

Rizobactérias mitigam efeitos do déficit hídrico em milho



***Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Milho e Sorgo
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento***

**BOLETIM DE PESQUISA
E DESENVOLVIMENTO
239**

**Rizobactérias mitigam efeitos do
déficit hídrico em milho**

*Caroline de Oliveira Reis
Paulo César Magalhães
Isabel Regina Prazeres de Souza
Ivanildo Evódio Marriel*

***Embrapa Milho e Sorgo
Sete Lagoas, MG
2022***

Esta publicação está disponível no endereço:
<https://www.embrapa.br/milho-e-sorgo/publicacoes>

Embrapa Milho e Sorgo
Rod. MG 424 Km 45
Caixa Postal 151
CEP 35701-970 Sete Lagoas, MG
Fone: (31) 3027-1100
Fax: (31) 3027-1188
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações
da Unidade Responsável

Presidente
Maria Marta Pastina

Secretário-Executivo
Elena Charlotte Landau

Membros
Cláudia Teixeira Guimarães, Mônica Matoso Campanha, Roberto dos Santos Trindade e Maria Cristina Dias Paes.

Revisão de texto
Antonio Claudio da Silva Barros

Normalização bibliográfica
Rosângela Lacerda de Castro (CRB 6/2749)

Tratamento das ilustrações
Márcio Augusto Pereira do Nascimento

Projeto gráfico da coleção
Carlos Eduardo Felice Barbeiro

Editoração eletrônica
Márcio Augusto Pereira do Nascimento

Foto da capa
Paulo César Magalhães

1ª edição
Publicação digital (2022): PDF

Todos os direitos reservados

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Embrapa Milho e Sorgo

Rizobactérias mitigam efeitos do déficit hídrico em milho / Caroline de Oliveira Reis et al. – Sete Lagoas : Embrapa Milho e Sorgo, 2022.

PDF (27 p.) : il. color. – (Boletim de pesquisa e desenvolvimento / Embrapa Milho e Sorgo, ISSN 1679-0154 ; 239)

1. *Zea mays*. 2. Bactéria. 3. Inoculação. 4. Deficiência hídrica. I. Reis, Caroline de Oliveira. II. Magalhães, Paulo César. III. Souza, Isabel Regina Prazeres de. IV. Marriel, Ivanildo Evódio. V. Série.

CDD (21.ed.) 633.15

Sumário

Resumo5

Abstract6

Introdução.....7

Material e Métodos9

Resultados e Discussão11

Conclusões.....21

Referências21

Rizobactérias mitigam efeitos do déficit hídrico em milho

Caroline de Oliveira Reis¹

Paulo César Magalhães²

Isabel Regina Prazeres de Souza³

Ivanildo Evódio Marriel⁴

Resumo – O objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos da inoculação e da coinoculação de *Azospirillum brasilense* e *Bacillus* spp. no desenvolvimento radicular, nas respostas fisiológicas e no desempenho produtivo de dois híbridos de milho, sob diferentes regimes hídricos. O experimento foi realizado em casa de vegetação, onde estirpes de *Azospirillum brasilense* (Azos) e mistura de estirpes de *Bacillus* spp. + *Azospirillum brasilense* foram inoculadas em dois híbridos de milho com características contrastantes a seca (DKB390 e P30F53), e expostas a dois regimes hídricos (Capacidade de Campo e Déficit Hídrico). Ao atingirem o pré-florescimento as plantas foram mantidas em déficit hídrico por 14 dias, e após este período foi analisada a morfologia do sistema radicular e foram feitas as análises ecofisiológicas: teor relativo de clorofila na folha, eficiência quântica máxima do FSII, e parâmetros de produção. Ao final do ciclo procedeu-se a avaliação dos componentes de produção. Com relação às características morfológicas da raiz, resultados opostos foram observados entre os híbridos sob déficit hídrico, em que houve aumento em todas as características avaliadas para o DKB390, quando inoculado com Azos, diferentemente do que ocorreu com o P30F53. Os inoculantes promoveram efeitos benéficos para ambos os genótipos de milho expostos à condição de déficit hídrico, com consequente aumento na produção de grãos. A coinoculação com *Azospirillum*+*Bacillus* foi responsável por promover maiores médias em todos os parâmetros avaliados para o híbrido sensível à seca (P30F53). Para o teor relativo de clorofila, quando

¹ Doutoranda em Botânica, Universidade Federal de Lavras - MG.

² Doutor Agrônomo, Pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo - MG

³ Doutora Agrônoma, Pesquisadora da Embrapa Milho e Sorgo - MG

⁴ Doutor Agrônomo, Pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo - MG

as plantas foram irrigadas durante todo seu ciclo, o inoculante *Azospirillum* conferiu os maiores valores relativos de clorofila em ambos os genótipos de milho. Na relação Fv/Fm houve inibição do fotossistema II apenas em plantas expostas ao déficit hídrico após sete dias de estresse, contudo o inoculante *Azospirillum* proporcionou maiores valores tanto para o DKB390 quanto para o P30F53. Diferentes materiais genéticos, com comportamentos divergentes à seca, se comportam também de forma diferente em relação à associação planta/bactéria.

Termos para indexação: *Zea mays* L., raiz, produção, RPCPs, bactérias

Rhizobacteria mitigate effects of water déficit in maize

Abstract – The aim of this study was to evaluate the effects of inoculation and co-inoculation of *Azospirillum brasilense* and *Bacillus* spp. on root development, physiological responses and yield performance of two maize hybrids under different water regimes. The experiment was carried out in a greenhouse, where strains of *Azospirillum brasilense* (Azos), and a mixture of strains of *Bacillus* spp. + *Azospirillum brasilense* were inoculated in two maize hybrids with contrasting to drought characteristics (DKB390 and P30F53), exposed to two water regimes (Field Capacity and Water Déficit). When they reached pre-flowering, the plants were kept in water déficit for 14 days, and after this period the morphology of the root system and the ecophysiological analyzes were performed: relative chlorophyll content in the leaf, the maximum quantum efficiency of the PSII, and the parameters of production. At the end of the cycle, the production components were evaluated. Regarding the morphological characteristics of the root, opposite results were observed among the hybrids under water déficit, in which there was an increase in all the characteristics evaluated for DKB390, when inoculated with Azos, unlike what happened with P30F53. The inoculants promoted beneficial effects for both maize genotypes exposed to water déficit conditions, with a consequent increase in grain yield. Co-inoculation with *Azospirillum*+*Bacillus* was responsible for promoting higher averages in all parameters evaluated for the drought sensitive hybrid (P30F53). For the relative chlorophyll content, when

the plants were irrigated throughout their cycle, the inoculant *Azospirillum* resulted in the highest relative chlorophyll values in both maize genotypes. For Fv/Fm ratio there was inhibition of photosystem II only in plants exposed to water deficit after seven days of stress, however the inoculant *Azospirillum* provided higher values for both DKB390 and P30F53. Different genetic materials, with divergent characteristics to drought, behave differently in relation to the plant/bacteria association.

Index terms: *Zea mays* L., root, production, RPCPs, bacteria.

Introdução

No cenário atual, as lavouras enfrentam vários tipos de estresse de natureza biótica e abiótica, sendo o déficit hídrico um dos principais estresses abióticos e um importante fator limitante para a produção agrícola por causar distúrbios no desenvolvimento das plantas e quebra de produção, levando assim a perdas econômicas e declínio da disponibilidade de alimentos. Estudos anteriores mostram que a perda de grãos induzida pela seca é responsável por mais da metade das perdas totais acarretadas por desastres naturais (Jaleel et al., 2009).

O milho é uma das culturas fundamentais no mundo todo (FAO, 2021), e é um importante alimento e de uso intenso como recurso industrial (Ribaut et al., 2009), mas a produção desse cereal pode ser limitada pela seca. Com base em dados publicados entre os anos de 1980 e 2015, a produtividade do milho sofreu redução de até 39% em escala global em razão da falta de água (Daryanto et al., 2016). Portanto encontrar estratégias de mitigação para enfrentar o impacto da escassez de água na produção de milho é de suma importância.

A raiz é o principal órgão que ancora a planta no solo e é essencial para a absorção de água e nutrientes. O desenvolvimento da raiz é altamente plástico e flexível, agindo como um sistema sensorial em um ambiente em constante mudança, ao ajustar sua morfologia e reduzindo a exposição ao estresse (Pierik; Testerink, 2014). A maioria dos estudos em seleção genética foca principalmente em melhorar as características dos tecidos acima do

solo para tolerar a esses estresses, enquanto as raízes (a 'metade oculta' da arquitetura de uma planta) ainda são uma fonte subutilizada de melhoria de cultivo (Koevoets et al., 2016).

Até o momento, o desenvolvimento de novos genótipos (Atkinson; Urwin, 2012; Bakhsh; Hussain, 2015), assim como a aplicação de produtos químicos inorgânicos e orgânicos, é a prática mais utilizada para melhorar a tolerância do milho à seca. No entanto, algumas desvantagens estão associadas a essas abordagens, uma vez que são demoradas, onerosas e trabalhosas (Atkinson; Urwin, 2012). A aplicação de microrganismos benéficos como bioinoculantes surge como uma das ferramentas biotecnológicas ambientalmente corretas e sustentáveis.

No solo rizosférico há abundância de comunidades microbianas, incluindo microrganismos benéficos que exibem traços promotores de crescimento em plantas. Esses microrganismos benéficos, ou seja, bactérias, fungos e algas, proporcionam efeitos favoráveis em plantas sob diversos estresses ambientais (Gouda et al., 2018; Tiwari; Lata, 2018). Rizobactérias promotoras de crescimento em plantas (RPCPs) colonizam raízes e levam ao aumento no seu comprimento, no número de raízes laterais, e, em determinadas plantas, nos nódulos dessas raízes, dentre outras propriedades. As RPCPs também modificam o funcionamento deste órgão e melhoram a nutrição da planta através da melhoria na absorção de água, da fixação de nitrogênio e de mecanismos de solubilização de fosfato, que aumentam o crescimento e o rendimento de várias culturas, resultando em maiores produções (Singh; Seneviratne, 2017a, 2017b).

Os microrganismos do gênero *Azospirillum* colonizam o interior e a superfície das raízes de gramíneas (Baldani et al., 1997; Huergo et al., 2008). São conhecidos pela sua capacidade de produzir fitormônios reguladores do crescimento vegetal como o ácido indol-acético (AIA), auxinas, giberelinas e citocininas, seguida de liberação para o sistema radicular das plantas colonizadas, alterando sua morfologia e fisiologia (Hartmann; Zimmer, 1994). As RPCPs como as do gênero *Bacillus*, tal qual o *Azospirillum*, são importantes para o desenvolvimento de plantas, uma vez que liberam hormônios (AIA) que modificam a morfologia radicular, aumentando sua biomassa e consequentemente oferecendo maior capacidade de exploração de água e nutrien-

tes do solo, produção de sideróforos e antagonismo contra microrganismos fitopatogênicos (Khan, 2017; Gazola et al., 2015).

As RPCPs do solo podem atuar de forma isolada ou em associações com outras RPCPs e fungos micorrízicos arbusculares vesiculares. A interação ou a combinação com diferentes organismos no solo é capaz de produzir inúmeros efeitos benéficos nas plantas (Dartora et al., 2016) por sinergia. Existem vários exemplos de coinoculação com *Azospirillum*, em diversas culturas, como a realizada com *Bradyrhizobium* em soja (Hungria et al., 2013, 2015; Chibeba et al., 2015), com *Glomus intraradices* em tomate-cereja (Lira-Saldivar et al., 2014), com *Rhizobium tropici* no feijão (Rodrigues et al., 2016; Hungria et al., 2013), e com *Paenibacillus polymyxa* em trigo (Yegorenkova et al., 2016), entre outros.

Mesmo diante dos diversos estudos abordando a coinoculação de diferentes microrganismos em plantas, poucos exploram os efeitos da inoculação contendo duas ou mais cepas de RPCPs combinadas, e a relação da interação planta-bactéria, um fator-chave por causa da influência do ambiente da rizosfera na sobrevivência e na ação das bactérias promotoras de crescimento (Zeffa et al., 2019; Marini et al., 2015). A identificação e a seleção de genótipos responsivos à inoculação são essenciais para garantir a repetibilidade e o aumento do rendimento das plantas (Martins et al., 2012). O objetivo do estudo foi avaliar os efeitos da inoculação de *Azospirillum brasilense* e da sua coinoculação com *Bacillus* spp., no desenvolvimento radicular, nos aspectos fisiológicos e no desempenho produtivo de dois híbridos de milho contrastantes quanto a tolerância à seca, sob diferentes regimes hídricos.

Material e Métodos

O experimento foi conduzido em casa de vegetação na Embrapa Milho e Sorgo, em Sete Lagoas-MG, Brasil, no ano de 2020 com coordenadas geográficas: 19°28' S, 44°15'08" W, e altitude média de 732 m. O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado (DIC), em esquema fatorial 3x2x2, consistindo em: dois inoculantes (*Azospirillum brasilense*, e mistura de estirpes de *Bacillus* + *Azospirillum brasilense*) e um controle (sem inoculante); dois híbridos de milho (DKB390 PRO 3 e P30F53 VYHR); e dois regimes hídricos (Capacidade de Campo e Déficit Hídrico). Cada tratamento

foi composto por quatro repetições, sendo a unidade experimental constituída por duas plantas por vaso.

Os inoculantes utilizados foram obtidos a partir da mistura de duas estirpes de *Azospirillum brasilense* homólogas (CMS11 e CMS1626), na proporção 1:1, e da mistura, também na proporção de 1:1, de estirpes de *Azospirillum brasilense* com estirpes de *Bacillus* spp pré-selecionadas como eficientes na produção de exopolissacarídeos in vitro, todos pertencentes à Coleção de Microrganismos Multifuncionais e Fitopatogênicos (CMMF) da Embrapa Milho e Sorgo.

As estirpes selecionadas foram cultivadas em caldo de soja tripcaseína, durante 72 horas, na temperatura de 29 °C sob agitação constante. Após esse período, as culturas de cada estirpe foram centrifugadas, ressuspensadas em solução salina (0,85% NaCl) e ajustadas para densidade ótica igual a 1,0 em absorbância a 500 nm, que equivale a aproximadamente 10^8 células viáveis por mL (Reis, 2015). A inoculação nas sementes foi realizada utilizando-se como veículo carvão vegetal moído e goma de fécula de mandioca como aderente.

Sementes de híbridos de milho DKB390 PRO3 e P30F53 VYHR, contrastantes em relação ao déficit hídrico, sendo respectivamente tolerante e sensível, foram plantadas em vasos de 20 kg, contendo Latossolo Vermelho distrófico previamente corrigido e adubado. O teor de água foi monitorado diariamente por meio de sensor de umidade (GB Leitor N1535) instalado na profundidade de 20 cm no centro dos vasos. A reposição hídrica até a Capacidade de Campo (CC) foi realizada através da irrigação, em função da curva de retenção de água do solo.

No pré-florescimento, os tratamentos hídricos foram impostos. No tratamento Capacidade de Campo (CC), o solo recebeu reposição hídrica diariamente na quantidade necessária para atingir sua CC. No Déficit Hídrico, a indução do estresse foi realizada com a aplicação diária de apenas 50% da água total necessária para atingir a CC, isto é, até que o potencial matricial no solo atingisse um valor aproximado de -100 KPa, sendo esse déficit mantido por 14 dias.

No primeiro e no sétimo dia após a imposição dos tratamentos hídricos, foram realizadas análises das características ecofisiológicas: teor relativo

de clorofila na folha (Minolta SPAD-502) e eficiência quântica máxima do Fotossistema II (Pocket Pea Chlorophyll Fluorimeter).

Após 14 dias de déficit hídrico, a irrigação de todas as plantas foi reestabelecida e mantida em nível adequado (Capacidade de Campo) até o fim do ciclo. As espigas foram colhidas e os seguintes parâmetros foram analisados: comprimento de espigas, diâmetro de espigas, número de grãos na fileira, massa da espiga e massa de grãos.

Para a análise da morfologia do sistema radicular foi utilizado o sistema de análise de imagens WinRhizo Pro 2007 acoplado a um scanner profissional (Epson Expression 10000XL) equipado com unidade de luz adicional (TPU). Os procedimentos para a obtenção das imagens foram realizados conforme descrito por Souza et al. (2012). Foram determinadas as seguintes características da raiz: comprimento total, área superficial, diâmetro médio, volume e comprimento e volume de raiz por classe de diâmetro. As raízes foram classificadas segundo três classes de diâmetro: raízes muito finas (\varnothing inferior a 0,5 mm), raízes finas ($> 0,5 \varnothing < 2,0$ mm) e raízes grossas ($\varnothing > 2,0$ mm). A definição destas classes foi baseada no critério de classificação de raízes proposto por Böhm (1979). Em seguida, a massa seca foi determinada com a secagem das raízes em estufa de circulação forçada de ar a 65 °C até essas atingirem massa constante, e posteriormente foi realizada sua pesagem.

Para análise estatística dos resultados, foi utilizada a análise de variância (ANOVA) e o teste de comparação de médias Scott-Knott, a 0,05% de significância ($P \leq 0.05$), no programa estatístico Sisvar versão 4.3.

Resultados e Discussão

Na análise das características morfológicas de raiz, sob condição de déficit hídrico, para o híbrido tolerante à seca DKB390, a inoculação com *Azospirillum* (Azos) proporcionou um acréscimo na média dos parâmetros avaliados, exceto para Diâmetro Médio de Raiz (DMR). A inoculação com *Azospirillum* + *Bacillus* (Az+Bc) proporcionou aumento apenas em Volume de Raiz (VR). Entretanto, nessa condição de estresse, o oposto foi verificado com o híbrido suscetível P30F53, em que apenas no tratamento sem inoculação (Controle) as médias foram estatisticamente superiores aos tratamentos com inoculantes. Quando cultivado sob condição ótima de irrigação

(Capacidade de Campo), o híbrido DKB390 não apresentou diferenças na morfologia de suas raízes entre controle e uso de inoculantes, exceto para a característica Massa Seca de Raiz (MSR), que na presença dos inoculantes apresentou valores maiores. Já para o híbrido P30F53, a inoculação de Az+Bc promoveu aumento nas características Comprimento Total de Raiz (CTR), Área Superficial de Raiz (ASR) e VR quando comparado aos demais tratamentos (Tabela 1).

Tabela 1. Comprimento Total de Raiz (CTR), Área Superficial de Raiz (ASR), Diâmetro Médio de Raiz (DMR), Volume de Raiz (VR) e Massa Seca de Raiz (MSR), dos híbridos de milho DKB390 e P30F53 submetidos a dois regimes hídricos (Déficit Hídrico e Capacidade de Campo) e tratados com diferentes inoculantes (Cont = Controle, Azos = *Azospirillum brasilense*, Az + Bc = Combinação entre *Azospirillum brasilense* e *Bacillus* spp.). Sete Lagoas-MG, 2020.

Déficit Hídrico									
CTR (cm)		ASR (cm ²)		DMR (mm)		VR (cm ³)		MSR (g)	
DKB390	P30F53	DKB390	P30F53	DKB390	P30F53	DKB390	P30F53	DKB390	P30F53
Cont	1806.95Bb	9857.05Aa	639.12Bb	2389.17Aa	1.36Ab	2.15Aa	123.77Bb	338.62Aa	10.74Bb
Azos	3409.20Aa	3386.17Ba	1167.30Aa	1124.72Ba	1.21Aa	1.22Ba	159.27Aa	170.37Ba	12.97Aa
Az+Bc	2345.20Bb	3979.95Ba	824.52Bb	1358.10Ba	1.21Aa	1.25Ba	146.82Aa	198.72Ba	11.21Bb
CV%	12.24	20.92		13.63		19.37		11.45	
Capacidade de Campo									
CTR (cm)		ASR (cm ²)		DMR (mm)		VR (cm ³)		MSR (g)	
DKB390	P30F53	DKB390	P30F53	DKB390	P30F53	DKB390	P30F53	DKB390	P30F53
Cont	2881.82Aa	3086.21Ba	952.70Ab	1136.84Ba	1.25Ab	1.58Aa	180.22Aa	189.29Ba	12.09Bb
Azos	2378.87Ab	3519.38Ba	993.48Aa	1103.08Ba	1.42Aa	1.30Ba	183.54Aa	205.52Ba	13.83Aa
Az+Bc	2520.85Ab	4042.89Aa	1031.12Ab	1541.52Aa	1.34Aa	1.21Ba	186.16Ab	311.13Aa	13.45Aa
CV%	13.07	9.28		10.35		8.05		7.19	

Médias seguidas por mesma letra maiúscula na vertical, ou minúscula na horizontal, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância (P>0,05).

Ao separar as raízes dos genótipos de milho em classes de diâmetro, foi possível observar como que se caracterizaram, detalhadamente, os sistemas radiculares de ambos os híbridos. O híbrido P30F53 apresentou maiores médias para todos os parâmetros radiculares avaliados, quando as plantas foram expostas à seca (Déficit Hídrico) e não inoculadas com nenhum microrganismo (Controle). Com relação ao DKB390, a inoculação com cepas de *Azospirillum* resultou em maior Comprimento de Raízes Muito Finas (CRMF) e de Raízes Finas (CRF), sob restrição hídrica (Fig. 1 A, C e E). Plantas deste mesmo genótipo cultivadas sob irrigação ótima (Capacidade de Campo) apresentaram menor desenvolvimento do Comprimento de Raízes Muito

Finas e Finas (CRMF e CRF), investindo assim em Comprimento de Raízes Grossas (CRG) (Fig. 1 B, D e F). Imagens dos sistemas radiculares podem ser observadas na Figura 2.

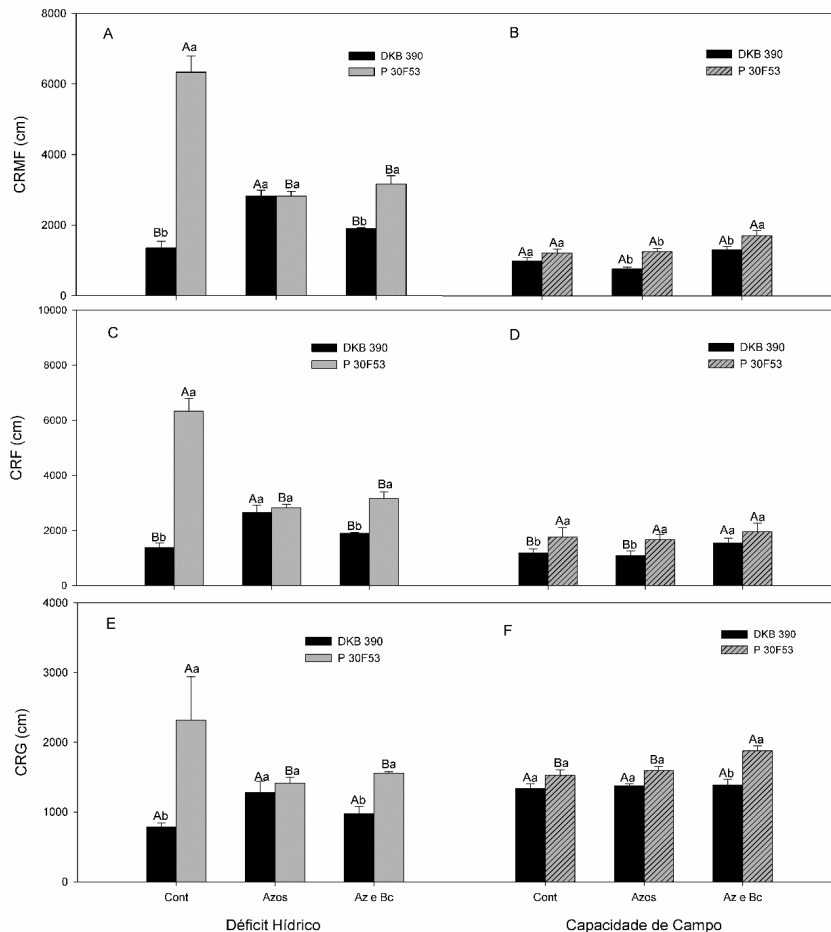


Figura 1. Comprimento de raízes de acordo com a classe de diâmetro. CRMF - Comprimento de Raízes Muito Finas, CRF - Comprimento de Raízes Finas e CRG - Comprimento de Raízes grossas, dos híbridos de milho DKB390 e P30F53, tratados com inoculantes (Cont = Controle, Azos = *Azospirillum brasilense*, Az+Bc = *Azospirillum brasilense* e *Bacillus* spp.) e submetidos a dois regimes hídricos: Déficit hídrico (A, C e E) e Capacidade de campo (B, D e F). Médias seguidas por mesma letra maiúscula não diferem entre si na comparação entre os tratamentos inoculados. Médias seguidas por mesma letra minúscula não diferem entre si para os híbridos, pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância ($P > 0,05$). Sete Lagoas-MG, 2020.

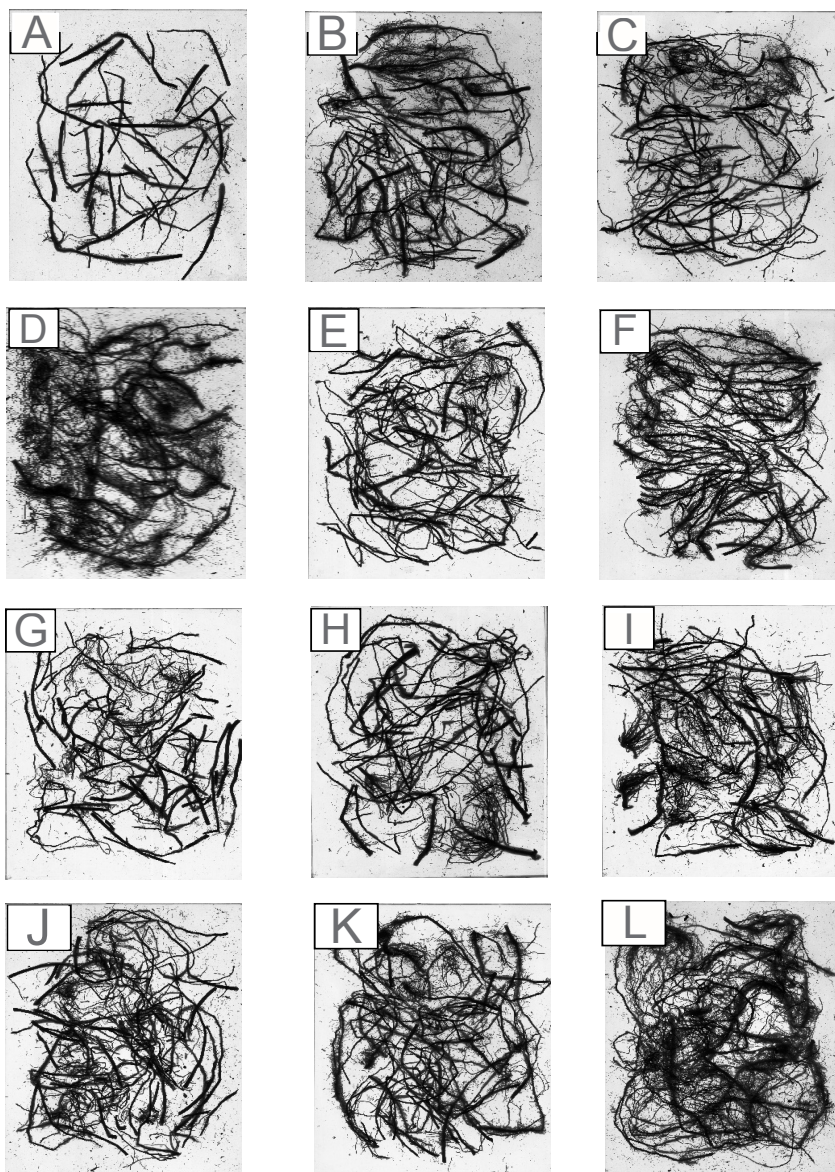


Figura 2. Sistema radicular de híbridos de milho (DKB390 e P30F53), tratados com diferentes inoculantes (Cont = Controle, Azos = *Azospirillum brasilense*, Az+Bc = *Azospirillum brasilense* e *Bacillus* spp.) e mantidos sob dois regimes hídricos (Déficit hídrico e Capacidade de campo). (A) DKB390/Controle/Déficit hídrico. (B) DKB390/Azos/Déficit hídrico. (C) DKB390/Az+Bc/Déficit hídrico. (D) P30F53/Controle/Déficit

hídrico. **(E)** P30F53/Azos/Déficit Hídrico. **(F)** P30F53/Az+Bc/Déficit hídrico. **(G)** DKB 390/Controle/Capacidade de Campo. **(H)** DKB390/Azos/Capacidade de Campo. **(I)** DKB390/Az+Bc/Capacidade de Campo. **(J)** P30F53/Controle/Capacidade de Campo. **(K)** P30F53/Azos/Capacidade de Campo. **(L)** P30F53/Az+Bc/Capacidade de Campo. Imagens digitalizadas em escâner de mesa, usando o programa Winrhizo. Sete Lagoas-MG, 2020.

Os inoculantes de uma maneira geral promoveram efeitos benéficos para ambos os genótipos de milho expostos à condição de déficit hídrico, aumentando a produção (Tabela 2). A coinoculação com Az+Bc é responsável por promover maiores médias em todos os parâmetros avaliados para o híbrido sensível à seca e para o tolerante, com exceção do CE. Quando as plantas foram mantidas sob irrigação ótima durante todo o ciclo da cultura, a inoculação com *Azospirillum* isolado (Azos) resultou em acréscimo nas médias de todos os parâmetros para o DKB390. A combinação de Az+Bc resultou em maiores Massa de Espigas (ME) e Massa de Grãos (MG) para o híbrido P30F53 (Tabela 2).

Tabela 2. Comprimento de espigas (CE), Diâmetro de espigas (DE), Número de grãos na fileira (NFG), Massa de espigas (ME), Massa de grãos (MG), de dois milhos híbrido (DKB390 e P30F53) submetidos a dois regimes hídricos (Déficit Hídrico e Capacidade de campo) e tratados com diferentes inoculantes (Cont = Controle, Azos = *Azospirillum brasilense*, Azos + Bac = Combinação entre *Azospirillum brasilense* e *Bacillus pumilus*). Sete Lagoas, MG. 2020.

Déficit Hídrico										
	CE (cm)		DE (cm)		NGF		ME (g)		MG (g)	
	DKB390	P30F53	DKB390	P30F53	DKB390	P30F53	DKB390	P30F53	DKB390	P30F53
Cont	10.75Ba	10.37Ba	45.54Aa	37.04Bb	27.50Ba	14.25Bb	135.66Aa	125.43Ba	125.17Aa	96.40Bb
Azos	12.87Aa	12.50Aa	42.51Aa	41.38Aa	26.50Ba	24.75Aa	128.94Aa	126.85Ba	113.35Ba	104.19Ba
Az+Bc	11.12Ba	11.75Aa	42.91Aa	45.07Aa	29.00Aa	26.00Aa	143.55Aa	154.04Aa	129.95Aa	139.49Aa
CV%	7.78		6.99		8.84		6.36		6.81	
Capacidade de Campo										
	CE (cm)		DE (cm)		NGF		ME (g)		MG (g)	
	DKB390	P30F53	DKB390	P30F53	DKB390	P30F53	DKB390	P30F53	DKB390	P30F53
Cont	11.12Bb	13.87Aa	46.29Ba	47.26Aa	24.25Ba	26.00Ba	115.95Ca	92.30Cb	102.20Ca	69.76Cb
Azos	13.25Aa	13.62Aa	49.10Aa	46.21Ab	27.00Aa	21.25Cb	178.92Aa	124.91Bb	155.62Aa	110.46Bb
Az+Bc	11.62Bb	12.50Ba	47.19Ba	46.31Aa	29.50Aa	30.25Aa	134.94Bb	156.64Aa	118.43Bb	136.68Aa
CV%	5.74		3.06		9.76		5.88		7.87	

Médias seguidas por mesma letra maiúscula na vertical, ou minúscula na horizontal, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância ($P>0,05$).

Em relação ao teor relativo de clorofila na folha, não houve diferença estatística para o DKB390, quando submetido ao déficit hídrico. Já para o P30F53, plantas inoculadas com Azos apresentaram maior índice SPAD no início do período de déficit hídrico (1DTH), porém esse resultado não se manteve com o avanço do estresse (Figura 3A). Quando as plantas foram cultivadas durante todo seu ciclo com irrigação, o inoculante Azos conferiu maiores valores relativos de clorofila para ambos os genótipos nos dois períodos de avaliação (Figura 3B).

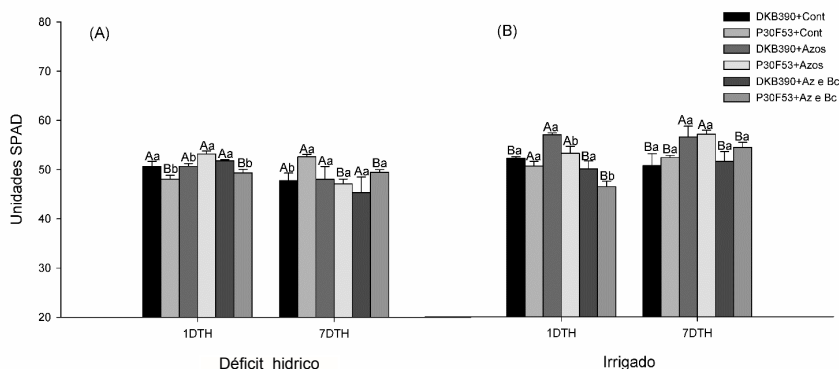


Figura 3. Teor relativo de clorofila na folha (Unidades SPAD) de dois híbridos de milho (DKB390 e P30F53), tratados com diferentes inoculantes (Cont = Controle, Azos = *Azospirillum brasilense*, Az+Bc = *Azospirillum brasilense* e *Bacillus* spp.) e mantidos sob dois regimes hídricos (Déficit Hídrico e Capacidade de Campo). Avaliação com um (1DTH) e sete dias (7DTH) de tratamento hídrico. Médias seguidas por mesma letra maiúscula para inoculante, ou minúscula para híbridos, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância ($P>0,05$). Sete Lagoas-MG, 2020.

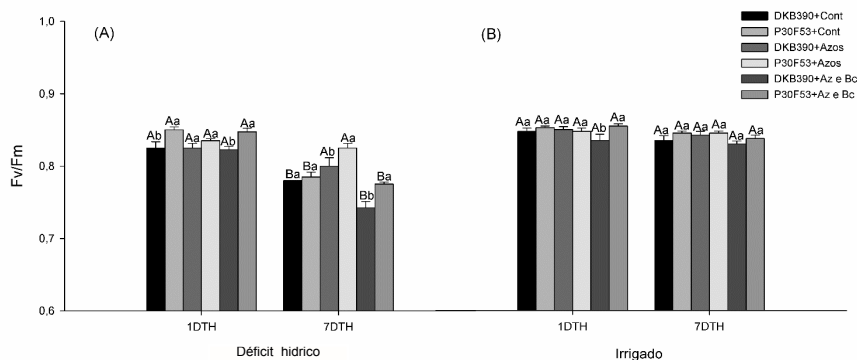


Figura 4. Eficiência quântica máxima do fotossistema II (Fv/Fm) de dois híbridos de milho (DKB390 e P30F53) tratados com diferentes inoculantes (Cont = Controle, Azos = *Azospirillum brasilense*, Az+Bc = *Azospirillum brasilense* e *Bacillus* spp.) e mantidos sob dois regimes hídricos (Déficit Hídrico e Capacidade de Campo). Avaliação com um (1DTH) e sete dias (7DTH) de tratamento hídrico. Médias seguidas por mesma letra maiúscula para inoculante, ou minúscula para híbridos, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância ($P>0,05$). Sete Lagoas-MG, 2020.

De maneira geral, considerando que valores menores que 0,75 para a relação FV/FM seriam indicativos de condições inibitórias do FSII, essa inibição ocorreu apenas em plantas expostas ao déficit hídrico após sete dias de estresse (7DTH), contudo, o inoculante Azos proporcionou maiores valores tanto para o DKB390 quanto para o P30F53 (Figura 4A). Para tratamentos cultivados sob Capacidade de Campo, não houve diferenças estatísticas entre eles (Figura 4B).

A distribuição, o comprimento e o diâmetro, bem como as propriedades do sistema radicular, determinam o acesso das plantas à água e, assim, estabelecem limites na tolerância à condição de restrição hídrica. O sistema radicular das plantas de milho é composto por raízes de diferentes diâmetros, ou seja, grossas e finas. As raízes grossas apresentam funções de ancoragem e tipicamente estabelecem a arquitetura geral do sistema radicular, controlando a profundidade e capacidade das plantas em crescer em direção às camadas mais profundas do solo. As raízes finas são a parte mais ativa do sistema radicular na absorção de água e compreendem a maior parte do comprimento e área de superfície desses sistemas radiculares (Comas et al., 2013).

O híbrido P30F53 desenvolveu um sistema radicular mais longo, com maior área superficial e volume, quando exposto ao déficit hídrico, sem nenhuma inoculação (Tabela 1). Esses resultados provavelmente estão relacionados às suas características genéticas, as quais permitem que esses sejam caracterizados como sensíveis ou tolerantes à condição de restrição hídrica, já que ao provocar a secagem superficial do solo há o estímulo para expansão das raízes, as quais se aprofundam no solo em busca de umidade (Gonçalves, 2013). Nessas condições, as plantas mais sensíveis investem no desenvolvimento do sistema radicular, aumentando o comprimento das raízes.

Situação interessante foi observada no cultivo do P30F53 sob irrigação ótima. Não havendo restrição hídrica, o sistema radicular tendeu a se desenvolver menos e apenas superficialmente, no entanto, a coinoculação com Azos+Bac aumentou o CTR, ASR e o VR deste genótipo (Tabela 1). Estudos têm demonstrado que os efeitos benéficos do *A. brasilense* nas plantas podem ser potencializados por coinoculação com outros microrganismos. Em estudo com sementes de milho coinoculadas com cianobactérias e *Azospirillum brasilense*, Gavilanes et al. (2019) determinaram que a coinoculação promove

maior desenvolvimento dos genótipos testados, principalmente em razão do seu efeito no crescimento do sistema radicular, com grande potencial para seu uso na cultura do milho.

Segundo Magalhães et al. (2014), diferente do P30F53, o genótipo DKB390 investe principalmente em mecanismos fisiológicos em nível de parte aérea para manutenção da produtividade, por minimizar a perda de água, o que diminui a dependência de investimentos na raiz para aumentar a captura de água. Neste contexto, a inoculação com cepas de *Azospirillum brasilense* melhorou CRMF e CRF deste genótipo quando exposto ao déficit hídrico (Figs. 1 A, C e E). O volume de solo explorado pelas raízes e o contato íntimo entre a superfície radicular e o solo são necessários para a absorção efetiva da água pelas raízes, sendo esse contato maximizado quando a planta emite raízes de menor diâmetro, aumentando a área superficial e a capacidade de absorção de água. De acordo com Pedreira et al. (2017), o crescimento das raízes em gramíneas inoculadas com *A. brasilense* está relacionado à produção e liberação às plantas de fitormônios como auxinas, que estimulam a diferenciação nos tecidos meristemáticos.

Assim como observado no presente estudo, em que a coinoculação de *Azospirillum* + *Bacillus* resultou no aumento do Comprimento de Espiga (CE), Diâmetro de Espiga (DE), Número de Fileiras de Grãos (NFG), ME e MG, Brum et al. (2016) relataram um efeito positivo de RPCPs nas características de rendimento e produtividade do milho, independentemente do estágio de crescimento e híbrido usado. Conforme relatado por Naseri et al. (2013), a coinoculação de duas bactérias diazotróficas (*Azotobacter* e *Azospirillum*) resultou no aumento do número de grãos de milho por fileira de espiga, possivelmente por causa da produção de compostos promotores como os fitormônios auxinas e giberelinas, da mesma forma que pode ter ocorrido, no presente estudo, com a coinoculação de Azos+Bac para ambos os híbridos (Tabela 2). Díaz-Zorita et al. (2015) evidenciaram, em diversos ensaios de campo, principalmente na América Latina e na Ásia, um aumento no rendimento de grãos em cereais em resposta à inoculação com *Azospirillum* sp. com aumento de 10,0% no rendimento de grãos.

Os resultados obtidos para o teor relativo de clorofila estão relacionados ao fato de que sob condições de restrição hídrica a diminuição dessa característica é um fenômeno comumente observado (Pirbalouti et al., 2017). A dimi-

nuição no conteúdo desse pigmento é uma consequência negativa do déficit hídrico, no entanto, tem sido considerada como uma característica adaptativa em plantas cultivadas em condições de seca. A inoculação da semente de milho com *Azospirillum* em plantas sob déficit hídrico afetou o índice de clorofila foliar, apresentando valores superiores aos encontrados no milho não inoculado (Figura 4A). Plantas cultivadas sob irrigação durante todo seu ciclo, também apresentaram maior teor relativo de clorofila na folha com a inoculação desta bactéria promotora de crescimento em plantas (BPCPs) (Figura 4B). Este resultado corrobora com aqueles descritos por (Longhini et al., 2016) que avaliaram a inter-relação planta/*Azospirillum*, e encontraram um aumento em vários pigmentos fotossintéticos. Barassi et al. (2006) relataram melhorias nos parâmetros fotossintéticos das folhas, incluindo conteúdo de clorofila e condutância estomática, com maior produção de biomassa e aumento da altura da planta em milho inoculado com *Azospirillum*.

Os efeitos do estresse hídrico e dos RPCPs na fotossíntese das plantas foram determinados avaliando-se as mudanças nos valores da relação F_v/F_m . A razão F_v/F_m é a eficiência máxima na qual a luz é absorvida pelo PSII e é usada como um indicador sensível do desempenho fotossintético da planta. Assim, uma redução nos valores deste parâmetro (menor que 0,75) indica os efeitos destrutivos do estresse no PSII e declínio na fotossíntese da planta (Yaghoubian et al., 2016). No presente estudo, o comprometimento da atividade do PSII foi induzido por estresse hídrico de longo prazo, contudo, a inoculação de *Azospirillum brasilense* melhorou a relação F_v/F_m . Esse aumento pode estar relacionado à redução do estresse foto-oxidativo. Resultados semelhantes foram relatados anteriormente em trigo (Singh; Jha, 2016), grão-de-bico (Kumar et al., 2016), milho (Rojas-Tapias et al., 2012) e milheto (Chandra et al., 2018).

A inoculação de *Azospirillum* em milho pode estimular o desenvolvimento do sistema radicular, aumentando a tolerância ao estresse hídrico, promovendo maior teor de clorofila nas folhas, maior fotossíntese e, em consequência, resultando em maior produção. Neste trabalho, assim como observado por Quadros et al. (2014), os híbridos estudados responderam de forma diferente à inoculação de *Azospirillum*, sugerindo que o genótipo da planta desempenha papel importante na colonização pelas bactérias, o que deve estar relacionado com a relação rizosfera/bactéria e, por isso, faz-se necessário o estudo de híbridos de milho que tenham boa resposta agrônômica à inoculação.

Conclusão

A inoculação e a coinoculação de estirpes de *Azospirillum brasilense* e a mistura de estirpes de *Bacillus* spp. + *Azospirillum brasilense* contribuem para o desenvolvimento e o desempenho produtivo do milho. Alguns dos mecanismos de superação do déficit hídrico propostos incluem alterações na arquitetura da raiz que resultam em melhoria da absorção de água e nutrientes, com efeitos positivos no crescimento da planta em geral. Para algumas características avaliadas, a resposta do milho à inoculação depende do híbrido testado.

Referências

ATKINSON, N. J.; URWIN, P. E. The interaction of plant biotic and abiotic stresses: from genes to the field. **Journal of Experimental Botany**, v. 63, n. 10, p. 3523-3543, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1093/jxb/ers100>.

BAKSH, A.; HUSSAIN, T. Engineering crop plants against abiotic stress: current achievements and prospects. **Emirates Journal of Food & Agriculture**, v. 27, n. 1, p. 24-39, 2015. DOI: <https://doi.org/10.9755/ejfa.v27i1.17980>.

BALDANI, J. I.; CARUSO, L.; BALDANI, V. L. D.; GOI, S. R.; DÖBEREINER, J. Recent advances in BNF with non-legume plants. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 29, n. 5/6, p. 911-922, 1997. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(96\)00218-0](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(96)00218-0).

BARASSI, C. A.; AYRAULT, G.; CREUS, C. M.; SUELDO, R. J.; SOBERO, M. T. Seed inoculation with *Azospirillum* mitigates NaCl effects on lettuce. **Scientia Horticulturae**, v. 109, n. 1, p. 8-14, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2006.02.025>.

BÖHM, W. **Methods of studying root system**. Berlin: Springer Verlag, 1979.

BRUM, M. S.; CUNHA, V. D. S.; STECCA, J. D. L.; GRANDO, L. F. T.; MARTIN, T. N. Components of corn crop yield under inoculation with *Azospirillum brasilense* using integrated crop-livestock system.

Acta Scientiarum Agronomy, v. 38, n. 4, p. 485-492, 2016.

DOI: <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v38i4.30664>.

CHANDRA, D.; SRIVASTAVA, R.; GLICK, B. R.; SHARMA, A. K. Drought-tolerant pseudomonas spp. improve the growth performance of finger millet (*Eleusine coracana* (L.) Gaertn.) under non-stressed and drought-stressed conditions. **Pedosphere**, v. 28, n. 2, p. 227-240, 2018. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(18\)60013-X](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(18)60013-X).

CHIBEBA, A. M.; GUIMARÃES, M. D. F.; BRITO, O. R.; NOGUEIRA, M. A.; ARAUJO, R. S.; HUNGRIA, M. Co-inoculation of soybean with *Bradyrhizobium* and *Azospirillum* promotes early nodulation. **American Journal of Plant Sciences**, v. 6, n. 10, p. 1641-1649, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.4236/ajps.2015.610164>.

COMAS, L. H.; BECKER, S. R.; CRUZ, V. M. V.; BYRNE, P. F.; DIERIG, D. A. Root traits contributing to plant productivity under drought. **Frontiers in Plant Science**, v. 4, p. 1-16, 2013. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2013.00442>.

DARYANTO, S.; WANG, L.; JACINTHE, P. A. Drought effects on root and tuber production: a meta-analysis. **Agricultural Water Management**, v. 176, p. 122-131, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.05.019>.

DARTORA, J.; MARINI, D.; GONÇALVES, E. D. V.; GUIMARÃES, V. F. Coinoculation of *Azospirillum brasilense* and *Herbaspirillum seropedicae* in maize. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 6, p. 545-550, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v20n6p545-550>.

DÍAZ-ZORITA, M.; CANIGIA, M. V. F.; BRAVO, O. Á.; BERGER, A.; SATORRE, E. H. Field evaluation of extensive crops inoculated with *Azospirillum* sp. In: CASSÁN, F. D.; OKON, Y.; CREUS, C. M. (ed.). **Handbook of Azospirillum**: technical issues and protocols. Heidelberg: Springer, 2015. p. 435-445.

FAO. **Faostat**. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data>. Acesso em: 27 jul. 2021.

GAVILANES, F. Z.; ANDRADE, S. S.; ZUCARELI, C.; YUNES, J. S.; AMARAL, H.; COSTA, R. M. da; RAIÁ, D.; GARCIA, M.; GUIMARÃES,

M. de F. Efecto de la inoculación con cianobacterias y coinoculación con *Azospirillum brasilense* sobre características fitométricas en maíz. **Bioagro**, v. 31, n. 3, p. 193-202, 2019.

GAZOLA, T.; DOMINGUES, M. C. C.; DIAS, M. F.; CIPOLA FILHO, M. L.; BELAPART, D.; CASTRO, E. B. de. Efeitos da inoculação de *Azospirillum brasilense* em área de pastagem. **Revista Unimar Ciências**, v. 24, p. 40-48, 2015.

GONÇALVES, J. G. R. **Identificação de linhagens de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) tolerantes à seca**. 2013. 82 p. Tese (Doutorado em Agricultura Tropical e Subtropical) - Instituto Agronômico de Campinas, Campinas, 2013.

GOUDA, S.; KERRY, R. G.; DAS, G.; PARAMITHIOTIS, S.; SHIN, H. S.; PATRA, J. K. Revitalization of plant growth promoting rhizobacteria for sustainable development in agriculture. **Microbiological Research**, v. 206, p. 131-140, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.micres.2017.08.016>.

HARTMANN, A.; ZIMMER, W. Physiology of *Azospirillum*. In: OKON, Y. (ed.). ***Azospirillum/plant associations***. Boca Raton: CRC Press, 1994. p. 15-39.

HUERGO, L. F.; MONTEIRO, R. A.; BONATTO, A. C.; RIGO, L. U.; STEFFENS, M. B. R.; CRUZ, L. M.; CHUBATSU, L. S.; SOUZA, E. M.; PEDROSA, F. O. Regulation of nitrogen fixation in *Azospirillum brasilense*. In: CASSÁN, F. D.; GARCIA DE SALAMONE, I. ***Azospirillum* sp.: cell physiology, plant interactions and agronomic research in Argentina**. Buenos Aires: Asociación Argentina de Microbiología, 2008. p. 17-35.

HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M. A.; ARAÚJO, R. S. Co-inoculation of soybeans and common beans with rhizobia and azospirilla: strategies to improve sustainability. **Biology and Fertility of Soils**, v. 49, p. 791-801, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00374-012-0771-5>.

HUNGRIA, M. A.; NOGUEIRA, M. A.; ARAUJO, R. S. Soybean seed co-inoculation with Bradyrhizobium spp. and *Azospirillum brasilense*: a new biotechnological tool to improve yield and sustainability. **American Journal of Plant Sciences**, v. 6, n. 6, p. 811-817, 2015. DOI: <https://doi.org/10.4236/ajps.2015.66087>.

JALEEL, C. A.; RIADH, K.; GOPI, R.; MANIVANNAN, P.; INES, J.; AL-JUBURI, H. J.; CHANG-XING, Z.; HONG-BO, S.; PANNEERSELVAM, R. Antioxidant defense responses: physiological plasticity in higher plants under abiotic constraints. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 31, p. 427-436, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11738-009-0275-6>.

KHAN, M. S.; ZAIDI, A.; RIZVI, A.; SAIF, S. Inoculation effects of associative plant growth promoting Rhizobacteria on the performance of legumes. In: ZAIDI, A.; KHAN, M.; MUSARRAT, J. (ed.). **Microbes for legume improvement**. Cham: Springer, 2017, p. 261-276.

KOEVOETS, I. T.; VENEMA, J. H.; ELZENGA, J. T. M.; TESTERINK, C. Roots withstanding their environment: exploiting root system architecture responses to abiotic stress to improve crop tolerance. **Frontiers in Plant Science**, v. 7, article 1335, 2016. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01335>.

KUMAR, M.; MISHRA, S.; DIXIT, V.; KUMAR, M.; AGARWAL, L.; CHAUHAN, P. S.; NAUTIYAL, C. S. Synergistic effect of *Pseudomonas putida* and *Bacillus amyloliquefaciens* ameliorates drought stress in chickpea (*Cicer arietinum* L.). **Plant Signaling & Behavior**, v. 11, n. 1, e1071004, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1080/15592324.2015.1071004>.

LIRA-SALDIVAR, R.; HERNANDEZ, A.; VALDEZ, L.; CÁRDENAS, A.; IBARRA, L.; HERNÁNDEZ, M.; RUIZ, N. *Azospirillum brasilense* and *Glomus intraradices* co-inoculation stimulates growth and yield of cherry tomato under shadehouse conditions. **Phyton-International Journal of Experimental Botany**, v. 83, n. 1, p. 133-138, 2014.

LONGHINI, V. Z.; SOUZA, W. C. R.; ANDREOTTI, M.; SOARES, N. A.; COSTA, N. R. Inoculation of diazotrophic bacteria and nitrogen fertilization in topdressing in irrigated corn. **Revista Caatinga**, v. 29, n. 2, p. 338-347, 2016.

MARINI, D.; GUIMARÃES, V. F.; DARTORA, J.; LANA, M. C.; PINTO JÚNIOR, A. S. Growth and yield of corn hybrids in response to association with *Azospirillum brasilense* and nitrogen fertilization. **Revista Ceres**, v. 62, n. 1, p. 117-123, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/0034-737X201562010015>.

MARTINS, F. A. D.; ANDRADE, A. T.; CONDÉ, A. B. T.; GODINHO, D. B.; CAIXETA, C. G.; COSTA, R. L.; POMELA, A. W. V.; SOARES, C. M. S. Avaliação de híbridos de milho inoculados com *Azospirillum brasilense*. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v. 18, n. 2, p. 103-110, 2012.

MAGALHÃES, P. C.; LAVINSKY, A. O.; AVILA, R. G.; ALVES, J. C.; MELO, M. D.; GOMES JÚNIOR, C. C.; MELO, H. F. **Caracterização do sistema radicular e dos componentes da produtividade em quatro genótipos de milho cultivados sob déficit hídrico**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2014. 25 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 111).

NASERI, R.; MOGHADAM, A.; DARABI, F.; HATAMI, A.; TAHMASEBEI, G. R. The effect of déficit irrigation and *Azotobacter chroococcum* and *Azospirillum brasilense* on grain yield, yield components of maize (SC 704) as a second cropping in western Iran. **Bulletin of Environment, Pharmacology and Life Sciences**, v. 2, p. 104-112, 2013.

PEDREIRA, B. C. E.; BARBOSA, P. L.; PEREIRA, L. E. T.; MOMBACH, M. A.; DOMICIANO, L. F.; PEREIRA, D. H.; FERREIRA, A. Tiller density and tillering on *Brachiaria brizantha* cv. Marandu pastures inoculated with *Azospirillum brasilense*. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 69, n. 4, p. 1039-1046, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1678-4162-9034>.

PIERIK, R.; TESTERINK, C. The art of being flexible: how to escape from shade, salt, and drought. **Plant Physiology**, v. 166, n. 1, p. 5-22, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1104/pp.114.239160>.

PIRBALOUTI, A. G.; MALEKPOOR, F.; SALIMI, A.; GOLPARVAR, A. Exogenous application of chitosan on biochemical and physiological characteristics, phenolic content and antioxidant activity of two species of basil (*Ocimumciliatum* and *Ocimumbasilicum*) under reduced irrigation. **Scientia Horticulturae**, v. 201, p. 114-122, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.01.031>.

QUADROS, P. D. de; ROESCH, L. F. W.; SILVA, P. R. F. da; VIEIRA, V. M.; ROEHS, D. D.; CAMARGO, F. A. de O. Desempenho agronômico a campo de híbridos de milho inoculados com

Azospirillum. **Revista Ceres**, v. 61, n. 2, p. 209-218, 2014.

DOI: <https://doi.org/10.1590/S0034-737X2014000200008>.

REIS, D. P. **Produtividade de milho e ecologia microbiana da rizosfera de plantas sob diferentes métodos de inoculação e níveis de nitrogênio**. 2015. 61 p. Dissertação (Mestrado em Bioengenharia) - Universidade Federal de São João del-Rei, São João del-Rei, 2015.

RIBAUT, J. M.; BERAN, J.; MONNEVEUX, P.; SETTER, T. Drought tolerance in maize. In: BENNETZEN, J. L.; HAKE, S. C. (ed.). **Handbook of maize: its biology**. New York: Springer Science: Business Media, 2009. p. 311-344.

RODRIGUES, R. A. F.; ARF, O.; PORTUGAL, J. R.; CORSINI, D. C. Co-inoculation of *Rhizobium tropici* and *Azospirillum brasilense* in common beans grown under two irrigation depths. **Revista Ceres**, v. 63, n. 2, p. 198-207, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/0034-737X201663020011>.

ROJAS-TAPIAS, D.; MORENO-GALVÁN, A.; PARDO-DÍAZ, S.; OBANDO, M.; RIVERA, D.; BONILLA, R. Effect of inoculation with plant growth-promoting bacteria (PGPB) on amelioration of saline stress in maize (*Zea mays*). **Applied Soil Ecology**, v. 61, p. 264-272, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apsoil.2012.01.006>.

SINGH, J. S.; SENEVIRATNE, G. (ed.). **Agro-environmental sustainability: managing environmental pollution**. Dordrecht: Springer International Publishing, 2017a. v. 2, 229 p.

SINGH, J. S.; SENEVIRATNE, G. (ed.). **Agro-environmental sustainability: managing crop health**. Dordrecht: Springer, 2017b. v. 1, 316 p.

SINGH, R. P.; JHA, P. N. The multifarious PGPR *Serratia marcescens* CDP-13 augments induced systemic resistance and enhanced salinity tolerance of wheat (*Triticum aestivum* L.). **PLoS One**, v. 11, e0155026, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0155026>.

SOUZA, T. C.; CASTRO, E. M.; MAGALHÃES, P. C.; ALVES, E. T.; PEREIRA, F. J. Early characterization of maize plants in selection cycles under soil flooding. **Plant Breeding**, v. 131, n. 4, p. 493-501, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1439-0523.2012.01973.x>.

TIWARI, S.; LATA, C. Heavy metal stress, signaling, and tolerance due to plant-associated microbes: an overview. **Frontiers in Plant Science**, v. 9, p. 1-12, 2018. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00452>.

YAGHOUBIAN, Y.; SIADAT, S.; TELAVAT, M. M.; PIRDASHTI, H. Quantify the response of purslane plant growth, photosynthesis pigments and photosystem II photochemistry to cadmium concentration gradients in the soil. **Russian Journal of Plant Physiology**, v. 63, p. 77-84, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1021443716010180>.

YEGORENKOVA, I. V.; TREGUBOVA, K. V.; BURYGIN, G. L.; MATORA, L. Y.; IGNATOV, V. V. Assessing the efficacy of co-inoculation of wheat seedlings with the associative bacteria *Paenibacillus polymyxa* 1465 and *Azospirillum brasilense* Sp245. **Canadian Journal of Microbiology**, v. 62, n. 3, p. 279-285, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1139/cjm-2015-0647>.

ZEFFA, D. M.; PERINI, L. J.; SILVA, M. B.; SOUSA, N. V. de; SCAPIM, C. A.; OLIVEIRA, A. L. M. de; AMARAL JÚNIOR, A. T. do; GONÇALVES, L. S. A. *Azospirillum brasilense* promotes increases in growth and nitrogen use efficiency of maize genotypes. **PloS ONE**, v. 14, n. 4, e0215332, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0215332>.



Milho e Sorgo



Ministério da Agricultura,
Pecuária e Abastecimento

