bonfim et al, (2010). Ainda segundo os autores, a colonização radicular pode sofrer alterações, todavia o potencial de resposta parece ser uma característica genética relacionado aos atributos morfofisiológicos do hospedeiro e o grau de dependência a esse mecanismo simbiótico pela planta.

Como descrito anteriormente, ainda permanecem algumas dificuldades para se realizar correlações entre os fatores edáficos e os atributos microbiológicos devido as complexas interações envolvidas nessa simbiose envolvendo os presentes agentes biológicos.

Para o número de nódulos, a partir dos resultados descritos pela tabela 44, a imposição da DH afetou negativamente a nodulação, assim como observado por Allen e Boosalis, (1983) para a cultura do trigo, por Calvache e Reichardt, (1996) e Almeida et al., (2014) para a cultura do feijão e Quilambo et al., (2005a) para a cultura do amendoim, na presença de FMAs selecionados e nativos.

Contudo, observou-se na presença do ESA, para plantas o favorecimento da nodulação nas plantas hidratadas (Tabelas 47 e 48).

Tabela 47. Número de nódulos presentes nas raízes das plantas de amendoim cv. Runner 886 cultivadas em associação com FMAs.

Lâminas	ESA	FMAs	
		Presença	Ausência
100%	+	26,3 Aa	11,0 Ab
100%	-	7,0 Bb	14,6 Aa
75%	+	6,6 Aa	4,6 Aa
75%	-	8,6 Aa	5,3 Ab
45%	+	5,3 Aa	3,0 Aa
45%	-	2,6 Ba	1,6 Aa

Médias seguidas de letras diferentes, maiúscula na coluna para cada lâmina e minúscula na linha, diferem pelo teste Tukey ($p < 0,05$). FMAs- Fungos micorrízicos arbusculares e ESA- Extrato solúvel de algas marinhas.

Tabela 48. Número de nódulos presentes nas raízes das plantas de amendoim cv. Runner 886 submetidos a diferentes níveis de água em associação com FMAs.

Lâminas	ESA	FMAs	
		Presença	Ausência
100%	-	7,0A	26,3 A
75%	-	8,6 A	6,6 B
45%	-	2,6 B	5,3 B
100%	+	14,6 A	11,0 A
75%	+	5,3 B	4,6 B
45%	+	1,6 C	3,0 B

Médias seguidas de letras diferentes na coluna diferem entre as lâminas pelo teste Tukey ($p < 0,05$). FMAs- Fungos micorrízicos arbusculares e ESA- Extrato solúvel de algas.

As consequências sobre o crescimento e a nodulação de espécies leguminosas segundo Jesus et al. (2005) são o fornecimento de P pelo fungo para o

hospedeiro e suplementando assim a demanda de nutrientes para os nódulos. Assim, o efeito benéfico seria promover a nodulação.

Em concordância ao trabalho de Bertoldo et al. (2015) o uso de extrato de algas associado a inoculantes convencionais em dois cultivares de feijão ocasionou maior eficiência na nodulação em condições favoráveis de cultivo.

4.1.3.6 Indicadores de produção

O complexo sistema biológico formado por esses agentes, em vista das condições experimentais e suas naturais limitações, demonstrou para o número de vagens por planta um incremento com a utilização dos FMAs e ESA, com destaque para a lâmina 100%. Nesta lâmina, o maior número de vagens por planta (Tabela 49) esteve nas plantas micorrizadas suplementadas com o ESA.

Em detrimento a DH, o efeito positivo da suplementação com ESA, só foi observado quando associado ao FMAs. Contudo, quando comparada a ação dos agentes biológicos em função das lâminas, a DH reduziu consideravelmente o número vagens por planta, sendo o efeito prejudicial para esse atributo suavizado apenas nos tratamentos onde estavam presentes os FMAs em associação com o ESA (Tabela 50).

Tabela 49. Número de vagens por planta de amendoim cv. Runner 886 cultivados em associação com FMAs e suplementado com ESA.

Lâminas	ESA	FMAs	
		Presença	Ausência
100%	+	13Aa	4 Ab
100%	-	9 Ba	5Ab
75%	+	6 Aa	2 Ab
75%	-	4 Aa	3 Aa
45%	+	4 Aa	2 Ab
45%	-	2 Ba	2 Aa

Médias seguidas de letras diferentes, maiúscula na coluna para cada lâmina e minúscula na linha, diferem pelo teste Tukey ($p < 0,05$). FMAs- Fungos micorrízicos arbusculares e ESA- Extrato solúvel de algas marinhas.

Tabela 50. Número de vagens por planta de amendoim cv. Runner 886 submetidos a diferentes níveis de água associado com FMAs.

Lâminas	ESA	FMAs	
		Presença	Ausência
100%	-	9,0 A	5 A
75%	-	4,0 B	3B
45%	-	2,0 C	2B
100%	+	13,0 A	4,0A
75%	+	6,0 B	2,0B
45%	+	4,0 C	2,0B

Médias seguidas de letras diferentes na coluna diferem entre as lâminas pelo teste Tukey ($p < 0,05$). FMAs- Fungos micorrízicos arbusculares e ESA- Extrato solúvel de algas.

Para o número de grãos por vagem houve interação significativa apenas entre o fator lâmina e FMAs, conforme a Tabela 51, indicando que a imposição de um estresse abiótico reduziu o número de grãos por vagem, com isso a associação micorrízica influenciou esse atributo apenas na condição de 75%.

Tabela 51. Número de grãos por vagem de amendoim cv. Runner 886 cultivado sob diferentes níveis de água associado a FMAs.

Lâmina	FMAs	
	Com	Sem
100%	2,5 Aa	2,2Aa
75%	2,5 Aa	1,5Bb
45%	1,6 Ba	1,6Ba

Médias seguidas de letras diferentes maiúsculas na coluna e minúsculas na linha diferem entre as lâminas pelo teste Tukey ($p < 0,05$). ESA- Extrato solúvel de algas.

Alguns indicadores de produção podem ser levados ao incremento ou a redução dependendo da cultura em resposta a interação entre a variedade de hospedeiros e espécies de fungos, segundo Allen e Boosalis (1983).

Contudo em relação ao ESA, em condições propícias de cultivo, autores como Galindo et al. (2015), Matos et al. (2015) e Santos et al. (2013) não identificaram a influência na produtividade de grãos na cultura do milho, trigo e arroz respectivamente em função da aplicação dos bioestimulantes a base de alga marinhas da espécie *A. nodosun*. Contrapondo os trabalhos de Mógor et al. (2008) que observou tanto

maior crescimento quanto produtividade na cultura do feijão através da aplicação foliar do extrato de alga.

Em plantas cultivadas muitas vezes não há necessidade, em ambientes favoráveis, da aplicação dos bioestimulantes devido aos efeitos não serem tão pronunciados. Dessa maneira, a aplicação do ESA deve considerar os aspectos produtivos sob condições de estresses abióticos e sua combinação com FMAs.

4.2 Experimento II- IAC cv. Tatu ST

4.2.1 Tensões e lâminas aplicadas

A partir da imposição da diferenciação dos níveis hídricos, para o segundo e terceiro períodos (Figura 20), a lâmina 75% exibiu maiores oscilações entre o limite inferior e superior do teor de água do solo atribuído para a cultura.

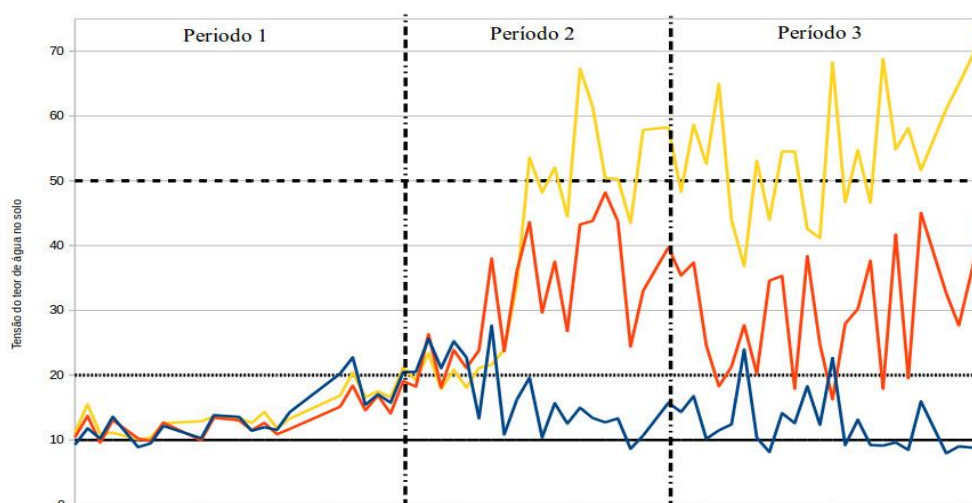


Figura 20 Valores de tensão de água (kPa) no solo para os períodos 1 2 e 3, no período de 27 de outubro de 2015 a 20 de janeiro de 2016.

Neste ensaio, as condições de temperatura mais altas e umidade mais baixas encontradas nos meses de dezembro de 2015 e janeiro de 2016, provocaram rápida drenagem e secamento do solo, o que exigiu maior frequência de irrigação, influenciando na manutenção do teor da água para esta lâmina.

Assim como observado no experimento I, foram fornecidas as lâminas de acordo com as tensões correspondentes aos níveis de água propostos baseados na necessidade hídrica da cultura (lâmina de 100% com tensão em torno de 10 kPa, seguidos da lâmina 75% com 20 kPa e da lâmina de 45% com 50 kPa).

Aplicaram-se as seguintes lâminas, respectivamente: 100% 390,5 mm, lâmina de 75% 281,7 mm e lâmina de 45%. 159,3 mm, ao final do experimento II.

4.2.2 Primeiro período de avaliação (P1)

Para o cv Tatu, a matéria seca de folhas no amendoineiro (Tabela 52), sugere que a inoculação dos fungos, neste primeiro período de amostragem, aumentou a biomassa foliar, o índice Spad, assim como também o teor de prolina e atividade da enzima nitrato redutase.

Tabela 52. Valores de MFF, RPF, índice Spad, teor de prolina e atividade da nitrato redutase em plantas de amendoim cv. IAC Tatu ST em associação com FMAs.

Avaliações	FMAs	
	Presença	Ausência
MFF (g)	4,3553A	3,5268B
RPF (g MS de folhas g ⁻¹ MS total)	183,4 B	288,36A
Spad (IRC)	19,8 A	15,89 B
Prolina (μmol g ⁻¹ MF)	0,4267A	0,3008B
Nitrato Redutase (nMNO ₂ h ⁻¹ g ⁻¹ MF)	1001,5 A	380 B

Médias seguidas de letras diferentes na coluna diferem entre as lâminas pelo teste Tukey (p<0,05). FMAs- Fungos micorrízicos arbusculares.

Estas primeiras informações, já colaboram com a premissa que o cultivar IAC Tatu, começou a responder de forma positiva a inoculação com os FMAs selecionados, no que diz respeito ao aprimoramento de alguns indicadores biométricos.

O índice relativo de clorofila, evidencia um provável efeito cumulativo que beneficiará o mecanismo de fotossíntese, provavelmente pelo maior teor de moléculas de clorofila.

Com relação ao primeiro período de avaliação, obteve-se maior valor de atividade da enzima nitrato redutase nas plantas micorrizadas, contribuindo para o desenvolvimento do amendoineiro, pois durante a fase mais jovem os órgãos de crescimento requerem maior quantidade de NO₃⁻

Entretanto, a redução da biomassa alocada para as folhas pode estar justamente relacionada ao direcionamento desses fotoassimilados tanto para a raiz quanto para os fungos na manutenção da relação simbiótica mutualística.

4.2.3 Segundo e terceiro período de avaliação (P2 e P3)

4.2.3.1 Relações hídricas

Os maiores valores da análise do CRA, ao final do terceiro período de avaliação, para todas as lâminas (Tabela 53) foram obtidos para os tratamentos os quais os dois agentes biológicos estiveram presentes.

Para a lâmina de 100%, a aplicação individual dos agentes biológicos não promoveu efeito considerável, pois os valores estiveram muito próximos ao tratamento o qual não havia presença dos fungos nem do ESA.

A medida em que se aumentou o grau de DH, houve semelhança na ação individual dos agentes biológicos, pois tanto na lâmina de 75% quanto na de 45% os tratamentos +FMA-ESA e -FMA+ESA tiveram valores muito próximos.

A comparação entre os níveis hídricos (Tabela 54), novamente apontou a interferência da DH sobre o status hídrico da planta. Observou-se que o tratamento sem a aplicação dos agentes biológicos apresentou maior redução do nível de hidratação quando submetido a restrição hídrica.

Tabela 53. CRA (%) em amendoim cv. Tatu ST cultivados em associação com FMAs e suplementado com ESA no terceiro período de avaliação.

Lâminas	ESA	FMAs	
		Presença	Ausência
100%	+	75,7 Aa	68,6 Ab
100%	-	67,6 Ba	66,0 Aa
75%	+	56,1 Aa	47,9 Ab
75%	-	47,5 Ba	40,1 Bb
45%	+	51,9 Aa	38,9 Ab
45%	-	40,8 Ba	33,3 Bb

Médias seguidas de letras diferentes, maiúscula na coluna para cada lâmina e minúscula na linha, diferem pelo teste Tukey ($p < 0,05$). FMAs- Fungos micorrízicos arbusculares e ESA- Extrato solúvel de algas marinhas.

Tabela 54. CRA (%) em amendoim cv. Tatu ST em amendoim cv. Tatu ST cultivados sob diferentes níveis de água em associação com FMAs no terceiro período de avaliação.

Lâminas	ESA	FMAs	
		Presença	Ausência
100%	-	67,6A	66,0A
75%	-	47,5B	40,1B
45%	-	40,8C	33,3C
100%	+	75,7A	68,6A
75%	+	56,0B	47,9B
45%	+	51,9C	38,9C

Médias seguidas de letra maiúscula na coluna diferem entre as lâminas pelo teste Tukey ($p < 0,05$). FMAs- Fungos micorrízicos arbusculares e ESA- Extrato solúvel de algas marinhas .

4.2.3.2 Biometria

Para a matéria seca de folha, observou-se que em condições adequadas de hidratação (100%) os efeitos mais expressivos são pela aplicação o ESA nas plantas inoculadas com os FMAs. Contudo, para a lâmina 75% não houve diferença significativa pela utilização do ESA nas plantas micorrizadas, todavia a aplicação do ESA proveu um incremento nas plantas inoculadas quando comparadas às plantas não inoculadas (Tabela 55).

A combinação ESA+FMAs apresentou superioridade para o valor de MSF no maior nível de DH, assim como o bioestimulante também promoveu efeito tanto nas plantas inoculadas ou não. A influência das micorrizas também é verificada quando comparados os tratamentos +FMAs / -ESA e - FMAs /- ESA. Dessa forma, tanto a associação dos agentes biológicos quanto a ação individual dos mesmos foram significativos para a MSF.

Já para MSC, a ação positiva do ESA foi identificada em consórcio com a micorriza e quando aplicado individualmente nas plantas submetidas a lâmina de 100% e 75%. Entretanto, para a lâmina de 45% MSC foi superior quando o ESA foi aplicado isoladamente. Embora não se tenha encontrado alterações significativas entre os tratamentos +FMAs+ESA e -FMAs+ESA, sem a aplicação do ESA, as plantas micorrizadas diferem significativamente das plantas não micorrizadas, sugerindo incremento da MSC pela ação dos fungos.

Por fim, a Tabela 56 ratifica que, em função dos níveis hídricos há redução dos atributos biométricos pela intensificação do estresse devido a deficiência hídrica.

Tabela 55. MSF e MFC (g) de amendoim cv. Tatu ST cultivados em associação com FMAs e suplementado com ESA no segundo período de avaliação.

Lâminas	ESA	MSF FMAs		MFC FMAs	
		Presença	Ausência	Presença	Ausência
100%	+	3,9866 Aa	2,4276 Ab	15,0375 Aa	11,5025 Ab
	-	2,1513 Bb	2,5648 Aa	8,2112 Ba	7,0408 Ba
75%	+	1,3769 Aa	1,3747 Aa	10,4433 Aa	8,3325 Ab
	-	1,2329 Aa	0,6476 Bb	4,3625 Ba	4,7731 Ba
45%	+	1,2440 Aa	0,8031 Ab	5,5125 Ab	7,1800 Aa
	-	0,7648 Ba	0,4944 Bb	4,1432 Aa	2,9707 Ba

Médias seguidas de letras diferentes, maiúscula na coluna para cada lâmina e minúscula na linha, diferem pelo teste Tukey ($p < 0,05$). MSF- matéria fresca de folha, MFC- matéria seca de caule FMAs- Fungos micorrízicos arbusculares e ESA- Extrato solúvel de algas marinhas.

Tabela 56. MSF e MFC (g) de amendoim cv. Tatu ST cultivados sob diferentes níveis de água em associação com FMAs no segundo período de avaliação.

Lâminas	ESA	MSF FMAs		MFC FMAs	
		Presença	Ausência	Presença	Ausência
100%	-	2,1513 A	2,5648 A	8,2112 A	7,0408 A
75%	-	1,2329 B	0,6476 B	4,3625 B	4,7731 B
45%	-	0,7648 C	0,4944 B	4,1432 B	2,9707 C
100%	+	3,5866 A	2,4276 A	15,0375 A	11,5025 A
75%	+	1,3769 B	1,3747 B	10,4433 B	8,3325 B
45%	+	1,2440 B	0,8031 C	5,5125 C	7,1800 B

Médias seguidas de letra maiúscula na coluna diferem entre as lâminas pelo teste Tukey ($p < 0,05$). MSF- matéria fresca de folha, MFC- matéria seca de caule, FMAs- Fungos micorrízicos arbusculares e ESA- Extrato solúvel de algas marinhas.

Períodos de estiagem superiores a 35 dias segundo Arruda et al. (2015) e Correia; Nogueira (2004), são suficientes para comprometer o crescimento da cultura do amendoimzeiro, entretanto as respostas pela associação com fungos micorrízicos podem ocorrer em circunstâncias de alta e baixo teor de água no solo (BOROWICZ, 2010). Da mesma maneira, Konrad et al., (2014), mostrou em seu trabalho que a inoculação de *G. magarrita* e *G. etunicatum* promoveram o crescimento do cafeeiro, os quais em simbiose também apresentaram maior tolerância a acidez do solo.

A ação dos biofertilizantes sobre as variáveis biométricas na cultura do amendoim preconizam a relevância de se utilizar algum tipo de condicionante

orgânico para evitar os impactos negativos decorrentes dos agentes estressores (SOUSA et al., 2014).

Liu et al., (2015), ao estudar o impacto dos fungos micorrízicos sobre as relações hídricas, parâmetros fotossintéticos e crescimento em *populus* sp após 90 DAP, ao final do período de deficiência hídrica de sete dias, mediu crescimento significativo para MSF, MSC e MSR em plantas micorrizadas.

Contudo, em algumas situações pode não existir a relação entre a porcentagem de colonização em função da biomassa, pois cultivares com as menores porcentagens de colonização podem apresentar os maiores valores de biomassa seca e fresca (BOROWICZ, 2010).

Dentro da análise de crescimento das plantas, índices como a razão de área foliar (RAF), que representa a área útil para o crescimento e fotossíntese do vegetal, refletem a partição de carboidratos assimilados nas planta (Tabelas 57 e 58).

Tabela 57. Razão de Área Foliar (RAF) (m² folhas g⁻¹ MS planta) em plantas de amendoim cv. Tatu ST sob efeito da aplicação do ESA e inoculação dos FMAs no segundo período de avaliação

Lâminas	ESA	FMAs	
		Presença	Ausência
100%	+	0,3742 Bb	0,7301 Aa
100%	-	0,8088 Aa	0,6163 Aa
75%	+	0,5903 Ba	0,7029 Ba
75%	-	1,0404 Aa	0,9493 Aa
45%	+	0,6580 Bb	2,1565 Aa
45%	-	0,8871 Ab	1,2461 Ba

Médias seguidas de letras diferentes, maiúscula na coluna para cada lâmina e minúscula na linha, diferem pelo teste Tukey (p<0,05).
FMAs- Fungos micorrízicos arbusculares e ESA- Extrato solúvel de algas marinhas.

Tabela 58. Razão de Área Foliar (RAF) (m^2 folhas g^{-1} MS planta) plantas de amendoim cv. Tatu ST cultivados sob diferentes níveis de água em associação com FMAs no segundo período de avaliação

Lâminas	ESA	FMAs	
		Presença	Ausência
100%	-	0,8088 A	0,6163 AB
75%	-	1,0404 A	0,9493 AB
45%	-	0,8871 A	1,2461 B
100%	+	0,3742 B	0,7301 A
75%	+	0,5903 C	0,7029 BC
45%	+	0,6580 C	2,1565 A

Médias seguidas de letra maiúscula na coluna diferem entre as lâminas pelo teste Tukey ($p < 0,05$). FMAs- Fungos micorrízicos arbusculares e ESA- Extrato solúvel de algas marinhas

Esse índice possui duas componentes, a área foliar específica (AFE) e a razão de massa foliar (RPF), os quais também foram influenciados significativamente quando introduzidos os agentes biológicos e os diferentes níveis hídricos na cultivar Tatu.

A Tabela 59 indicou a interação na AFE apenas entre os agentes biológicos e apresentou os maiores valores pela associação micorrizica e aplicação do ESA seguido da aplicação individual do extrato.

Tabela 59 Área foliar específica - AFE (cm^2 folhas g^{-1} MS^{folha}) de plantas de amendoim cv. Tatu ST em associação com FMAs e suplementado com ESA no segundo período de avaliação.

FMAs	ESA	
	Com	Sem
Presença	0,7344 Aa	0,5499 Ab
Ausência	0,3169 Bb	0,4086 Ba

Médias seguidas de letras diferentes maiúscula na coluna e minúsculas na linha diferem pelo teste Tukey ($p < 0,05$)., FMAs- Fungos micorrízicos arbusculares e ESA- Extrato solúvel de algas marinhas.

A outra componente, a razão de massa foliar (RPF), demonstrou que pela interação dos três fatores as plantas hidratadas na ausência dos dois agentes biológicos apresentou o maior valor de RPF, enquanto na combinação entre os agentes

biológicos ou na presença individual de cada um deles, os valores são similares e menor que o tratamento –FMAs – ESA.

Para lâmina de 75%, a associação do FMAs suplementado ao ESA, a aplicação individual do extrato e a ausência de ambos não demonstraram diferenças para essa lâmina e valores muito próximos, destacando a diferença apenas entre os tratamentos +FMAs – ESA e +FMAs+ESA.

Contudo, a DH reduziu a RPF (Tabelas 60 e 61) em função da variação da relação fonte dreno que pode ser provocada pela idade da planta e no caso do presente estudo, pela introdução de agentes biológicos.

Tabela 60. Razão de massa foliar (RPF) (g MS de folhas g⁻¹ MS total) em plantas de amendoim cv. Tatu ST cultivados em associação com FMAs e suplementado com ESA no segundo período de avaliação

Lâminas	ESA	FMAs	
		Presença	Ausência
100%	+	0,5173 Aa	0,4466 Ba
100%	-	0,5942 Ab	0,9807 Aa
75%	+	0,2182 Ba	0,2742 Aa
75%	-	0,3601 Aa	0,2416 Ab
45%	+	0,1810 Aa	0,1502 Aa
45%	-	0,2152 Aa	0,2076 Aa

Médias seguidas de letras diferentes, maiúscula na coluna para cada lâmina e minúscula na linha, diferem pelo teste Tukey (p<0,05). FMAs- Fungos micorrízicos arbusculares e ESA- Extrato solúvel de algas marinhas.

Tabela 61. Razão de massa foliar (RPF) (g MS de folhas g⁻¹ MS total) plantas de amendoim cv. Tatu ST cultivados sob diferentes níveis de água em associação com FMAs no segundo período de avaliação

Lâminas	ESA	FMAs	
		Presença	Ausência
100%	-	0,5942 A	0,9807 A
75%	-	0,3601 B	0,2416 B
45%	-	0,2152 C	0,2076 B
100%	+	0,5173 A	0,4466 A
75%	+	0,2182 B	0,2742 B
45%	+	0,1810 B	0,1502 C

Médias seguidas de letra maiúscula na coluna diferem entre as lâminas pelo teste Tukey (p<0,05). FMAs- Fungos micorrízicos arbusculares e ESA- Extrato solúvel de algas marinhas.

A deficiência hídrica, aplicação foliar do ESA e inoculação com os isolados selecionados afetaram o acúmulo de biomassa fresca (MFF e MFC e MFR), sendo que apenas para MFC e MFR houve interação significativa entre os três fatores no terceiro período de amostragem.

As micorrizas mais o ESA contribuíram para um acúmulo de MSC, em cada um dos níveis hídricos, embora esse acúmulo de biomassa do caule tenha sido reduzido com a imposição da DH (Tabelas 62 e 63).

Tabela 62. MFC (g) em amendoim cv. Tatu ST cultivado em associação com FMAs e suplementado com ESA no terceiro período de avaliação.

Lâminas	ESA	FMAs	
		Presença	Ausência
100%	+	22,2630 Aa	18,5867 Ab
100%	-	15,1117 Ba	13,2625 Bb
75%	+	14,4247 Aa	12,0597 Ab
75%	-	8,2672 Ba	5,5348 Bb
45%	+	9,7308 Aa	10,3600 Aa
45%	-	6,7797 Ba	4,8052 Bb

Médias seguidas de letras diferentes, maiúscula na coluna para cada lâmina e minúscula na linha, diferem pelo teste Tukey ($p < 0,05$).
FMAs- Fungos micorrízicos arbusculares e ESA- Extrato solúvel de algas marinhas.

Tabela 63. MFC (g) em amendoim cv. Tatu ST cultivados sob diferentes níveis de água em associação com FMAs no terceiro período de avaliação.

Lâminas	ESA	FMAs	
		Presença	Ausência
100%	-	15,1117 A	13,2625 A
75%	-	8,2672 B	5,5348 B
45%	-	6,7797 C	4,8052 B
100%	+	22,2630 A	18,5867 A
75%	+	14,4247 B	12,0597 B
45%	+	9,7308 C	10,3600 C

Médias seguidas de letra maiúscula na coluna diferem entre as lâminas pelo teste Tukey ($p < 0,05$). MFC-matéria fresca de caule, FMAs- Fungos micorrízicos arbusculares e ESA- Extrato solúvel de algas marinhas.

O efeito individual do fungo e o ESA nas plantas em 100% e em 75% são verificados quando comparados com as plantas na ausência dos agentes biológicos.

Entretanto na 45%, através dessa interação dos fungos com o bioestimulante não se verificou efeito da inoculação dos fungos nas plantas em que o ESA foi aplicado.

Maior biomassa fresca da raiz (Tabelas 64 e 65) também foi medida em plantas micorrizadas em consórcio com ESA, assim como o efeito individual dos agentes também foi observado na raiz do amendoineiro. A DH limitou também a produção de biomassa na raiz, principalmente na lâmina de 45%.

Para este cultivar de amendoim, a simbiose entre as plantas e os fungos e/ ou extratos de algas resultou, no geral, a amenização das perdas por fatores de estresse e conseqüentemente maior crescimento das plantas, com maior economia de insumos e redução na contaminação ambiental.

Novamente, a resposta desse cultivar a colonização por esses isolados de FMAs selecionados e aplicação do bioestimulante para o crescimento, semelhante ao trabalho de Almeida et al., (2014b) manteve uma proporcionalidade em função da intensidade e periodicidade da DH além de outras condições edáficas.

Tabela 64. MFR (g) em amendoim cv. Tatu ST cultivado em associação com FMAs e suplementado com ESA no terceiro período de avaliação.

Lâminas	ESA	FMAs	
		Presença	Ausência
100%	+	9,7130 Aa	4,6358 Ab
100%	-	3,4004 Ba	2,2370 Bb
75%	+	4,3172 Aa	3,4070 Ab
75%	-	1,6119 Ba	1,2031 Ba
45%	+	1,9126 Aa	0,9866 Aa
45%	-	1,0566 Aa	0,5913 Aa

Médias seguidas de letras diferentes, maiúscula na coluna para cada lâmina e minúscula na linha, diferem pelo teste Tukey ($p < 0,05$). MFR-matéria fresca de raiz FMAs- Fungos micorrízicos arbusculares e ESA- Extrato solúvel de algas marinhas

Tabela 65. MFR (g) em amendoim cv. Tatu ST cultivados sob diferentes níveis de água em associação com ESA no terceiro período de avaliação.

Lâminas	ESA	FMAs	
		Presença	Ausência
100%	-	3,4004 A	2,2370 A
75%	-	1,6119 B	1,2031 B
45%	-	1,0566 B	0,5913 B
100%	+	9,7130 A	4,6358 A
75%	+	4,3172 B	3,4070 B
45%	+	1,9126 C	0,9066 C

Médias seguidas de letra maiúscula na coluna diferem entre as lâminas pelo teste Tukey ($p < 0,05$). MFR-matéria fresca de raiz, FMAs- Fungos micorrízicos arbusculares e ESA- Extrato solúvel de algas marinhas.

Já para biomassa fresca de folha (Tabelas 66 e 67), considerando-se os níveis hídricos e a micorrização, percebeu-se que as plantas inoculadas, nas lâminas de 100% e 75%, tiveram valores superiores as não micorrizadas. Da mesma forma, o aproveitamento referente ao incremento da biomassa das folhas, em função dos níveis hídricos, deu-se nas plantas as quais foram aplicados o ESA.

Tabela 66. MFF (g) em amendoim cv. Tatu ST cultivado em diferentes níveis de água em associação com FMAs no terceiro período de avaliação.

Lâmina	FMAs	
	Presença	Ausência
100%	18,6114 Aa	14,1428 Ab
75%	13,3552 Ba	10,9278 Bb
45%	9,0071 Ca	8,9006 Ca

Médias seguidas de letras diferentes maiúscula na coluna e minúsculas na linha diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$). MFF-matéria fresca de folha FMAs- Fungos micorrízicos arbusculares.

Tabela 67. MFF (g) em amendoim cv. Tatu ST cultivado em diferentes níveis de água suplementado com ESA no terceiro período de avaliação.

Lâmina	ESA	
	Com	Sem
100%	20,2119 Aa	12,5423 Ab
75%	16,9608 Ba	7,3222 Bb
45%	11,4693 Ca	6,4384 Bb

Médias seguidas de letra maiúscula na coluna e minúsculas na linha diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$). MFF-matéria fresca de folha, ESA- Extrato solúvel de algas marinhas.

He et al. (2007) discutem que os fungos micorrízicos atenuaram os danos causados nos atributos de crescimento de acordo com o mesmo sendo a produção de biomassa reduzida proporcionalmente ao nível de salinidade.

4.2.3.3 Teores de nutrientes na planta

Pela a análise de PCA, o nutriente que mais foi representativo pela influência entre os níveis hídricos, a ação do bioestimulante e as micorrizas na planta foi o fósforo.

A inoculação das plantas de amendoim incrementou o teor de fósforo, especialmente quando as plantas estavam submetidas a lâmina de 45%. Nesta situação, verificou-se diferenciação entre as plantas inoculadas e não inoculadas, aplicando ESA ou não.

Constatou-se que houve redução no teor de P (Tabelas 68 e 69) em plantas não micorrizadas e que a combinação dos isolados de FMAs e a aplicação foliar com ESA não influenciou o teor desse nutriente nas plantas com DH bem como em plantas hidratadas.

Tabela 68. Teor de P (g kg^{-1}) em folhas de amendoim cv. Tatu ST cultivado em associação com FMAs e suplementado com ESA no terceiro período de avaliação.

Lâminas	ESA	FMAs	
		Presença	Ausência
100%	+	2,3 Aa	2,2 Aa
100%	-	2,2 Aa	1,7Aa
75%	+	2,7Aa	1,6 Aa
75%	-	2,5 Aa	1,5 Aa
45%	+	3,4 Aa	1,5 Ab
45%	-	3,6 Aa	1,4 Ab

Médias seguidas de letras diferentes, maiúscula na coluna para cada lâmina e minúscula na linha, diferem pelo teste Tukey ($p < 0,05$). FMAs- Fungos micorrízicos arbusculares e ESA- Extrato solúvel de algas marinhas.

Tabela 69. Teor de P (g kg^{-1}) em folhas de amendoim cv. Tatu ST cultivados sob diferentes níveis em associação com FMAs de água no terceiro período de avaliação

Lâminas	ESA	FMAs	
		Presença	Ausência
100%	-	2,2B	2,2A
75%	-	2,5B	1,6B
45%	-	3,6A	1,5B
100%	+	2,3B	1,7A
75%	+	2,7B	1,5A
45%	+	3,4A	1,4A

Médias seguidas de letra maiúscula na coluna diferem entre as lâminas pelo teste Tukey ($p < 0,05$). FMAs- Fungos micorrízicos arbusculares e ESA- Extrato solúvel de algas marinhas.

O amendoim responde eficientemente a adubação fosfatada mantendo sua exigência por esse elemento até o fim da maturação (NETO et al., 2012).

A capacidade de resposta a colonização micorrízica está diretamente relacionada às características morfológicas e fisiológicas do hospedeiro as quais controlam a demanda e suprimento de P, assim como o grau de dependência da planta em absorver esse elemento facilitado pela micorriza (PEREIRA et al., 1996).

4.2.3.4 Trocas gasosas

O cultivar de amendoim Tatu ST para as avaliações de trocas gasosas apresentou interação significativa apenas entre os níveis hídricos e a aplicação do ESA.

A Tabela 70 aponta dentre as plantas hidratadas um incremento da taxa de assimilação líquida (A) em função da utilização do ESA em plantas submetidas a lâmina de 100% e nas plantas mantidas sob DH. Este resultado sugere uma contribuição para manter essa taxa em níveis adequados não prejudicando assim o processo fotossintético. Embora, nas plantas submetidas a lâmina de 75% sem a suplementação com o ESA foram apresentadas A superior frente as plantas hidratadas, propondo uma característica a tolerância hídrica em níveis moderados por esse cultivar e/ou associação com fungos.

Tabela 70. Taxa de assimilação líquida de CO_2 (A) ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) em folhas de amendoim cv. Tatu ST cultivados sob diferentes níveis de água suplementando com do ESA.

Lâmina	ESA	
	Com	Sem
100%	11,1982 Aa	7,9572 Bb
75%	11,1153 Aa	10,4667Aa
45%	8,4779 Ba	4,3526 Cb

Médias seguidas de letras diferentes maiúscula na coluna e minúsculas na linha diferem entre as lâminas pelo teste Tukey ($p < 0,05$). FMAs- Fungos micorrízicos arbusculares e ESA- Extrato solúvel de algas marinhas.

4.2.3.5 Análises bioquímicas.

No segundo período de avaliação, a análise da atividade da enzima CAT nas plantas submetidas as lâminas de 100% e 75% responderam a interação entre os fungos e ESA (Tabela 71). Tanto as plantas inoculadas quanto as não inoculadas e na ausência do ESA, houve maior atividade da catalase.

Notou-se também diferença quando comparou-se as plantas inoculadas e não inoculadas, sendo dentre estes o maior valor encontrado na ausência dos fungos em relação a aplicação do ESA.

Por fim, a menor atividade da CAT na lâmina de 45% foi verificada no tratamento (+FMAs +ESA) e diferente das lâminas anteriores, apenas quando utilizado o ESA, a micorrização ou não do amendoim é indiferente.

Já em função dos níveis hídricos, observou-se que em todos os tratamentos (Tabela 72) houve aumento gradual na atividade da CAT devido a limitação hídrica, principalmente nos tratamentos sem os agentes biológicos, sendo menor atividade da enzima na presença dos mesmos.

Tabela 71. Atividade da enzima catalase (CAT) ($\mu\text{Kat } \mu\text{g proteína}^{-1}$) em folhas de amendoim cv. Tatu ST cultivados em associação com FMAs e suplementado com ESA no segundo período de avaliação.

Lâminas	ESA	FMAs	
		Presença	Ausência
100%	+	42,4979 Bb	51,7533 Ba
100%	-	65,1690 Ab	72,6683 Aa
75%	+	71,5883 Bb	88,4936 Ba
75%	-	81,9816 Ab	112,8560 Aa
45%	+	117,6360 Ab	144,1424 Ba
45%	-	127,3618 Ab	172,3623 Aa

Médias seguidas de letras diferentes, maiúscula na coluna para cada lâmina e minúscula na linha, diferem pelo teste Tukey ($p < 0,05$). FMAs- Fungos micorrízicos arbusculares e ESA- Extrato solúvel de algas marinhas.

Tabela 72. Atividade da enzima catalase (CAT) ($\mu\text{Kat } \mu\text{g proteína}^{-1}$) em folhas de amendoim cv. Tatu ST sob diferentes níveis de água em associação com FMAs no segundo período de avaliação.

Lâminas	ESA	FMAs	
		Presença	Ausência
100%	-	65,1690 C	72,6683 C
75%	-	81,9816 B	112,8560 B
45%	-	127,3618 A	172,3623 A
100%	+	42,4979 C	51,7533 C
75%	+	71,5883 B	88,4936 B
45%	+	117,6360 A	144,1424 A

Médias seguidas de letra maiúscula na coluna diferem entre as lâminas pelo teste Tukey ($p < 0,05$). FMAs- Fungos micorrízicos arbusculares e ESA- Extrato solúvel de algas marinhas.

A CAT é uma das enzimas mais eficazes na defesa contra processo antioxidativo, uma vez que nas plantas consideradas tolerantes e a sua adoção

como indicador bioquímico pode ser um dos fatores de seleção para as melhores combinações entre os agentes biológicos e cultivares.

A independência da presença de agentes redutores para funcionalidade da CAT e sua ação de neutralização mais rápida do H_2O_2 , impedindo a difusão desse ânion para célula, são alguns dos principais atributos dessa enzima (PEREIRA et al., 2012; AKCAY et al., 2010). Dentre vários vegetais, a cultura do amendoim também responde a DH através da atividade da CAT (AKCAY et al., 2010).

Entretanto, a inoculação com fungos pode favorecer a atividade dessas enzimas antioxidativas (FOLLI-PEREIRA et al., 2012) e a associação das plantas, durante o período ao qual permaneceram sob limitação hídrica, com os agentes biológicos podem sugerir que houve a decomposição dessas EROs.

Essa reação ou a própria característica de tolerância ao estresse hídrico pelo cultivar, poderiam justificar a maior atividade da CAT encontrada nas plantas não inoculadas.

He Zhong et al., (2007) apontam que, embora não seja tão claro o efeito das micorrizas sob plantas cultivadas em substrato salino, a indução da atividade da CAT foi maior devido a salinidade do que pela micorrização.

Bettini, (2015) em cultivares de cafeeiro também sob estresse salino, relatou que nos tratamentos sem a utilização de ESA (*A. Nodusun* e *L. Calcareum*) houve maior atividade da CAT e que a variação encontrada para os atributos bioquímicos observados em seu trabalho não foi associada aos extratos de algas.

Com relação a atividade da enzima peroxidase (POD), embora não tenha sido encontrada interações significativas entre os três fatores estudados, houve interação entre os níveis hídricos tanto com os fungos quanto com o ESA (Tabelas 73 e 74).

Tabela 73. Atividade da enzima peroxidase (POD) ($\mu\text{Kat } \mu\text{g proteína}^{-1}$) em folhas de amendoim cv. Tatu ST sob efeito da inoculação dos FMAs sob diferentes níveis de água no segundo período de avaliação

Lâmina	FMAs	
	Presença	Ausência
100%	0,2532 Cb	0,6038 Ba
75%	0,4724 Bb	0,6792 Ba
45%	0,8423 Ab	1,3179 Aa

Médias seguidas de letras diferentes, maiúscula na coluna e minúscula da linha, diferem pelo teste Tukey ($p < 0,05$). FMAs- Fungos micorrízicos arbusculares.

Tabela 74. Atividade da enzima peroxidase (POD) ($\mu\text{Kat } \mu\text{g proteína}^{-1}$) em folhas de amendoim cv. Tatu ST cultivado sob diferentes níveis de água suplementado com ESA no segundo período de avaliação.

Lâmina	ESA	
	Com	Sem
100%	0,3715 Bb	0,4855 Ca
75%	0,4249 Bb	0,7267 Ba
45%	0,5812 Ab	1,5791 Aa

Médias seguidas de letras diferentes maiúsculas na coluna e minúsculas na linha diferem pelo teste Tukey ($p < 0,05$). ESA- Extrato solúvel de algas marinhas.

Levando em consideração a micorrização das plantas, a atividade da enzima aumentou em função da DH, da mesma maneira que nas plantas não inoculadas. Entretanto, os maiores valores encontrados em cada um dos níveis hídricos estiveram sempre nas plantas não micorrizadas.

Por outro lado, com a presença do ESA, de maneira tardia e menos intensa, também houve aumento da atividade da POD em função da DH, contudo não houve diferenciação entre as lâminas 100% e MOD, porém ambas diferenciaram da lâmina de 45%.

Novamente, os valores encontrados em todos os níveis hídricos na ausência do ESA, foram superiores quando comparados com as plantas as quais o bioestimulante foi utilizado.

O incremento das atividades de enzimas como a POD, CAT e SOD pela inoculação micorrízica segundo He et al. (2007) que embora seja uma associação simbiótica mutualista, as micorrizas não deixam de representar uma invasão para as raízes das plantas associando uma situação de estresses pela interação planta/patógeno.

A SOD foi a primeira enzima envolvida no sistema de defesa e em resposta a atividade da SOD também observada na cultura do amendoim por Sankar et al., (2007). Embora sua atuação no acionamento de outros mecanismos antioxidativos, a partir da ação de enzimas secundárias para dismutação das EROs, tenha sido considerada apenas no terceiro período de avaliação.

Entretanto informações sobre a atividade dessas enzimas em condições de estresse abiótico sob influência de fungos micorrízicos ou a ação dos

bioestimulantes a base de algas marinhas da espécie *A. nodosun* são contraditórios e escassos.

A partir das Tabela 75 e 76, relata-se que as plantas de amendoim micorrizadas não apresentaram diferenças pela aplicação do ESA, entretanto na ausência dos fungos já se pode notar incremento na atividade da SOD pela aplicação do ESA nas plantas em condições 100%. Ainda com relação as plantas do tratamento 100%, seja com uso ou não do ESA, houve incremento significativo para esse atributo pela micorrização das plantas.

Tabela 75. Atividade da enzima superóxido dismutase (SOD) (UI $\mu\text{g prote\u00edna}^{-1}$) em folhas de amendoim cv. Tatu ST cultivado em associa\u00e7\u00e3o com FMAs e suplementado com ESA no terceiro per\u00edodo de avalia\u00e7\u00e3o.

L\u00e2minas	ESA	FMAs	
		Presen\u00e7a	Aus\u00eancia
100%	+	4,91 Ab	8,63 Ba
100%	-	6,61 Ab	13,29Aa
75%	+	5,33 Ab	9,86 Aa
75%	-	7,25 Ab	12,34 Aa
45%	+	10,52 Bb	15,03 Ba
45%	-	16,58 Ab	29,57 Aa

M\u00e9dias seguidas de letras diferentes, mai\u00fascula na coluna para cada l\u00e2mina e min\u00fascula na linha, diferem pelo teste Tukey ($p < 0,05$). FMAs- Fungos micorr\u00edzicos arbusculares e ESA- Extrato sol\u00favel de algas marinhas.

Tabela 76. Atividade da enzima super\u00f3xido dismutase (SOD) (UI $\mu\text{g prote\u00edna}^{-1}$) em folhas de amendoim cv. Tatu ST cultivados sob diferentes n\u00edveis de \u00e1gua associados com FMAs no terceiro per\u00edodo de avalia\u00e7\u00e3o.

L\u00e2minas	ESA	FMAs	
		Presen\u00e7a	Aus\u00eancia
100%	-	6,61B	13,29B
75%	-	7,25B	12,34B
45%	-	16,58A	29,57A
100%	+	4,91B	8,63B
75%	+	5,33B	9,86B
45%	+	10,52A	15,03A

M\u00e9dias seguidas de letra mai\u00fascula na coluna diferem entre as l\u00e2minas pelo teste Tukey ($p < 0,05$). FMAs- Fungos micorr\u00edzicos arbusculares e ESA- Extrato sol\u00favel de algas marinhas.

O n\u00edvel intermedi\u00e1rio de supress\u00e3o h\u00eddrica aponta com a associa\u00e7\u00e3o dos agentes biol\u00f3gicos a redu\u00e7\u00e3o da atividade dessa enzima quando

comparada aos tratamentos sem aplicação de nenhum dos agentes ou quando aplicados individualmente. Foi verificado também a diferença entre a ação individual da micorrização e aplicação do extrato, pois as plantas apenas micorrizadas houve maior valor de atividade da SOD, seguido das plantas as quais foram aplicadas apenas o ESA.

Contudo, a aplicação apenas do ESA indicou uma redução na atividade no maior nível de DH, em contrapartida os tratamentos sem a aplicação dos agentes biológicos aumentaram significativamente a atividade da SOD. Com relação aos tratamentos +FMAs e +ESA e +FMA/-ESA, estes demonstraram comportamento semelhante a lâmina de 45%.

Raza et al. (2007) e Folli-Pereira et al., (2012) registraram a atividade de enzimas antioxidativas SOD, CAT e POX em resposta à aplicação exógena de glicinabetaína destacando importante função na adaptação das plantas ao estresse salino.

Isso indica que outras moléculas, dentre elas a glicinabetaína, pode modular a atividade antioxidante de enzimas em plantas com diferentes níveis de tolerância frente a condições salinas.

Zhang; Schmidt, (1999), indicaram que a aplicação do extrato de algas e ácidos húmicos auxiliam na atividade antioxidativas tanto em regimes hídricos favoráveis ou deficitários.

Esses autores também sugerem que seria possível reduzir ou prevenir os danos antioxidativos através do estímulo dos mecanismos de defesa pela aplicação exógena de alguns bioestimulantes.

Deste modo, a ativação coordenada de ambos os mecanismos de defesa enzimática e não enzimática para a dismutação das EROs é de suma importância para permitir que as plantas tolerem eficientemente os estresses abióticos.

Abd El-Baky et al. (2008) reportaram que através da aplicação exógena de ESA, houve incremento de compostos do sistema antioxidativo os quais estariam envolvidos como um dos fatores responsáveis pela tolerância DH.

Como demonstrado por Alves et al. (2016), agentes estressores como a DH e afetam diferencialmente os componentes enzimáticos no amendoineiro, possivelmente pelas características morfofisiológicas distintas, como aconteceu entre as cultivares IAPAR 25 Tição e IAC Tatu ST encontrado por Carbonieri (2012).

No amendoineiro, em condições de capacidade de campo, encontrou-se diferenças significativas em todas as interações entre os agentes biológicos,

onde os maiores valores foram encontrados nos tratamentos: (- FMA + ESA), (+ FMAs +ESA) e (+FMA - ESA), respectivamente para atividade de NR (Tabela 75).

Diversas enzimas estão ligadas no processo de fixação assimilatória de N pelas plantas e a enzima nitrato redutase (NR) é classificada como uma das mais importantes na regulação desse mecanismo, à medida que este íon deve ser reduzido antes de ser incorporado em moléculas orgânicas.

A atividade da NR em plantas submetidas a lâmina de 75%, pela aplicação agentes biológicos, diferiu do tratamento onde não foram aplicados os mesmos. Entretanto, apenas a inoculação das micorrizas (+FMAs - ESA) não difere significativamente do tratamento +FMAs + ESA. Assim, o uso do ESA (- FMAs + ESA) difere entre o tratamento +FMAs+ ESA, sendo que os maiores valores encontrados para esta lâmina, foram obtidos pela aplicação do ESA. Já para a 45%, independentemente da inoculação dos fungos, a presença do ESA sempre induziu aumento significativo da atividade da NR frente aos tratamentos sem a presença do bioestimulante.

Por outro lado, nem todas as interações envolvendo os fungos interferiram na atividade da NR. Em consideração aos níveis hídricos, houve principalmente nas plantas hidratadas a maior atividade da nitrato redutase que foi gradualmente influenciada pela lâmina de 75% seguida da 45% (Tabelas 77 e 78).

Tabela 77. Atividade da enzima nitrato redutase (NR) ($\text{nM NO}_2 \text{ h}^{-1}\text{g}^{-1} \text{ MF}$) em folhas de amendoim cv. Tatu ST cultivado em associação com FMAs e suplementado com ESA no terceiro período de avaliação.

Lâminas	ESA	FMAs	
		Presença	Ausência
100%	+	82,3281 Ab	114,0791 Aa
100%	-	54,5844 Bb	104,6912 Ba
75%	+	57,2680 Ab	97,8717 Aa
75%	-	49,9720 Aa	25,8687 Bb
45%	+	27,4496 Ab	60,1229 Aa
45%	-	10,6372 Ba	15,6973 Ba

Médias seguidas de letras diferentes, maiúscula na coluna para cada lâmina e minúscula na linha, diferem pelo teste Tukey ($p < 0,05$). FMAs- Fungos micorrízicos arbusculares e ESA- Extrato solúvel de algas marinhas.

Tabela 78. Atividade da enzima nitrato redutase (NR) ($\text{nM NO}_2 \text{ h}^{-1}\text{g}^{-1} \text{ MF}$) em folhas de amendoim cv. Tatu ST cultivados sob diferentes níveis de água sob efeito da inoculação dos FMAs no terceiro período de avaliação.

Lâminas	ESA	FMAs	
		Presença	Ausência
100%	-	54,5844 A	104,6912 A
75%	-	49,9720 A	25,8687 B
45%	-	10,6372 B	15,6973 C
100%	+	82,3281 A	114,0791 A
75%	+	57,2680 B	97,8717 B
45%	+	27,4496 C	60,1229 C

Médias seguidas de letra maiúscula na coluna diferem entre as lâminas pelo teste Tukey ($p < 0,05$). FMAs- Fungos micorrízicos arbusculares e ESA- Extrato solúvel de algas marinhas.

A atividade dessa enzima pode ser modulada também em função de agentes estressores (KAISER; HUBER, 1994), contudo, geralmente em plantas micorrizadas, através da disponibilidade de P, apresentam maior atividade da NR (PEREIRA et al., 1996).

Essa característica pode ser atribuída a melhoria do estado nutricional das plantas pela melhor solubilização dos nutrientes associado ao efeito dos FMAs sobre a resistência estomática e taxa de transpiração levando a intensa síntese de carboidratos que ao chegarem a raiz, ativariam a enzima (DINIZ, 2007).

Os bioestimulantes a base de extrato de algas, não contribuem apenas para o fornecimento de proteínas mas também podem ter constituintes que mediam a translocação do nitrogênio dos tecidos vegetativos para os reprodutivos (ZEWAIL, 2014). Provavelmente em função dos maiores teores de clorofila e conseqüentemente a maior atividade da enzima, uma vez que a molécula de clorofila necessita de nitrogênio em sua estrutura que é indispensável para a fotossíntese, logo aumento de carboidratos necessários para assimilação de nitrogênio pela planta (LARCHER, 2006).

Com relação à concentração de L-prolina verificou-se aumento dos teores do aminoácido nas plantas sob a condição de estresse (Tabela 79), sendo os maiores acúmulos observados na lâmina moderada pelo tratamento -FMAs+ESA, +FMAs-ESA e +FMA- ESA, respectivamente (Tabela 80). Esse resultado parece sugerir, para este cultivar, que para as plantas micorrizadas os teores de prolina estão próximos e não diferem estatisticamente em função do ESA. Contudo, identificou-se que, pela

aplicação do ESA, há diferenças significativas entre as plantas micorrizadas e não micorrizadas.

Tabela 79. Concentração de L-prolina ($\mu\text{mol g}^{-1}$ MF) em folhas de amendoim cv. Tatu ST cultivados sob efeito da aplicação do ESA e inoculação dos FMAs no terceiro período de avaliação.

Lâminas	ESA	FMAs	
		Presença	Ausência
100%	+	0,4147 Aa	0,3555 Aa
100%	-	0,3780 Aa	0,4355 Aa
75%	+	0,4459 Ab	0,6358 Aa
75%	-	0,3973 Aa	0,2853 Ba
45%	+	0,6075 Ab	1,2786 Ba
45%	-	0,8398 Ab	2,1357 Aa

Médias seguidas de letras diferentes, maiúscula na coluna para cada lâmina e minúscula na linha, diferem pelo teste Tukey ($p < 0,05$). FMAs- Fungos micorrízicos arbusculares e ESA- Extrato solúvel de algas marinhas.

Tabela 80. Concentração de L-prolina ($\mu\text{mol g}^{-1}$ MF) em folhas de amendoim cv. Tatu ST cultivados sob diferentes níveis de água em associação com FMAs no terceiro período de avaliação.

Lâminas	ESA	FMAs	
		Presença	Ausência
100%	-	0,3780 C	0,4355 B
75%	-	0,3973 B	0,2853 C
45%	-	0,8398 A	2,1357 A
100%	+	0,4147 B	0,3555 C
75%	+	0,4459 B	0,6358 B
45%	+	0,6075 A	1,2786 A

Médias seguidas de letra maiúscula na coluna diferem entre as lâminas pelo teste Tukey ($p < 0,05$). FMAs- Fungos micorrízicos arbusculares e ESA- Extrato solúvel de algas marinhas.

Para a lâmina 45%, o tratamento correspondente a associação dos dois agentes biológicos e o controle obtiveram o menor acúmulo e o maior, nesta ordem. Novamente, como já discutido para plantas submetidas a lâmina de 75% associadas aos FMAs não diferem independente ao uso do ESA, sendo a diferença só observada entre as plantas micorrizadas e não micorrizadas quando o ESA foi aplicado.

Muitos dos mecanismos que impulsionam a resistência ao estresse abiótico mediados pela simbiose com os fungos micorrízicos e sua associação com biostimulantes ainda são desconhecidos, sobretudo para a cultura do amendoim.

Estudos recentes atribuem a otimização do ajustamento osmótico favorecido pela colonização fúngica a super expressão das aquaporinas o que reduziria os danos oxidativos no tecido vegetal (HE et al., 2007).

De forma que a indução nos níveis de prolina promovidos pela utilização do ESA também contribuiria para esse ajustamento osmótico.

4.2.3.6 Atributos microbiológicos

O cultivar de amendoim IAC Tatu apresentou interação significativa entre os níveis hídricos, fungos micorrízicos e ESA para os atributos microbiológicos número de esporos (Tabelas 81 e 82) e matéria seca de nódulos (Tabelas 83 e 84).

Tabela 81. Número de esporos em solo cultivado com amendoim cv. Tatu ST associado com FMAs e suplementado com ESA.

Lâminas	ESA	FMAs	
		Presença	Ausência
100%	+	89 Aa	79 Ab
100%	-	82 Aa	35 Bb
75%	+	65 Ba	41 Ab
75%	-	105 Aa	15 Bb
45%	+	41 Ba	37 Ba
45%	-	121 Aa	84 Ab

Médias seguidas de letras diferentes, maiúscula na coluna para cada lâmina e minúscula na linha, diferem pelo teste Tukey ($p < 0,05$).
FMAs- Fungos micorrízicos arbusculares e ESA- Extrato solúvel de algas marinhas.

Tabela 82. Valores médios (n=4) do número de esporos em solo cultivado com amendoim cv. Tatu ST submetidos a diferentes níveis de água em associação com FMAs no terceiro período de avaliação.

Lâminas	ESA	FMAs	
		Presença	Ausência
100%	-	82C	35B
75%	-	105 B	15C
45%	-	121A	84A
100%	+	89A	79A
75%	+	65B	41B
45%	+	41C	37B

Médias seguidas de letras diferentes maiúscula na coluna diferem entre as lâminas pelo teste Tukey ($p < 0,05$). FMAs- Fungos micorrízicos arbusculares.

Tabela 83. Matéria seca de nódulos (mg) presentes nas raízes das plantas de amendoim cv. Tatu ST cultivados em associação com FMAs e suplementado com ESA.

Lâminas	ESA	FMAs	
		Presença	Ausência
100%	+	57,3667 Aa	6,9333 Ab
100%	-	20,7333 Ba	5,3667 Ab
75%	+	37,7333 Ba	12,1667 Ab
75%	-	60,5333 Aa	6,3000 Ab
45%	+	30,4667 Ba	18,1000 Ab
45%	-	58,7333 Aa	2,8667 Bb

Médias seguidas de letras diferentes, maiúscula na coluna para cada lâmina e minúscula na linha, diferem pelo teste Tukey ($p < 0,05$). FMAs- Fungos micorrízicos arbusculares e ESA- Extrato solúvel de algas marinhas.

Tabela 84. Matéria seca de nódulos (mg) presentes nas raízes das plantas de amendoim cv. Tatu ST submetidos a diferentes níveis de água em associação com FMAs.

Lâminas	ESA	FMAs	
		Presença	Ausência
100%	-	20,7333 B	5,3667 B
75%	-	60,5333 A	6,3000 A
45%	-	58,7333 A	2,8667 B
100%	+	57,3667 A	6,9333 B
75%	+	37,7333 B	12,1667 A
45%	+	30,4667 B	18,1000 A

Médias seguidas de letras diferentes na coluna diferem entre as lâminas pelo teste Tukey ($p < 0,05$). FMAs- Fungos micorrízicos arbusculares.

Encontrou-se variabilidade quanto a matéria seca de nódulos desse cultivar de amendoim, sendo o valor máximo de MS de nódulo por planta detectado em plantas hidratadas pelo tratamento +FMAs + ESA. No tratamento com inoculação dos fungos, o uso do ESA demonstrou efeito significativo quando comparado com o tratamento +FMAs – ESA. Similarmente, os tratamentos + FMAs+ ESA e –FMAs+ ESA não diferem pelo uso do bioestimulante. Todavia, ocorre também efeito significativo entre as plantas inoculadas e não inoculadas na ausência do ESA, sendo que para as plantas não micorrizadas é indiferente a aplicação do ESA (Tabela 81).

Considerando-se a lâmina de 75%, a MS de nódulos foi mais expressiva em plantas inoculadas (+FMAs – ESAe +FMAs + ESA). Verificou-se também que nas plantas não inoculadas, não houve interferência para a MS de nódulos em função do ESA, haja visto que a diferença significativa pela presença dos fungos foi identificada entre os tratamentos sem aplicação do ESA.

Dessa forma, os genótipos variam quanto a capacidade de associação com os FMAs e diferenças intra-específicas quanto número de esporos e porcentagem de colonização também foram observadas na cultura do amendoim por Rao et al, (1990).

Por fim, a nodulação das plantas submetidas a lâmina de 45% respondeu favoravelmente aos tratamentos que não tiveram a aplicação do ESA (+FMAs – ESA e -FMAs – ESA).

A variação do comportamento entre o acúmulo de matéria seca dos nódulos e contribuição da fixação biológica de P pode estar relacionada ao fato dos nódulos formados pelas associações entre as diferentes linhagens de rizóbios apresentarem também diferenças na eficiência da fixação na presença dos agentes biológicos (FERNANDES et al., 2008).

Os resultados obtidos por Jesus et al. (2005), em algumas espécies de leguminosas arbóreas, evidenciou a ocorrência da nodulação nos tratamentos inoculados com FMAs. Isso indica que a nodulação é um aspecto importante para a seleção de estirpes de rizóbio eficientes e a inoculação com FMAs pode ser uma alternativa para que as estirpes expressem seu potencial favorecendo a nodulação das plantas (JESUS et al., 2005).

A redução da matéria seca dos nódulos nas plantas cultivadas sob DH possivelmente deu-se ao efeito prejudicial sobre o processo de colonização dos microrganismos de solo e provavelmente está relacionada a interferência metabólica tanto

nas células radiculares quanto nas bactérias fixadoras de N que dificultariam o processo de simbiose (SOUZA et al., 2011).

As Tabelas 85 e 86 representa a porcentagem de infecção radicular quanto a interação significativa entre os três fatores. Nas condições favoráveis de cultivo, não houve influência significativa pelo uso do ESA nas plantas micorrizadas assim como, nas plantas não micorrizadas. Sendo contatada a diferença apenas pela inoculação dos fungos.

Tabela 85. Colonização radicular (%) de plantas de amendoim cv. Tatu ST cultivado em associação com FMAs e suplementado com ESA.

Lâminas	ESA	FMAs	
		Presença	Ausência
100%	+	64Aa	29Ab
100%	-	60Aa	25Ab
75%	+	54Aa	51Aa
75%	-	44Ba	27Bb
45%	+	54Aa	42Ab
45%	-	40Ba	32Bb

Médias seguidas de letras diferentes, maiúscula na coluna para cada lâmina e minúscula na linha, diferem pelo teste Tukey ($p < 0,05$). FMAs- Fungos micorrízicos arbusculares e ESA- Extrato solúvel de algas marinhas.

Tabela 86. Colonização radicular (%) em plantas amendoim cv. Tatu ST cultivados sob diferentes níveis de água sob efeito da inoculação dos FMAs.

Lâminas	ESA	FMAs	
		Presença	Ausência
100%	-	59A	25B
75%	-	44B	27B
45%	-	44B	32A
100%	+	64A	29C
75%	+	53B	50A
45%	+	54B	42B

Médias seguidas de letras diferentes na coluna diferem entre as lâminas pelo teste Tukey ($p < 0,05$). FMAs- Fungos micorrízicos arbusculares.

A restrição hídrica tanto moderada quanto severa associada a utilização do ESA sugeriu uma cooperação para o aumento da porcentagem de colonização tanto nas plantas inoculadas com isolados selecionados e na presença dos fungos nativos.

Já em função das lâminas, o tratamento os quais não foram utilizados os agentes biológicos, houve comprometimento no mecanismo de infecção radicular pelos fungos selecionados ou nativos.

De acordo com Sugavanam et al. (1994) para plantas de amendoim, os fatores responsáveis pela infecção e esporulação podem provavelmente ter contribuído também com o incremento da infectividade e nodulação por estirpes de *Rhizobium*. Esta espécie, além de ser uma micotrófica pode se associar com FMAs, capacitando assim o aumento nos propágulos micorrízicos no solo (HIPPLER; MOREIRA, 2013).

Em contra partida, estudos recentes em morango (BOROWICZ, 2010) e *Populus* (LIU et al., 2015) também reportaram que o estresse hídrico tem um efeito negativo sob a colonização micorrízica provavelmente causada pela inibição da germinação do esporo e do crescimento das hifas.

4.2.3.7 Indicadores de produção

Alterações fisiológicas e ambientais, especialmente as condições hídricas, interferem na modulação, alocação, uso de carboidratos, além do fluxo interno de substância as quais podem determinar múltiplas interações pelos órgãos fonte e dreno.

A contribuição dos fungos e biostimulantes em cultivo sujeitos a DH capacita o crescimento e desenvolvimento do vegetal nessas condições, contudo as plantas respondem de maneira variada devido a interferência causada pela sazonalidade, temperatura, teor de água no solo nessa relação simbiótica.

O número de vagens por planta do cultivar de amendoim Tatu ST, embora cultivado em época adequada, não apresentou interação significativa entre os três fatores.

Considerando os fatores níveis hídricos e inoculação de fungos, notou-se que a imposição da DH interferiu negativamente para esse atributo, contudo em todas as lâminas observou-se diferença significativa entre as plantas micorrizadas ou não (Tabela 87). Comportamento semelhante foi observado pela interação níveis hídricos e aplicação do ESA (Tabela 88). Da mesma forma, desconsiderando os níveis hídricos, os maiores valores para número de vagens por planta encontrados pela interação entre os fungos e ESA estiveram na associação dos agentes biológicos (Tabela 89), seguido do

tratamento apenas com a inoculação dos fungos. Rao et al. (1990) constatou uma correlação positiva entre a porcentagem de colonização micorrízica e a produtividade de vagens de amendoim.

Tabela 87. Número de vagens por planta de amendoim cv. Tatu ST cultivados em diferentes níveis de água em associação com FMAs.

Lâmina	FMAs	
	Presença	Ausência
100%	16 Aa	12 Ab
75%	6 Ba	4 Bb
45%	4 Ca	2 Cb

Médias seguidas de letras diferentes na maiúscula na coluna e minúscula na linha diferem pelo teste Tukey ($p < 0,05$). FMAs- Fungos micorrízicos arbusculares.

Tabela 88. Número de vagens por planta de amendoim cv. Tatu ST cultivados em diferentes níveis de água suplementado com ESA.

Lâmina	ESA	
	Com	Sem
100%	14 Aa	12 Ab
75%	7 Ba	3 Bb
45%	4 Ca	3 Bb

Médias seguidas de letra maiúscula na coluna e minúscula na linha diferem pelo teste Tukey ($p < 0,05$). ESA- extrato solúvel de algas.

Tabela 89. Número de vagens por planta de amendoim cv. Tatu ST cultivados em associação com FMAs e suplementado com ESA.

FMAs	ESA	
	Com	Sem
Presença	13 Aa	10 Ab
Ausência	6 Ba	2 Bb

Médias seguidas de letras diferentes maiúscula na coluna e minúscula na linha diferem pelo teste Tukey ($p < 0,05$). ESA- extrato solúvel de algas FMAs- Fungos micorrízicos arbusculares.

4.3 Considerações finais sobre o comportamento dos cultivares de amendoim IAC Runner 886 e IAC Tatu ST, cultivados em associação de FMAs e aplicação do ESA em condições hídricas adequadas de cultivo e sob deficiência hídrica.

4.3.1 Fertilidade do solo ao final do experimento I e II

O nível de fertilidade do solo, analisado ao final dos experimentos I e II, quando comparados os solos inoculados com FMAs selecionados e sem inoculação, demonstrou que os valores de V%, CTC, SB, e P foram superiores na presença dos fungos (ver material e métodos 3.3).

Esses dados confirmam as vantagens sobre a fertilidade do solo pela prática de micorrização, à medida que é um mecanismo que pode maximizar a eficiência dos fertilizantes fosfatados, principalmente em solos deficientes com alta fixação de P e elementos como N, S e Ca.

Além disso, os FMAs pela produção de glomalina, proteína e fonte estável de carbono para o solo, contribuem para a formação de agregados e estabilidade dos mesmos.

As hifas também auxiliam nesse processo de agregação das partículas do solo e disponibilizam o ambiente físico-químico para humificação, melhorando não só a estrutura do solo como sua porosidade e CTC.

4.3.2 Biométricos

Neste trabalho ambos os cultivares passaram pelo mesmo período de restrição hídrica em níveis bem definidos, porém em épocas diferentes do ano.

Mesmo em ambiente protegido, ao final de cada experimento, observou-se que as condições ambientais e a introdução dos agentes biológicos influenciaram no manejo hídrico, conseqüentemente no comportamento individual de cada cultivar dentre os atributos fitotécnicos avaliados.

Embora haja muitos estudos a respeito do extrato da alga *A. Nodosum*, principalmente sobre o crescimento das plantas cultivadas, pouco se sabe sobre

os efeitos nos referidos atributos de crescimento nos diferentes estádios fenológicos do amendoim.

Os compostos presentes como promotores de crescimento e osmólitos compatíveis, como demonstrado por pelo respectivo trabalho, puderam atenuar os efeitos deletérios promovidos pela DH sinergicamente a associação com microorganismos selecionados.

Próximo ao final do ciclo, o cultivar Runner 886 respondeu à interação entre os agentes biológicos na matéria fresca e seca de parte aérea, enquanto o cultivar Tatu ST de forma mais evidente para a raiz. Entretanto, não se evidenciou tal interação na matéria fresca de folha pelo cultivar Tatu, o qual Tatu obteve valores maiores aos encontrados pelo cultivar Runner neste atributo. Sendo ainda, o cv, Tatu dos cultivares do IAC ainda recomendados para plantio é o IAC Tatu ST, indicado para cultivos familiares, em sistema semi-mecanizado.

Esse cultivar possui baixa tolerância a seca porém alto potencial produtivo com relação aos demais cultivares estudados por Arruda et al. (2015).

Avaliando a temperatura e o conteúdo de água no solo para os cultivares Runner 886 e Tatu ST, observou-se que o período mais seco (experimento II) exigiu maior frequência de irrigação refletindo nas oscilações no teor de água do solo acompanhadas pelo monitoramento diário do teor de água no solo.

Em geral, os materiais de amendoim estudados apresentaram dependência micorrízica, ou seja, o crescimento e/ou produção dependente da colonização pelas FMAs em um determinado nível de fertilidade do solo (HIPPLER; MOREIRA, 2013).

Isso também foi visto em trabalhos com o cultivar Runner 886 (HIPPLER; MOREIRA, 2013), sendo que o cultivar Tatu não foram encontrados trabalhos avaliando o efeito da dependência micorrízica.

A dependência micorrízica também pode estar associada a rusticidade, tolerância à seca ou a baixa exigência nutricional, segundo Folli et al. (2012).

Apesar do grau de tolerância, o estresse hídrico é crítico quando ocorre a partir da floração e no enchimento dos grãos para a cultura do amendoim, devido à redução de assimilados (JONGRUNGKLANG et al., 2011). De acordo com alguns autores, as perdas são mais expressivas nos cultivares de habito rasteiro (SANTOS et al., 2010; DUARTE, et al, 2014).

Com relação a tolerância a seca segundo Duarte (2014), em seu trabalho apontou moderada para as plantas eretas e baixa para rasteiras.

Diante dessas observações, manejos que mantenham ou incrementem a comunidade nativa de fungos micorrízicos, para preservar a umidade e manter a comunidade microbiana ativa do solo (AMORIM et al., 2004), seriam boas alternativas biotecnológicas para algumas espécies de leguminosas.

De outra maneira, a recomendação do cultivo de mudas colonizadas em ambientes com limitações de fertilidade do solo, com elevado índice de metais pesado ou degradados também viabilizariam o uso dos fungos micorrízicos.

4.3.3 Trocas gasosas e relações hídricas

O efeito de interação significativa entre os FMAs, ESA e níveis hídricos para as trocas gasosas se deu principalmente na taxa de assimilação líquida do cultivar Runner, o qual demonstrou taxas menores que o cultivar Tatu ST. Ainda que esta última apenas tenha apresentado interação significativa entre o ESA e os níveis hídricos.

Visto que a comparação entre as cultivares não está no escopo deste trabalho, o cultivar Runner revelou melhor a interferência dos agentes biológicos em condições de restrição hídrica nos atributos fisiológicos do amendoim.

4.3.4 Análises bioquímicas

Em ambos os cultivares, a atividade da enzima catalase correspondeu a presença dos fatores biológicos no segundo período. Entretanto a cultivar Tatu, além das maiores atividades para essa enzima, foi influenciada pela associação dos fungos combinada ao uso ESA nos diferentes níveis hídricos.

Já no cultivar Runner, a atividade da CAT foi menor não ocorrendo a interação entre os FMAs e ESA.

O efeito relevante e significativo da atividade da SOD foi identificado apenas no terceiro período, o que denota maior tempo de exposição ao estresse, formação da simbiose com os FMAs e contato com o ESA.

Sendo as SODs são as primeiras enzimas a atuarem na linha de defesa e a CAT varia dependendo da duração e intensidade do estresse. De modo que em

situações de deficiência hídrica moderada há um aumento da atividade da CAT enquanto na lâmina de 45% o efeito da atividade da CAT diminui visto que devido ao peso molecular desta enzima, espera-se altas taxas de degradação em estresses mais intensos. Segundo Alves et al., (2016), isto pode sugerir que os cultivares de amendoim estudados tiveram acionados e mantiveram ativos seu sistema antioxidativo pelos agentes biológicos.

O conteúdo de prolina, para as plantas controle (100%) foi menor no cultivar Tatu ST, o qual não demonstrou variação no acúmulo desse osmoprotetor em função dos agentes biológicos. Em contraste, a cultivar IAC Runner, sob as mesmas condições teve alto teor de prolina em plantas não inoculadas.

Com o estabelecimento da DH, o cultivar Tatu ST respondeu com o maior acúmulo de prolina em plantas não inoculadas, comparado ao IAC Runner.

Contudo, os dois cultivares, quando micorrizados, tiveram seus valores para o acúmulo de prolina próximos sob nível severo de DH.

Neste trabalho, as enzimas antioxidativas SOD e CAT mais o soluto orgânico, prolina, sustentaram algumas das considerações a respeito das alterações no comportamento bioquímico desse complexo solo-planta-água-microorganismo-bioestimulante.

Assim, esses marcadores bioquímicos colaboraram para melhor compreensão da associação dos fungos micorrízicos nesses cultivares de amendoim, sob deficiência hídrica e em condições hidratadas combinada a aplicação do ESA.

4.3.5 Análises microbiológicas

Os cultivares de amendoim selecionados para o presente ensaio, apresentaram nas condições de capacidade de campo média dependência micorrízica, em torno de 60% de colonização radicular na presença dos isolados selecionados ao final do terceiro período de amostragem.

Entretanto, o cultivar Tatu ST manteve uma porcentagem de colonização radicular maior quando submetida a DH sugerindo que associação micorrízica auxiliou na tolerância desse material frente a DH.

Observou-se também que colonização radicular foi efetiva para o estabelecimento da biomassa das plantas desse cultivar inoculadas em condições de DH.

Hippler e Moreira avaliando a colonização radicular para a o cv Runner do amendoim observaram uma variação de 40 a 50% em plantas colonizadas com *G. clarum* e *G. Rosea* em condições adequadas de cultivo.

Em ambos os cultivares, a colonização micorrízica foi maior nas plantas as quais não foram submetidas a DH, o que sustenta a premissa que os cultivares do presente ensaio tiveram dependência micorrízica promovida pelos isolados selecionados para conseguir se desenvolver em condições de DH. Khalil também observou em plantas de amendoim submetidas a altos índices de salidade uma colonização em torno de 30% e em condições de campo 80% pela inoculação de *G. mosseae*.

4.3.6 Índices de produção.

É possível que a baixa produção de vagens em ambos os cultivares, assim como a interação de cada cultivar com os agentes biológicos, no presente trabalho, decorra do tipo de solo. De acordo com (NETO et al, 2012), a cultura tem preferência a solos de textura arenosa a média que possuam boa drenagem e aeração para melhor desenvolvimento das raízes e penetração dos ginóforos.

O cultivar Runner teve seu número de vagens afetado pela interação entre três fatores, nas condições adequadas de cultivo esse indicativo de produção foi evidente, já para o cultivar Tatu não houve interação, entretanto também se consegue observar a influência do fungo e do ESA nos diferentes níveis hídricos.

Convém evidenciar também que o cultivo em estufa agrícola em vaso é limitante para expressão total do potencial produtivo da cultura, em especial as pertencentes ao grupo das grandes culturas como o amendoim.

Para o presente estudo, não foram utilizados manejos para suplementação da adubação de plantio, pois segundo a literatura consultada os benefícios promovidos por esses microorganismos seriam mais pronunciados em solos sem altos níveis de nutrientes (QUILAMBO et al., 2005a) além de um dos fatores utilizados nos tratamentos ser um bioestimulante.

5 CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos nos experimentos I e II correspondentes aos cultivares de amendoim IAC Runner 886 e IAC Tatu ST, cultivados em associação com FMAs e suplementados com ESA, concluiu-se que:

Para ambas as cultivares, a aplicação individual ou combinada dos agentes biológicos promoveu crescimento das plantas e aumento da taxa de assimilação líquida de CO₂, assim como, maior capacidade de manter adequados o estado hídrico das plantas através da menor interferência da DH no CRA e no potencial hídrico foliar.

Esse consórcio melhorou o estado nutricional da planta, em destaque para o P, alterou a distribuição da biomassa e acarretou efeitos diretos no incremento da produção.

Os agentes biológicos colaboraram para o acionamento e mantiveram ativos o sistema antioxidativo das plantas verificado pela atividade das enzimas antioxidativas SOD e CAT mais o soluto orgânico prolina.

A aplicação do ESA influenciou o processo de infecção radicular e esporulação dos FMAs e foi benéfico para manutenção dessa comunidade fúngica no solo.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABICAB. **Cultivo de Amendoim**. Disponível em: <<http://www.abicab.org.br/cultivo-de-amendoim/>>. Acesso em: 12 jan. 2016.

AGANCHICH, B. et al. Partial root zone drying: regulation of photosynthetic limitations and antioxidant enzymatic activities in young olive (*Olea europaea*) saplings. **Tree Physiology**, v. 29, n. 5, p. 685–696, 1 maio 2009.

AKCAY, U. C. et al. Drought-induced oxidative damage and antioxidant responses in peanut (*Arachis hypogaea* L.) seedlings. **Plant Growth Regulation**, v. 61, n. 1, p. 21–28, 10 jan. 2010.

ALAM, M. Z. et al. Effect of *Ascophyllum* extract application on plant growth, fruit yield and soil microbial communities of strawberry. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 93, n. 1, p. 23–36, jan. 2013.

AL-KARAKI, G. N. Benefit, cost and water-use efficiency of arbuscular mycorrhizal durum wheat grown under drought stress. **Mycorrhiza**, v. 8, n. 1, p. 41–45, 1998.

AL-KHALIEL, A. S.; OTHERS. Effect of salinity stress on mycorrhizal association and growth response of peanut infected by *Glomus mosseae*. **Plant Soil Environ**, v. 56, n. 7, p. 318–324, 2010.

ALLEN, M. F.; BOOSALIS. Effects of two species of VA mycorrhizal fungi on drought tolerance of winter wheat. **New Phytol**, v. 93, p. 67–76, 1983.

ALMEIDA, A. Q. DE et al. Nodulação, aspectos bioquímicos, crescimento e produtividade do feijoeiro em função da aplicação de bioestimulante. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 35, n. 1, p. 77–88, 26 fev. 2014a.

ALMEIDA, J. P. N. DE et al. Fungo micorrízico arbuscular e extrato de algas no crescimento inicial de porta-enxerto de aceroleira. **Revista de Ciências Agrárias - Amazon Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 57, n. 1, p. 22–28, 2014b.

ALVES, G. M. R. et al. VARIABILIDADE GENOTÍPICA DE AMENDOIM EM RESPOSTA A ESTRESSE HÍDRICO BASEADA EM DESCRITORES BIOQUÍMICOS. **Revista Caatinga**, v. 29, n. 3, p. 528–536, 20 jul. 2016.

AMORIM, S. M. C.; PAIM, A. C. B.; SILVA, M. G. Efeito do déficit hídrico sobre a colonização endomicorrízica em duas espécies vegetais típicas da região semi-árida do nordeste. **Revista de Biotecnologia, Ciência e Desenvolvimento**, v. 33, p. 23–26, 2004.

ARAÚJO, W. F.; FERREIRA, L. G. R. Efeito do déficit hídrico durante diferentes estádios do amendoim. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 32, n. 5, p. 481–484, 1997.

ARRUDA, I. M. et al. Crescimento e produtividade de cultivares e linhagens de amendoim submetidas a déficit hídrico1. **Essa**, v. 45, n. 2, 2015.

ASADA, K. Production and Scavenging of Reactive Oxygen Species in Chloroplasts and Their Functions. **PLANT PHYSIOLOGY**, v. 141, n. 2, p. 391–396, 1 jun. 2006.

ASHOORI, M.; ASHRAF, S.; ALIPOUR, Z. T. Investigating the effect of two species of mycorrhiza fungi and salinity on growth, function and chlorophyll content on *Ocimum basilicum*. **International Journal of Agriculture and Crop Sciences**, v. 8, n. 3, p. 503, 2015.

ATWELL, B. J.; KRIEDEMANN, P. E.; TURNBULL, C. G. N. **Plants in Action: Adaptation in Nature, Performance in Cultivation**. [s.l.] Macmillan Education AU, 1999.

AUGÉ, R. M. Water relations, drought and vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis. **Mycorrhiza**, v. 11, n. 1, p. 3–42, 2001.

AUGÉ, R. M. et al. Relating foliar dehydration tolerance of mycorrhizal *Phaseolus vulgaris* to soil and root colonization by hyphae. **Journal of Plant Physiology**, v. 160, n. 10, p. 1147–1156, out. 2003.

AZCÓN, R. et al. Antioxidant activities and metal acquisition in mycorrhizal plants growing in a heavy-metal multicontaminated soil amended with treated lignocellulosic agrowaste. **Applied Soil Ecology**, v. 41, n. 2, p. 168–177, fev. 2009.

BARBOSA, R. M.; HOMEM, B. F. M.; TARSITANO, M. A. A. Custo de produção e lucratividade da cultura do amendoim no município de Jaboticabal, São Paulo. **Revista Ceres**, v. 61, n. 4, p. 475–481, ago. 2014.

BARRS, H.; WEATHERLEY, P. A Re-Examination of the Relative Turgidity Technique for Estimating Water Deficits in Leaves. **Australian Journal of Biological Sciences**, v. 15, n. 3, p. 413–428, 1 jan. 1962.

BATES, L. S.; WALDREN, R. P.; TEARE, I. D. Rapid determination of free proline for water-stress studies. **Plant and Soil**, v. 39, n. 1, p. 205–207, ago. 1973.

BERTOLDO, J. G. et al. Alternatives in bean fertilization to reduce the application of N-urea. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 45, n. 3, p. 348–355, 2015.

BETTINI, M. DE O. Aplicação de extratos de algas marinhas em cafeeiro sob deficiência hídrica e estresse salino. 2015.

BETTONI, M. M.; ADAM, W. M.; MÓGOR, Á. F. Tuberização de batata em função da aplicação de extrato de alga e cobre. **Hortic. bras**, v. 26, n. 2, 2008.

- BONFIM, J. A. et al. Arbuscular mycorrhizal fungi and physiological aspects of coffee conducted in agroforestral system and at full sun. **Bragantia**, v. 69, n. 1, p. 201–206, 2010.
- BOOMSMA, C. R.; VYN, T. J. Maize drought tolerance: Potential improvements through arbuscular mycorrhizal symbiosis? **Field Crops Research**, v. 108, n. 1, p. 14–31, jul. 2008.
- BOROWICZ, V. A. The impact of arbuscular mycorrhizal fungi on strawberry tolerance to root damage and drought stress. **Pedobiologia**, v. 53, n. 4, p. 265–270, 10 jul. 2010.
- BROETTO, F. **Métodos de trabalho em bioquímica vegetal e tecnologia de enzimas**. São Paulo: Editora UNESP Cultura Acadêmica, 2014. v. 1
- BROETTO, F.; LÜTTGE, U.; RATAJCZAK, R. Influence of light intensity and salt-treatment on mode of photosynthesis and enzymes of the antioxidative response system of *Mesembryanthemum crystallinum*. **Functional Plant Biology**, v. 29, n. 1, p. 13, 2002.
- CALVACHE, A. M.; REICHARDT, K. EFEITO DE ÉPOCAS DE DEFICIÊNCIA HÍDRICA NA EFICIÊNCIA DO USO DO NITROGÊNIO DA CULTURA DO FEIJÃO cv. IMBABELLO. **Scientia Agricola**, v. 53, n. 2–3, p. 343–353, maio 1996.
- CARBONIERI, J. **Estudos morfoanatômicos e ecofisiológicos de duas cultivares de amendoim (*Arachis Hypogaea* L) submetidas a diferentes regimes hídricos**. Dissertação(mestrado) Botânica—Londrina: Universidade Estadual de Londrina, 2012.
- CENTRITTO, M.; LORETO, F.; CHARTZOULAKIS, K. The use of low [CO₂] to estimate diffusional and non-diffusional limitations of photosynthetic capacity of salt-stressed olive saplings. **Plant, Cell & Environment**, v. 26, n. 4, p. 585–594, 1 abr. 2003.
- CHAVES, M. M. How Plants Cope with Water Stress in the Field? Photosynthesis and Growth. **Annals of Botany**, v. 89, n. 7, p. 907–916, 15 jun. 2002.
- CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira grãos**. Brasília: Companhia Nacional de Abastecimento, jul. 2015. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/15_07_09_08_59_32_boletim_graos_julho_2015.pdf>. Acesso em: 15 fev. 2016.
- CORREIA, K. G. et al. Crescimento, produção e características de fluorescência da clorofila a em amendoim sob condições de salinidade. **Revista Ciência Agronômica**, v. 40, n. 4, p. 514–521, 2009.
- CORREIA, K. G.; NOGUEIRA, R. Avaliação do crescimento do amendoim (*Arachis hypogaea* L.) submetido a déficit hídrico. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 4, n. 2, p. 1–7, 2004.
- COSCOLIN, R. B. S. et al. Effects of hydric deficiency on gas exchange parameters and metabolism of *Eucalyptus grandis* clones. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 23, n. 4, p. 255–262, 2011.

COSTA, F. A. **Micorrizas arbusculares e enzimas do estresse oxidativo em raízes de cenoura transformada em morangueiro**. Doutorado em microbiologia agrícola—Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2003.

CRAIGIE, J. S. Seaweed extract stimuli in plant science and agriculture. **Journal of Applied Phycology**, v. 23, n. 3, p. 371–393, jun. 2011.

DE CAMPOS, M. F. et al. Análise de crescimento em plantas de soja tratadas com substâncias reguladoras. **Biotemas**, v. 21, n. 3, p. 53–63, 2011.

DINIZ, P. F. . **Influência do fungo micorrízico arbuscular *Glomus clarum* sobre características biofísicas, nutricionais, metabólicas e anatômicas**. Dissertação(mestrado)—Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2007.

DODD, I. C.; PEREZ-ALFOCEA, F. Microbial amelioration of crop salinity stress. **Journal of Experimental Botany**, v. 63, n. 9, p. 3415–3428, 1 maio 2012.

DOS SANTOS, V. M. et al. USO DE BIOESTIMULANTES NO CRESCIMENTO DE PLANTAS DE *Zea mays* L. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 12, n. 3, p. 307–318, 2013.

DOUPIS, G. et al. Water relations, physiological behavior and antioxidant defence mechanism of olive plants subjected to different irrigation regimes. **Scientia Horticulturae**, v. 153, p. 150–156, 4 abr. 2013.

DUARTE, E. A.; MELO FILHO, P. A.; SANTOS, R. C. Características agronômicas e índice de colheita de diferentes genótipos de amendoim submetidos a estresse hídrico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, p. 843–847, 2014.

DUBOIS, M. et al. Colorimetric Method for Determination of Sugars and Related Substances. **Analytical Chemistry**, v. 28, n. 3, p. 350–356, 1 mar. 1956.

FERNANDES, M. F. et al. **Fixação biológica do nitrogênio e colonização micorrízica em genótipos de caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) cultivados em solo de tabuleiros costeiros**. - Portal Embrapa. EMBRAPA- Empresa brasileira de pesquisa agropecuária., 2008. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/373063/fixacao-biologica-do-nitrogenio-e-colonizacao-micorrizica-em-genotipos-de-caupi-vigna-unguiculata-l-walp-cultivados-em-solo-de-tabuleiros-costeiros>>. Acesso em: 26 set. 2016.

FINI, A. et al. Water relations, growth, and leaf gas exchange as affected by water stress in *Jatropha curcas*. **Journal of Arid Environments**, v. 89, p. 21–29, fev. 2013.

FOLLI, M. DA S. Fungo micorrízico arbuscular e glicina betaína aumentam a tolerância de pinhão-mansão em condições de estresse abiótico. 28 jun. 2012.

FOLLI-PEREIRA, M. DA S. et al. Arbuscular mycorrhiza and plant tolerance to stress. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 6, p. 1663–1679, dez. 2012.

GALINDO, F. S. et al. Desempenho agrônomico de milho em função da aplicação de bioestimulantes à base de extrato de algas. **Tecnol. & Ciên. Agropec**, v. 9, n. 1, p. 13/19, 2015.

GARG, N.; BAHER, N. Role of Arbuscular Mycorrhizal Symbiosis in Proline Biosynthesis and Metabolism of *Cicer arietinum* L. (Chickpea) Genotypes Under Salt Stress. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 32, n. 4, p. 767–778, 22 jun. 2013.

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

GHORBANLI, M.; EBRAHIMZADEH, H.; SHARIFI, M. Effects of NaCl and Mycorrhizal Fungi on Antioxidative Enzymes in Soybean. **Biologia Plantarum**, v. 48, n. 4, p. 575–581, 2004.

GIANNOPOLITIS, C. N.; RIES, S. K. Superoxide Dismutases I. O100%urrence in Higher Plants. **Plant Physiology**, v. 59, n. 2, p. 309–314, 1 fev. 1977.

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, 1 mar. 1980.

GODOY, I. J. DE et al. Cultivares IAC de amendoim. **O Agrônômico**, v. 55, n. 1, p. 26–29, 2003.

GOICOECHEA, N. et al. Influence of arbuscular mycorrhizae and *Rhizobium* on free polyamines and proline levels in water-stressed alfalfa. **Journal of Plant Physiology**, v. 153, n. 5–6, p. 706–711, jan. 1998.

GRACIANO, E. S. A. Estudos fisiológicos e bioquímicos de cultivares de amendoim (*Arachis hypogaea* L.) submetidas à deficiência hídrica. **UFRP, Recife, fev**, 2009.

HE, Z. et al. Changes of antioxidative enzymes and cell membrane osmosis in tomato colonized by arbuscular mycorrhizae under NaCl stress. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, v. 59, n. 2, p. 128–133, 1 out. 2007.

HERNÁNDEZ-HERRERA, R. M. et al. Effect of liquid seaweed extracts on growth of tomato seedlings (*Solanum lycopersicum* L.). **Journal of Applied Phycology**, v. 26, n. 1, p. 619–628, fev. 2014.

HIPPLER, F. W. R.; MOREIRA, M. Plants of peanut inoculated with *Bradyrhizobium* and arbuscular mycorrhizal fungi. **Ecossistema**, v. 34/35, n. 1/2, p. 93–97, 2010 2009.

HIPPLER, F. W. R.; MOREIRA, M. Dependência micorrízica do amendoinzeiro sob doses de fósforo. **Bragantia**, v. 72, n. 2, p. 184–191, 2013.

IEA. **Área e Produção dos Principais Produtos da Agropecuária**. Banco de dados. Disponível em: <http://ciagri.iea.sp.gov.br/nial/subjetiva.aspx?cod_sis=1&idioma=1>. Acesso em: 3 jul. 2016.

INVAM. **INVAM**. Disponível em: <<http://invam.wvu.edu/the-fungi>>. Acesso em: 8 out. 2016.

JAWORSKI, E. G. Nitrate reductase assay in intact plant tissues. **Biochemical and Biophysical Research Communications**, v. 43, n. 6, p. 1274–1279, 18 jun. 1971.

JESUS, E. DA C.; SCHIAVO, J. A.; FARIA, S. M. DE. Dependence on arbuscular mycorrhizal fungi for nodulation and growth of tropical woody legume species. **Revista Árvore**, v. 29, n. 4, p. 545–552, ago. 2005.

JONGRUNGKLANG, N. et al. Rooting traits of peanut genotypes with different yield responses to pre-flowering drought stress. **Field Crops Research**, v. 120, n. 2, p. 262–270, jan. 2011.

KAISER, W. M.; HUBER, S. C. Posttranslational Regulation of Nitrate Reductase in Higher Plants. **Plant Physiology**, v. 106, n. 3, p. 817–821, nov. 1994.

KARNOK, K. J. Promises, promises: Can biostimulants deliver. **Golf Course Management**, v. 68, n. 8, p. 67–71, 2000.

KHAN, W. et al. Seaweed Extracts as Biostimulants of Plant Growth and Development. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 28, n. 4, p. 386–399, dez. 2009.

KOHLER, J. et al. Plant-growth-promoting rhizobacteria and arbuscular mycorrhizal fungi modify alleviation biochemical mechanisms in water-stressed plants. **Functional Plant Biology**, v. 35, n. 2, p. 141, 2008.

KONRAD, M. L. DE F. et al. Resposta do cafeeiro à inoculação de fungos micorrízicos arbusculares, em latossolo vermelho, do cerrado = Response of coffee plants colonized inoculation with arbuscular mucorrhizal fungi, red latosol, in cerrado. **Bioscience Journal**, v. 30, n. 4, 20 mar. 2014.

KRAMER, P. J.; BOYER, J. S. **Water relations of plants and soils**. San Diego: Academic Press, 1995.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: RiMa, 2006.

LAWLOR, D. W.; CORNIC, G. Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. **Plant, Cell & Environment**, v. 25, n. 2, p. 275–294, fev. 2002.

LAZCANO, C.; BARRIOS-MASIAS, F. H.; JACKSON, L. E. Arbuscular mycorrhizal effects on plant water relations and soil greenhouse gas emissions under changing moisture regimes. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 74, p. 184–192, jul. 2014.

LEE, D. W.; BRAMMEIER, S.; SMITH, A. P. The Selective Advantages of Anthocyanins in Developing Leaves of Mango and Cacao. **Biotropica**, v. 19, n. 1, p. 40–49, 1987.

LIU, T. et al. Impact of arbuscular mycorrhizal fungi on the growth, water status, and photosynthesis of hybrid poplar under drought stress and recovery. **Photosynthetica**, v. 53, n. 2, p. 250–258, jun. 2015.

LONGO, O. T. D. et al. Antioxidant Defences under Hyperoxygenic and Hyperosmotic Conditions in Leaves of Two Lines of Maize with Differential Sensitivity to Drought. **Plant and Cell Physiology**, v. 34, n. 7, p. 1023–1028, 1 out. 1993.

- MACKINNON, S. L. et al. Improved methods of analysis for betaines in *Ascophyllum nodosum* and its commercial seaweed extracts. **Journal of Applied Phycology**, v. 22, n. 4, p. 489–494, 27 nov. 2009.
- MARTINEZ, T. N.; JOHNSON, N. C. Agricultural management influences propagule densities and functioning of arbuscular mycorrhizas in low- and high-input agroecosystems in arid environments. **Applied Soil Ecology**, v. 46, n. 2, p. 300–306, out. 2010.
- MARTINS, R. **Amendoim: recuperação e recorde de produção na safra paulista 2014/2015**. Disponível em: <<http://www.iea.sp.gov.br/out/LerTexto.php?codTexto=13678>>. Acesso em: 15 fev. 2016.
- MATOS, S. E.; SIMONETI, A. P. M. .; OLIVEIRA, E. Uso de produto a base de extrato de algas na cultura do trigo IPR Catuara na região Oeste do Paraná. **Revista cultivando o saber**, n. edição especial, p. 138–147, 2015.
- MIRANDA, E. M.; JÚNIOR, O. J. S.; DA SILVA, E. M. R. Seleção de fungos micorrízicos arbusculares para o amendoim forrageiro consorciado com braquiária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 9, p. 1185–1191, 2008.
- MIRANSARI, M. Contribution of arbuscular mycorrhizal symbiosis to plant growth under different types of soil stress. **Plant Biology**, v. 12, n. 4, p. 563–569, 1 jul. 2010.
- MITTLER, R. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. **Trends in Plant Science**, v. 7, n. 9, p. 405–410, set. 2002.
- MÓGOR, Á. F. et al. APLICAÇÃO FOLIAR DE EXTRATO DE ALGA, ÁCIDO L-GLUTÂMICO E CÁLCIO EM FEIJOEIRO. **Scientia Agraria**, v. 9, n. 4, p. 431–437, 22 out. 2008.
- NETO, J. F.; COSTA, C. H.; CASTRO, G. S. Ecofisiologia do amendoim. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 11, n. 4, p. 1–13, 2012.
- NOGUEIRA, R. J. M. C. et al. Comportamento fisiológico de duas cultivares de amendoim submetidas a diferentes regimes hídricos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 33, n. 12, p. 1963–1969, 1998.
- NOGUEIRA, R.; SANTOS, R. DOS. Alterações fisiológicas no amendoim submetido ao estresse hídrico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 4, n. 1, p. 41–45, 2000.
- NOGUEIRA, R.; TÁVORA, F. J. A. F. Ecofisiologia do amendoim (*Arachis hipogaea* L.). In: **O agronegócio do amendoim no Brasil**. Campina Grande, PB: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2005. p. 16–44.
- PACHECO, A. C.; CASTRO, P. R. C. E; SOUZA, G. M. Deficiência hídrica e aplicação de ABA nas trocas gasosas e no acúmulo de flavonoides em calêndula (*Calendula officinalis* L.). **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 33, n. 2, 11 abr. 2011.

PANDEY, R. K.; HERRERA, W. A. T.; PENDLETON, J. W. Drought Response of Grain Legumes Under Irrigation Gradient: I. Yield and Yield Components1. **Agronomy Journal**, v. 76, n. 4, p. 549, 1984.

PASZT, L. S. et al. The Influence of Bioproducts on Mycorrhizal Occurrence and Diversity in the Rhizosphere of Strawberry Plants under Controlled Conditions. **Advances in Microbiology**, v. 5, n. 1, p. 40–53, 2015.

PEIXOTO, P. H. P. et al. Aluminum effects on lipid peroxidation and on the activities of enzymes of oxidative metabolism in sorghum. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 11, n. 3, p. 137–143, 1999.

PEREIRA, E. G. et al. EFEITOS DA MICORRIZA E DO SUPRIMENTO DE FÓSFORO NA ATIVIDADE ENZIMÁTICA E NA RESPOSTA DE ESPÉCIES ARBÓREAS AO NITROGÊNIO.pdf. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 8, n. 1, p. 59–65, 1996.

PEREIRA, J. W. DE L. et al. Biochemical changes in peanut genotypes submitted to moderate water stress. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, n. 4, p. 766–773, dez. 2012.

PEREIRA, M. G. et al. Interações entre fungos micorrízicos arbusculares, rizóbio e actinomicetos na rizosfera de soja. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, p. 1249–1256, 2013.

PÉREZ, M.; URCELAY, C. Differential growth response to arbuscular mycorrhizal fungi and plant density in two wild plants belonging to contrasting functional types. **Mycorrhiza**, v. 19, n. 8, p. 517–523, out. 2009.

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. 158–188, ago. 1970.

PINTO, C. M.; TÁVORA, F. J. A. F.; PINTO, O. R. O. Relações hídricas, trocas gasosas em amendoim, gergelim e mamona submetidos a ciclos de deficiência hídrica. **Agropecuária Técnica**, v. 35, n. 1, p. 31–40, 2014.

QUILAMBO, O. et al. Arbuscular Mycorrhizal Inoculation of Peanut in Low-Fertile Tropical Soil. II. Alleviation of Drought Stress. **Journal of Plant Nutrition**, v. 28, n. 9, p. 1645–1662, 1 set. 2005a.

QUILAMBO, O. A. et al. Arbuscular Mycorrhizal Inoculation of Peanut in Low-Fertile Tropical Soil. I. Host-Fungus Compatibility. **Journal of Plant Nutrition**, v. 28, n. 9, p. 1633–1644, 1 set. 2005b.

RAIJ, B. VAN et al. (EDS.). **RECOMENDAÇÕES DE ADUBAÇÃO E CALAGEM PARA O ESTADO DE SÃO PAULO**. Campinas, SP: IAC - Instituto Agronômico de Campinas, 1997. v. 1

RAO, P. S. K.; TILAK, K. V. B. R.; ARUNACHALAM, V. Genetic variation for VA mycorrhiza-dependent phosphate mobilisation in groundnut (*Arachis hypogaea* L.). **Plant and Soil**, v. 122, n. 1, p. 137–142, 1990.

- ROONEY, D. C. et al. Effect of arbuscular mycorrhizal colonisation on the growth and phosphorus nutrition of *Populus euramericana* c.v. Ghoy. **Biomass and Bioenergy**, v. 35, n. 11, p. 4605–4612, nov. 2011.
- ROSSETO, L. A.; SIMONETI, A. P. M. . Aplicação de produtos a base de algas e musgos na cultura do trigo. **Revista cultivando o saber**, v. 5, p. 149–156, 2012.
- RUIZ-LOZANO, J. M. Arbuscular mycorrhizal symbiosis and alleviation of osmotic stress. New perspectives for molecular studies. **Mycorrhiza**, v. 13, n. 6, p. 309–317, 1 dez. 2003.
- RUIZ-LOZANO, J. M.; AZCÓN, R. Hyphal contribution to water uptake in mycorrhizal plants as affected by the fungal species and water status. **Physiologia Plantarum**, v. 95, n. 3, p. 472–478, 1 mar. 1995.
- SAA, S. et al. Foliar application of microbial and plant based biostimulants increases growth and potassium uptake in almond (*Prunus dulcis* [Mill.] D. A. Webb). **Frontiers in Plant Science**, v. 6, 23 fev. 2015.
- SÁNCHEZ-DÍAZ, M. et al. Effect of water stress on photosynthetic activity in the *Medicago-Rhizobium-Glomus* symbiosis. **Plant Science**, v. 71, n. 2, p. 215–221, 1990.
- SANKAR, B. et al. Effect of paclobutrazol on water stress amelioration through antioxidants and free radical scavenging enzymes in *Arachis hypogaea* L. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, v. 60, n. 2, p. 229–235, 15 nov. 2007.
- SANNAZZARO, A. I. et al. Modulation of polyamine balance in *Lotus glaber* by salinity and arbuscular mycorrhiza. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 45, n. 1, p. 39–46, jan. 2007.
- SANTOS, R. DOS et al. Produtividade de linhagens avançadas de amendoim em condições de sequeiro no Nordeste brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 6, p. 589–593, 2010.
- SCANDALIOS, J. G. The rise of ROS. **Trends in Biochemical Sciences**, v. 27, n. 9, p. 483–486, set. 2002.
- SCANDALIOS, J. G. Oxidative stress: molecular perception and transduction of signals triggering antioxidant gene defenses. **Brazilian Journal of Medical and Biological Research = Revista Brasileira De Pesquisas Médicas E Biológicas / Sociedade Brasileira De Biofísica ... [et Al.]**, v. 38, n. 7, p. 995–1014, jul. 2005.
- SCHOLANDER, P. F. et al. Hydrostatic pressure and osmotic potential in leaves of mangroves and some other plants. **Proceedings of the National Academy Science**, v. 52, n. 1, p. 119–125, 1964.
- SHENG, M. et al. Influence of arbuscular mycorrhizae on photosynthesis and water status of maize plants under salt stress. **Mycorrhiza**, v. 18, n. 6–7, p. 287–296, set. 2008.
- SILVA, L. C.; RAO, T. V. Avaliação de métodos para estimativa de coeficientes da cultura de amendoim. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 1, p. 128–131, 2006.

SILVA, S. R. et al. Efeito do estresse hídrico sobre características de crescimento e a produção de óleo essencial de *Melaleuca alternifolia* Cheel. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 24, p. 1363–1368, 2008.

SMITH, S. E.; READ, D. J. **Mycorrhizal symbiosis**. 3. ed., Repr ed. Amsterdam: Elsevier/Acad. Press, 2009.

SOUSA, G. G. DE et al. IRRIGAÇÃO COM ÁGUA SALINA NA CULTURA DO AMENDOIM EM SOLO COM BIOFERTILIZANTE BOVINO. **Nativa**, v. 2, n. 2, p. 89–94, 26 jun. 2014.

SOUZA, L. A. DE et al. Tolerância e potencial fitorremediador de *stizolobium aterrimum* associada ao fungo micorrízico arbuscular *glomus etunicatum* em solo contaminado por chumbo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 2011.

SPANN, T. M.; LITTLE, H. A. Applications of a commercial extract of the brown seaweed *Ascophyllum nodosum* increases drought tolerance in container-grown “Hamlin” sweet orange nursery trees. **HortScience**, v. 46, n. 4, p. 577–582, 2011.

SUGAVANAM, V.; UDAIYAN, K.; MANIAN, S. Effect of fungicides on vesicular-arbuscular mycorrhizal infection and nodulation in groundnut (*Arachis hypogea* L.). **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 48, n. 3, p. 285–293, abr. 1994.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. [Castelló de la Plana]: Universitat Jaume I, 2006.

TEMPLE, W. D.; BOMKE, A. A. Effects of kelp (*Macrocystis integrifolia* and *Ecklonia maxima*) foliar applications on bean crop growth. **Plant and Soil**, v. 117, n. 1, p. 85–92, 1989.

TETENS, V. O. Über einige meteorologische Begriffe. v. 6, p. 297–309, 1930.

VAN GENUCHTEN, M. T. A Closed-form Equation for Predicting the Hydraulic Conductivity of Unsaturated Soils¹. **Soil Science Society of America Journal**, v. 44, n. 5, p. 892, 1980.

WARAICH, E. A. et al. WATER STRESS AND NITROGEN MANAGEMENT EFFECTS ON GAS EXCHANGE, WATER RELATIONS, AND WATER USE EFFICIENCY IN WHEAT. **Journal of Plant Nutrition**, v. 34, n. 12, p. 1867–1882, set. 2011.

WILSON, P. J.; THOMPSON, K.; HODGSON, J. G. Specific leaf area and leaf dry matter content as alternative predictors of plant strategies. **New Phytologist**, v. 143, n. 1, p. 155–162, 1 jul. 1999.

WU, Q.-S.; XIA, R.-X.; ZOU, Y.-N. Improved soil structure and citrus growth after inoculation with three arbuscular mycorrhizal fungi under drought stress. **European Journal of Soil Biology**, v. 44, n. 1, p. 122–128, jan. 2008.

XU, C.; LESKOVAR, D. I. Effects of *A. nodosum* seaweed extracts on spinach growth, physiology and nutrition value under drought stress. **Scientia Horticulturae**, v. 183, p. 39–47, fev. 2015.

ZEWAIL, R. M. Y. EFFECT OF SEAWEED EXTRACT AND AMINO ACIDS ON GROWTH, PRODUCTIVITY AND SOME BIOCONSTITUENTS OF COMMON BEAN (*Phaseolus vulgaris* L) PLANTS. **J. of plant Production**, v. 5, n. 8, p. 1441–1453, 2014.

ZHANG, F.-L. et al. A novel betaine aldehyde dehydrogenase gene from *Jatropha curcas*, encoding an enzyme implicated in adaptation to environmental stress. **Plant Science**, v. 174, n. 5, p. 510–518, maio 2008.

ZHANG, X.; SCHMIDT, R. E. Antioxidant Response to Hormone-Containing Product in Kentucky Bluegrass Subjected to Drought. **Crop Science**, v. 39, n. 2, p. 545, 1999.

ZHU, X. C. et al. Arbuscular mycorrhizae improves photosynthesis and water status of *Zea mays* L. under drought stress. **Plant Soil Environ**, v. 58, n. 4, p. 186–191, 2012.

ZHU, Y.-G. et al. Phosphorus (P) efficiencies and mycorrhizal responsiveness of old and modern wheat cultivars. **Plant and Soil**, v. 237, n. 2, p. 249–255, 2001.

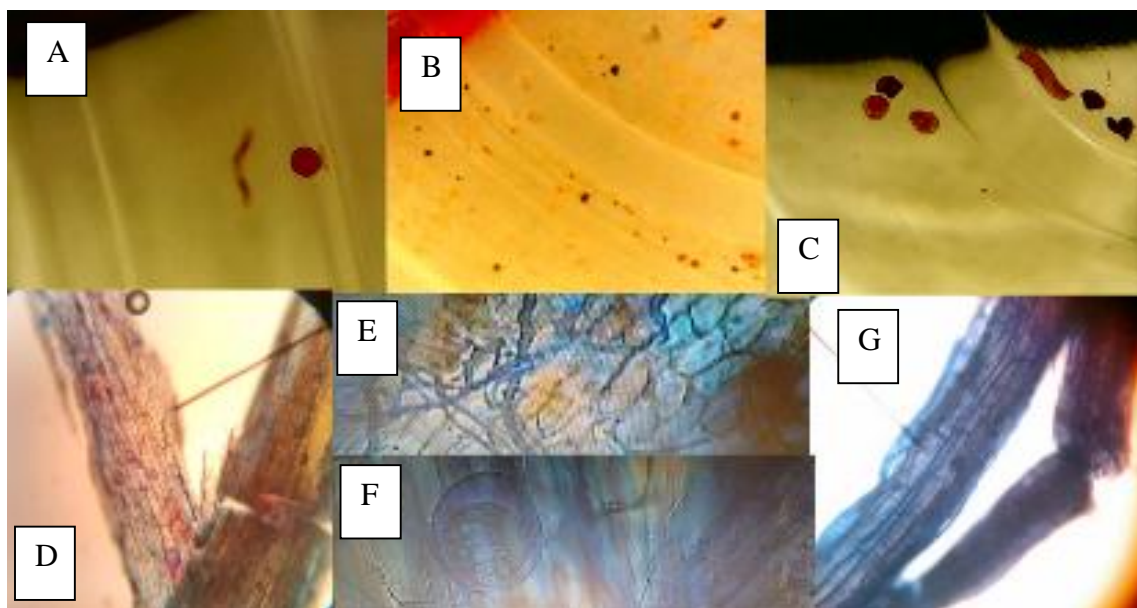
7 APÊNDICE

7.1 Manejo dos Experimentos

Apêndice 1. Dias de cultivo de amendoim cv IAC Runner e IAC Tatu ST e os períodos de amostragem. As datas representam o início e término dos períodos de cada experimento.

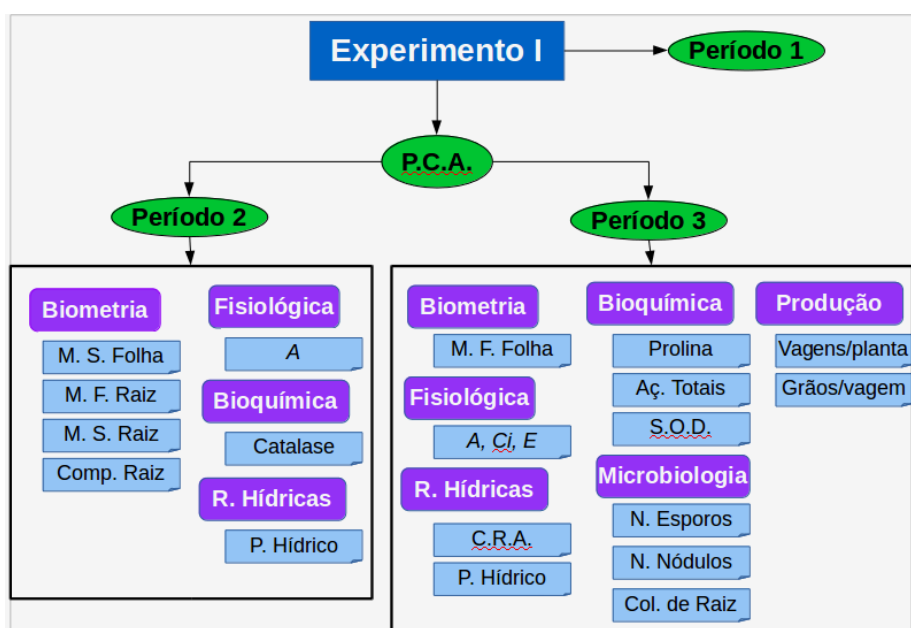
Período de amostragem	Datas	
Experimento I	22/05/2015	Semeadura
	28/05/2015	Emergência
	13/06/2015	Desbaste
Período 1	29/06/2015	Diferenciação dos tratamentos hídricos
Período 2	29/07/2015	
Período 3	27/08/2015	
	12/09/2015	Colheita
Experimento II	03/11/2015	Semeadura
	09/11/2015	Emergência
	17/11/2015	Desbaste
Período 1	01/12/2015	Diferenciação dos tratamentos hídricos
Período 2	22/12/2015	
Período 3	16/01/2016	
	26/01/2016	Colheita

7.2 Fotos:

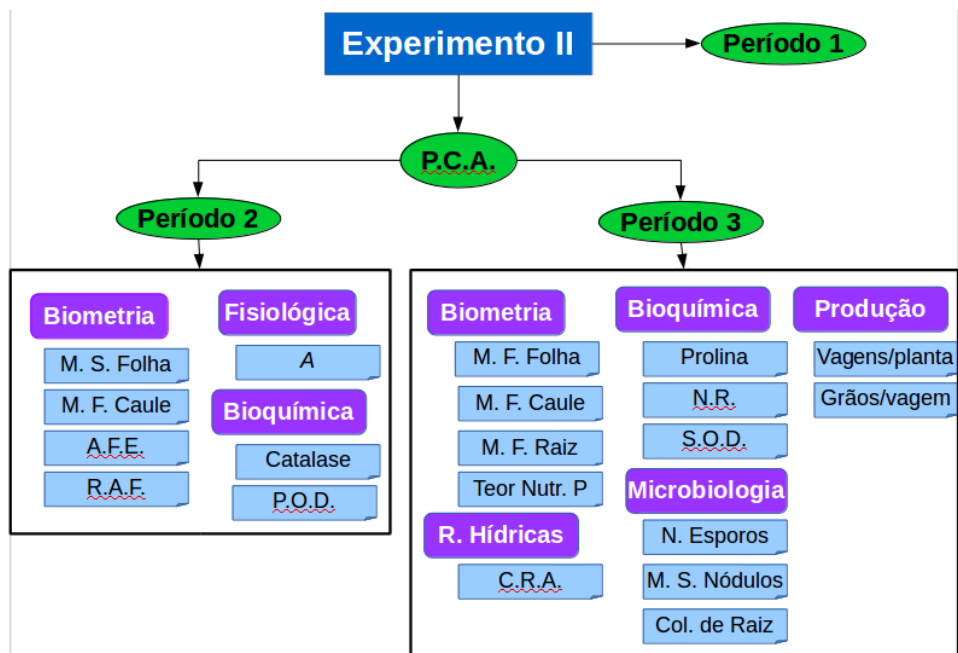


Fotos das estruturas típicas da associação micorrízica produzidas em plantas de amendoim : A, B e C: esporos; D: raiz de plantas de amendoim inoculadas com FMAs, E e G: Hifas intra radiculares e F: Vesícula.

7.3 Fluxogramas



Fluxograma do experimento I



Fluxograma do experimento II