

Promoção de crescimento de mudas pré-brotadas
de cana-de-açúcar inoculadas com *Bacillus*
aryabhatai em diferentes frequências de irrigação



**Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Meio Ambiente
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**

**BOLETIM DE PESQUISA
E DESENVOLVIMENTO
80**

Promoção de crescimento de mudas pré-brotadas
de cana-de-açúcar inoculadas com *Bacillus
aryabhatai* em diferentes frequências de irrigação

*André May
Nilza Patrícia Ramos
Michelli de Souza dos Santos
Evandro Henrique Figueiredo Moura da Silva
Itamar Soares de Melo*

**Embrapa Meio Ambiente
Jagariúna, SP
2019**

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Meio Ambiente
Rodovia SP-340, Km 127,5, Tanquinho Velho
Caixa Postal 69, CEP: 13918-110, Jaguariúna, SP
Fone: +55 (19) 3311-2610
Fax: +55 (19) 3311-2640
www.embrapa.br/meio-ambiente/
SAC: www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações
da Embrapa Meio Ambiente

Presidente
Ana Paula Contador Packer

Secretária-Executiva
Cristina Tiemi Shoyama

Membros
*Rodrigo Mendes, Ricardo A. A. Pazianotto,
Maria Cristina Tordin, Daniel Terao, Victor Paulo
Marques Simão, Joel Leandro de Queiroga,
Vera Lucia Ferracini, Marco Antonio Gomes*

Revisão de texto
Nilce Chaves Gattaz

Normalização bibliográfica
Maria de Cléofas Faggion Alencar, CRB-8/1658

Projeto gráfico
Carlos Eduardo Felice Barbeiro

Editoração eletrônica
Silvana Cristina Teixeira

Foto da capa
Nilza Patrícia Ramos

1ª edição eletrônica (2019)

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 Meio Ambiente

May, André

Promoção de crescimento de mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar inoculadas com *Bacillus aryabhattai* em diferentes frequências de irrigação / André May, Nilza Patrícia Ramos, Michelli de Souza dos Santos, Evandro Henrique Figueiredo Moura da Silva, Itamar Soares de Melo. – Jaguariúna, SP: Embrapa Meio Ambiente, 2019.

26 p. – (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Meio Ambiente, ISSN 1516-4675, 80).

1. Cana-de-açúcar 2. Crescimento de mudas 3. *Bacillus aryabhattai* 4. Irrigação I. Ramos, Nilza Patrícia. II. Santos, Michelli de Souza dos. III. Silva, Evandro Henrique Figueiredo Moura da. IV. Melo, Itamar Soares.

CDD (21 ed.) 633.61

© Embrapa, 2019

Sumário

Resumo	5
Abstract	6
Introdução.....	7
Material e Métodos	9
Resultados e Discussão	12
Conclusões.....	23
Agradecimentos.....	23
Referências	24

Promoção de crescimento de mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar inoculadas com *Bacillus aryabhatai* em diferentes frequências de irrigação

André May¹

Nilza Patrícia Ramos²

Michelli de Souza dos Santos³

Evandro Henrique Figueiredo Moura da Silva⁴

Itamar Soares de Melo⁵

Resumo - Os microrganismos são importantes ferramentas para auxiliar as plantas cultivadas na tolerância ao déficit hídrico. O presente estudo teve por objetivo avaliar o efeito da inoculação de *Bacillus aryabhatai* no desenvolvimento inicial de mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar, em função de diferentes disponibilidades de água no solo. Os experimentos foram instalados na Embrapa Meio Ambiente em casa de vegetação. Foram estudadas as cultivares IAC SP 911099 e RB 855156. Foram avaliadas 4 frequências de irrigação, que estabeleciam voltar a capacidade de campo do solo para 100% a cada 0, 7, 14 e 21 dias após o transplante das mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar para as caixas de desenvolvimento, para dois tipos de mudas, com e sem a inoculação de *B. aryabhatai*. A inoculação de mudas pré-brotadas das cultivares de cana-de-açúcar com *B. aryabhatai* promove melhoria no desenvolvimento da parte aérea e das raízes, principalmente em condições de estresse hídrico, podendo ser considerado um ativo biológico eficiente para o estabelecimento inicial do canavial. A cultivar IAC 911099 é mais responsiva à presença da bactéria na rizosfera das plantas. A presença de *B. aryabhatai* nas raízes de cana promove uma maior eficiência na utilização da água disponível no solo.

Palavras-chaves: microrganismo, indução de resistência à seca, promotor de crescimento.

¹ Engenheiro-agrônomo, doutor em Produção Vegetal, pesquisador da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP.

² Engenheira-agrônoma, doutora em Fitotecnia, pesquisadora da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP.

³ Engenheira-agrônoma, doutora em Proteção de Plantas, Jaguariúna, SP.

⁴ Engenheiro-agrônomo, mestre em Engenharia de Sistemas Agrícolas, pesquisador da Esalq/USP, Piracicaba, SP.

⁵ Engenheiro-agrônomo, doutor em Genética e Melhoramento de Plantas, pesquisador da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP.

Growth promotion of pre-sprouted seedling of sugarcane inoculated with *Bacillus aryabhatai* in different irrigation frequencies

Abstract - Microorganisms could aid crops tolerate water stress. We aimed to evaluate the effect of inoculation of *Bacillus aryabhatai* on the initial development of sugarcane seedlings for different water availabilities in the soil. The experiments were installed at Embrapa Environment under greenhouse conditions. Two varieties of sugarcane were studied in each experiment, IAC SP 911099 and RB 855156. We evaluated fourth irrigation frequencies, which aimed at reestablishing 100% of the field capacity, we considered the intervals at 0, 7, 14 and 21 days after the transplanting of sugarcane seedlings for two types of seedlings inoculated and not inoculated from *B. aryabhatai*. The inoculation of the seedlings with *B. aryabhatai* promoted an increase in shoot and root development, especially under conditions of water stress. Thus, we consider that the inoculation with *B. aryabhatai* is an efficient biological active for the initial establishment of the cane field. The cultivar IAC 911099 was more responsive to the presence of bacteria in the rhizosphere. The presence of *B. aryabhatai* in the roots of sugarcane promoted a greater efficiency in the use of available water in the soil.

Key words: microorganism, drought resistance induction, growth promoter.

Introdução

O etanol é mundialmente conhecido como uma opção estratégica na geração de energia renovável. O setor sucroalcooleiro apresenta grande potencial produtivo desse biocombustível, sendo capaz de atrair investimentos internos e externos para o Brasil (Goldemberg, 2007). Segundo Goldemberg (2007) e Naylor et al. (2007), o interesse pelos combustíveis renováveis como o etanol, faz parte do conjunto de estratégias internacionais para a mitigação de gases de efeito estufa, tendo, portanto, uma tendência de aumento da produção para os próximos anos.

A cana-de-açúcar (*Saccharum spp*) é a principal matéria-prima da cadeia produtiva de biocombustíveis no Brasil. Segundo dados da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2018), a área plantada de cana-de-açúcar no Brasil, para a safra 2018/19, foi de mais de 10 milhões de hectares, com estimativa de produzir 35,5 milhões de toneladas de sacarose, 28 bilhões de litros de etanol anidro e 11 bilhões de litros de etanol hidratado.

O Brasil é o maior produtor de cana-de-açúcar e o maior exportador de açúcar do mundo, sendo o segundo maior produtor de etanol. O Centro-Sul do país é apontado como produtor de 90% do total da produção de cana-de-açúcar nacional (Brasil, 2017; CONAB, 2018).

A taxa de renovação de canaviais tem sido em média de 10% nas últimas safras (Carvalho et al., 2017). Uma proposta atual para a reforma de canavial ou formação de viveiros secundários em usinas sucroalcooleiras é a utilização de mudas pré-brotadas (MPB). Contudo, a técnica de multiplicação de cana (MPB) apresenta alta sensibilidade ao estresse hídrico, em função de um processo imediato de perda de água por evapotranspiração após o plantio no campo (Scanavini, 2014). Ainda segundo o autor, caso não haja água no solo ou reserva no substrato durante o período de pegamento das mudas, as plantas passarão por um processo de estresse hídrico com perdas irreversíveis e alta taxa de mortalidade em campo. Assim, a qualidade do pegamento das mudas e o desenvolvimento do sistema radicular da cana-planta podem contribuir com ganhos de produtividade do canavial.

Segundo Naser e Shani (2016), o déficit hídrico é o mais importante fator abiótico limitador da produtividade das áreas agricultáveis do mundo. Assim,

a redução do efeito da estiagem sobre o desenvolvimento das plantas pode ser realizada com o uso de novas tecnologias, como exemplo, o uso de microrganismos. Dessa forma, o presente estudo tem como hipótese que a inoculação de mudas de cana-de-açúcar com *Bacillus aryabhatai* pode auxiliar a planta a suportar o estresse hídrico nos primeiros dias após o transplante, conforme relatam possibilidades para a cultura da soja (Park et al., 2017) e da canola (Siddiquee, 2010), quando inoculadas com *Bacillus aryabhatai*.

Mirza et al. (2001) verificaram um aumento de massa seca de raízes e da parte aérea ao realizar testes *in vitro* com plântulas de cana-de-açúcar inoculadas com bactérias do gênero *Enterobacter*. Experimentos que utilizaram a inoculação de bactérias não patogênicas (*Bacillus* sp e *Azospirillum*), em condições de campo aberto ou casa-de-vegetação, mostraram aumento na produtividade de milho (Kavamura et al., (2013); Rodríguez-Salazar et al. (2009)) e de cana-de-açúcar (Santos et al., 2017). Rodríguez-Salazar et al. (2009) verificaram que 85% das plantas de milho inoculadas resistiram ao estresse hídrico, e ainda tiveram sua biomassa ampliada em 73%.

De acordo com Grover et al. (2011), os microrganismos são importantes recursos biológicos para auxiliar as plantas cultivadas na tolerância ao déficit hídrico e a condições ambientais extremas, além de ter grande capacidade de desenvolvimento em distintos habitats.

Kavamura et al. (2013) realizaram isolamento de uma bactéria do gênero *Bacillus* integrada a cactáceas do bioma da Caatinga e observaram que esse isolado é capaz de promover maior crescimento de plantas de milho, em condições de estresse hídrico. A inoculação da bactéria na rizosfera de milho proporcionou aumento de 28,2% na biomassa da raiz, quando comparado ao tratamento sem inoculação da bactéria.

Conforme relatado anteriormente, os microrganismos do solo podem influenciar a produção agrícola de diversas maneiras, incluindo a tolerância à seca. Assim, a pesquisa, nos últimos anos, testou um importante grupo de espécies de bactérias, principalmente relacionadas à rizosfera dos vegetais. Essas bactérias são denominadas rizobactérias promotoras do crescimento de plantas (RPCPs), formando um grande grupo de microrganismos benéficos ao crescimento de várias espécies vegetais, destacando-se o gênero *Bacillus* spp, conforme cita Harthmann et al. (2009).

Mena-Violante e Olalde-Portugal (2007) verificaram que isolados de *Bacillus subtilis* geraram aumento no tamanho, massa e textura dos frutos de tomate, além de maior produtividade/planta. Os autores correlacionaram esses resultados com uma provável produção de fitormônios por *Bacillus*.

Diante desse cenário, o presente estudo teve por objetivo avaliar o efeito da inoculação de *Bacillus aryabhatai* no desenvolvimento inicial de mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar, em função de diferentes disponibilidades de água no solo.

Material e métodos

Os experimentos foram instalados na Embrapa Meio Ambiente, em Jaguariúna/SP, altitude 584 m, coordenadas geográficas 22°42'20" S e 46°59'09" W, em casa-de-vegetação. Foram estudadas duas cultivares de cana-de-açúcar em cada experimento, sendo a cultivar IAC SP 911099 estudada entre os meses de janeiro a março de 2018, e a cultivar RB 855156 entre os meses de abril a maio de 2018. Foram avaliadas quatro frequências de irrigação que estabeleciam a capacidade de campo do solo para 100% a cada 0, 7, 14 e 21 dias após o transplântio das mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar para as caixas de desenvolvimento, para dois tipos de mudas, com e sem a inoculação de *Bacillus aryabhatai*.

O delineamento experimental utilizado foi de blocos inteiramente casualizados, sendo quatro frequências de irrigação (elevação da capacidade de campo para 100% a cada 0, 7, 14 e 21 dias) e dois tipos de mudas formadas (com e sem a inoculação de *Bacillus aryabhatai*), com oito repetições, cada uma contendo uma planta de cana-de-açúcar.

As mudas de cana-de-açúcar foram formadas pelo sistema de propagação de minirrebolos (mudas pré-brotadas), descrito por Landell, Campana e Figueiredo (2012), durante o período anterior ao transplântio, correspondente a 40 dias de desenvolvimento. O microrganismo estudado foi aplicado no dia do transplântio das mudas para as caixas de desenvolvimento, através de uma solução bacteriana a 10^{-8} unidades formadoras de colônia aplicada

sobre as mudas, apenas para o tratamento com a inoculação de *Bacillus aryabhatai*,

O microrganismo testado nesta pesquisa foi isolado de bactérias associadas aos cactos da região semi-árida brasileira, uma bactéria do gênero *Bacillus* (Kavamura et al., 2013). O isolado se encontra depositado na coleção de microrganismos do Laboratório de Microbiologia Ambiental (LMA) da Embrapa Meio Ambiente, sob o código CMAA 1363 (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5289679/>).

Os dados meteorológicos foram coletados na própria área experimental, por meio de uma torre com os sensores de medidas: (a) temperatura e umidade relativa do ar (HMP155, Vaisala) e (b) umidade volumétrica do solo (CS 616, Campbell Scientific). Para realizar a coleta e monitoramento dos dados captados por esses sensores utilizou-se um datalogger (CR1000, Campbell Scientific). Já a umidade do solo em cada tratamento estudado foi mensurada por medidores das condições atmosféricas HMP155 do Vaisala HUMICAP®, Logger CR 1000 e sensores de umidade de solo CS 616 (Reflectômetro de conteúdo de água do solo, <https://www.campbellsci.com.br/cs616-reflectometer>, com hastes de 40 cm), capaz de mensurar o conteúdo volumétrico, a cada hora, de 0% à saturação, gerando, como saída, uma oscilação de frequência em megahertz, por sua vez, reduzida e lida por um datalogger Campbell Scientific. Foi utilizado um sensor de umidade de solo em cada parcela estudada.

Para realizar os experimentos com a cultivar IAC SP 911099 e RB 855156, as mudas pré-brotadas foram transplantadas no dia 08.01.2018 e 02.04.2018, respectivamente, sendo realizada uma avaliação aos 60 dias após transplante. As características vegetativas avaliadas foram: altura da planta (em cm, medição da superfície do solo até a última folha completamente desenvolvida, com lígula aberta), número de folhas (da planta principal), diâmetro do colmo (em mm, da planta principal, em seu maior diâmetro), número de perfilhos, massa seca da raiz por planta (g planta^{-1}) e a massa seca da parte aérea por planta estudada (g planta^{-1}).

As plantas foram cultivadas em caixas plásticas de desenvolvimento, contendo as dimensões 1x0,6x0,6 m (comprimento x largura x altura), equivalendo a uma área superficial de 0,60 m². Em cada caixa foi adicionada uma camada de 0,2 m de material drenante (brita de 15 mm em seu diâmetro

maior), preenchida em sua altura restante com terra peneirada. O solo foi coletado em uma área não cultivada da Embrapa Meio Ambiente, em Jaguariúna/SP, classificado como um Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico, textura argilosa, com as seguintes características físico-químicas na camada de 0-20 cm: 77 g kg⁻¹ de argila; pH (H₂O) = 5,1; P = 24,2 mg dm⁻³; K⁺ = 3,6 mmolc dm⁻³; Ca²⁺ = 45,6 mmolc dm⁻³; Mg²⁺ = 22,8 mmolc dm⁻³ e matéria orgânica = 38,6 g kg⁻¹.

O solo foi calcareado com o auxílio de uma betoneira quatro meses antes da implantação do experimento visando as reações de neutralização da acidez potencial do solo. A adubação das caixas de desenvolvimento consistiu da aplicação de doses equivalentes a 40 kg de N, 150 kg de P₂O₅, e 140 kg de K₂O ha⁻¹, na forma de ureia, superfosfato simples e cloreto de sódio, respectivamente, distribuídos de maneira uniforme a 10 cm abaixo da superfície das caixas, em fundo de sulcos, no ato de enchimento com a terra peneirada e calcareada, visando simular a adubação localizada de plantio de cana-de-açúcar.

Para proceder a manutenção da capacidade de campo do solo a 100% a cada 0, 7, 14 e 21 dias as caixas foram inundadas durante 10 minutos, sendo esgotadas por dreno lateral ao final do período de inundação.

No dia do transplante das mudas pré-brotadas foi realizada, em cada experimento, a inundação das caixas plásticas, conforme metodologia anteriormente citada, em todos os tratamentos, visando estabelecer as diferentes frequências de irrigação estudadas.

Para realizar a mensuração da massa seca das raízes, a planta foi retirada do solo com cuidado para evitar perdas na massa de raízes e lavadas em água corrente, sendo, posteriormente, acondicionadas e secas em estufa de circulação forçada de ar quente à 60°C.

A análise de variância (ANOVA) dos dados gerados foi realizada no software R (R Core Team, 2018), sendo feitas regressões polinomiais para expressar o comportamento das características estudadas em função dos tratamentos aplicados.

Resultados e Discussão

Houve efeito significativo nos tratamentos estudados de todas as características avaliadas, conforme pode-se observar na tabela 1, a seguir.

Tabela 1. Resumo da análise de variância para número de folhas (NF), número de perfilhos (NP), altura da planta (Alt), diâmetro do colmo (Diam), massa seca da parte aérea da planta (MSPA) e massa seca de raiz (MSR) da planta da cultivar IAC 911099 e RB 855156, em função das frequências de irrigação avaliadas em relação a elevação da capacidade de campo a 100% a cada 0, 7, 14 e 21 dias, para os tipos de mudas pré-brotadas formadas com e sem a inoculação de *Bacillus aryabhatai*.

F (IAC911099)						
FV	NF	NP	Alt	Diam	MSPA	MSR
Tratamentos						
Blocos	22,12**	5,06**	74,77**	55,3**	43,51**	64,31**
Resíduo						
F (RB855156)						
FV	NF	NP	Alt	Diam	MSPA	MSR
Tratamentos						
Blocos	17,12**	2,76*	18,94**	10,2**	29,47**	264,8**
Resíduo						

** significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F; * significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F; ns: não significativo

A figura 1 apresenta o número de folhas e o número de perfilhos das cultivares estudadas em função da frequência de irrigação das mudas inoculadas ou não com o *Bacillus aryabhatai*.

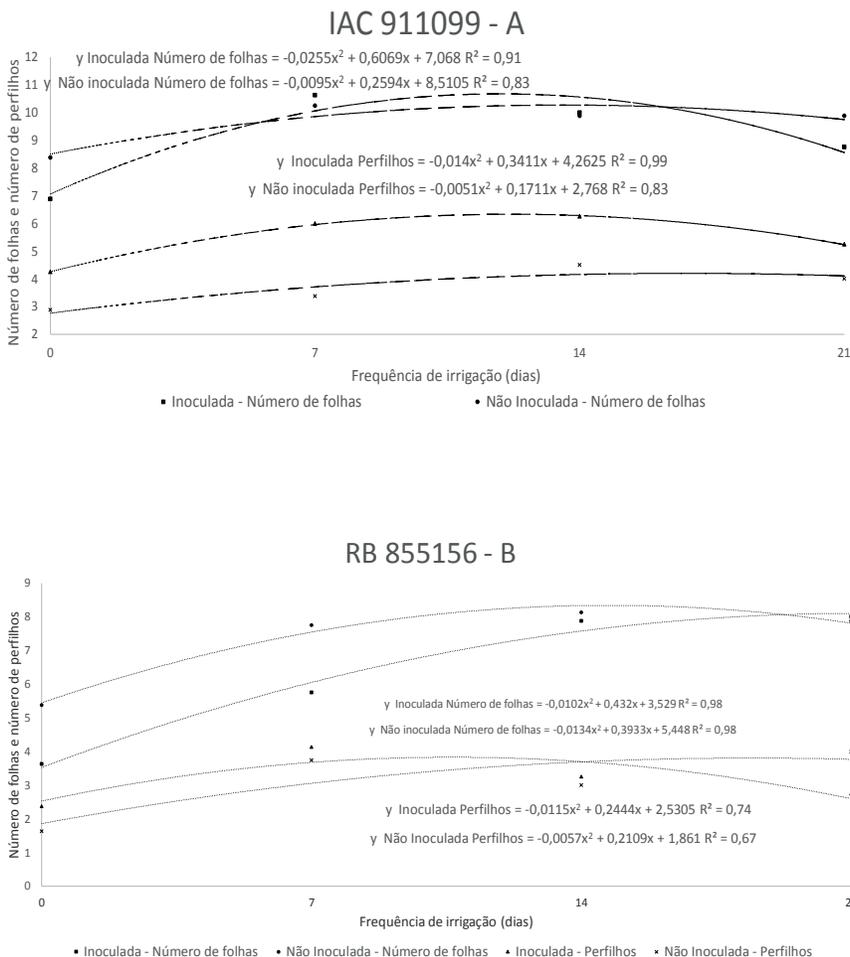


Figura 1. Número de folhas e número de perfílios da planta da cultivar IAC 911099 (A) e RB 855156 (B), em função das frequências de irrigação avaliadas com relação a elevação da capacidade de campo a 100% a cada 0, 7, 14 e 21 dias, para os tipos de mudas pré-brotadas formadas com e sem a inoculação de *Bacillus aryabhatai*.

Observa-se na Figura 1, que a inoculação das mudas pré-brotadas com *Bacillus aryabhattai* promove uma redução no crescimento vegetativo das plantas de cana-de-açúcar, resultando em queda no número de folhas, principalmente na cultivar RB 855156, mas promove o perfilhamento das plantas nas duas cultivares estudadas, com maior intensidade na cultivar IAC 911099, principalmente nas frequências de irrigação 7 e 14 dias. Houve uma ligeira estabilização ou queda do número de folhas das plantas quando submetidas ao estresse hídrico mais severo (21 dias).

A Figura 2 apresenta o comportamento da altura e do diâmetro das plantas das cultivares estudadas em função da frequência de irrigação das mudas inoculadas ou não com o *Bacillus aryabhattai*.

Com relação à cultivar IAC 911099, observa-se na Figura 2 que as regressões polinomiais das características estudadas tiveram um comportamento bastante similar entre as mudas inoculadas ou não com o *Bacillus aryabhattai*, com melhora no desempenho vegetativo nas maiores frequências de irrigação. Já na cultivar RB 855156, as plantas inoculadas com *Bacillus aryabhattai* apresentaram um ligeiro incremento na altura e no diâmetro das plantas.

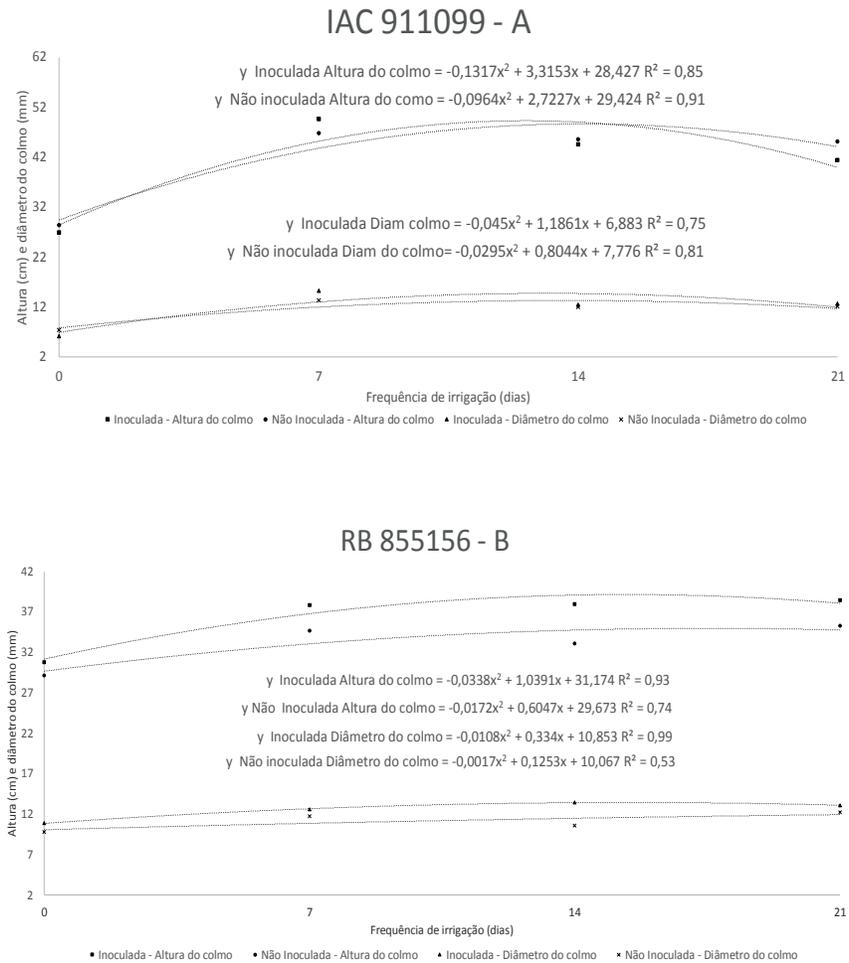
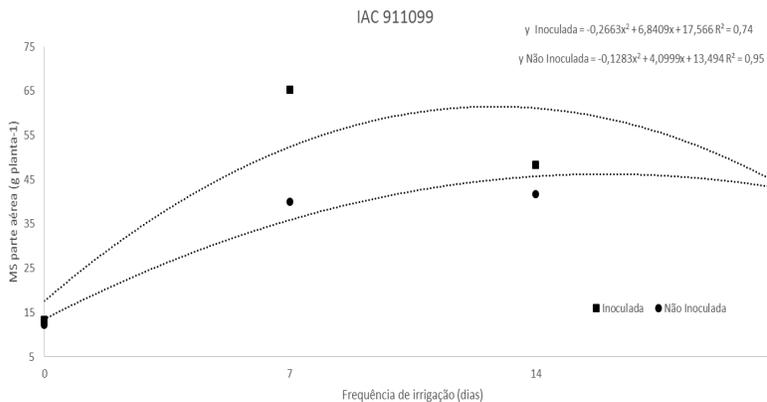


Figura 2. Altura (cm) e diâmetro do colmo (cm) da planta da cultivar IAC 911099 (A) e RB 855156 (B), em função das frequências de irrigação avaliadas de acordo com a elevação da capacidade de campo à 100% a cada 0, 7, 14 e 21 dias, para os tipos de mudas pré-brotadas formadas com e sem a inoculação de *Bacillus aryabhatai*.

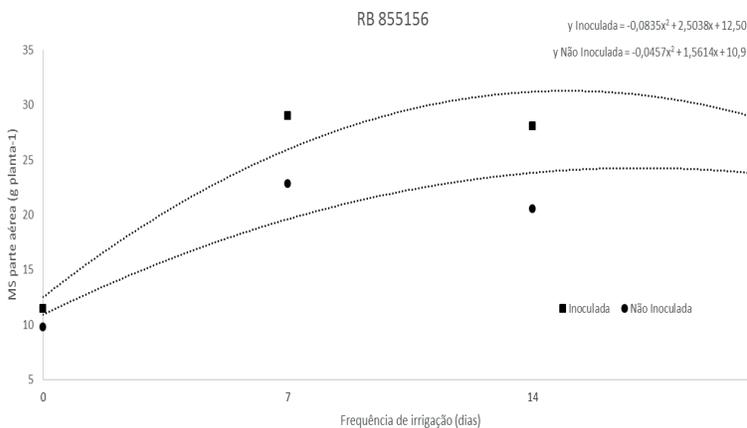
A figura 3 apresenta a massa seca da parte aérea das cultivares estudadas em função da frequência de irrigação das mudas inoculadas ou não com o *Bacillus aryabhatai*.

Assim, houve um incremento bastante importante na massa seca da parte aérea por planta avaliada nas duas cultivares estudadas, quando inoculadas com *Bacillus aryabhatai*, principalmente nas frequências de irrigação 7 e 14 dias, com queda dos valores observados da massa seca da parte aérea na menor frequência de irrigação (21 dias).

O mesmo comportamento foi observado na massa seca da raiz das plantas, principalmente a cultivar IAC 911099, que se mostrou mais responsiva à inoculação com *Bacillus aryabhatai* no ato de formação das mudas pré-brotadas, para a expressão dessa característica, sendo essa diferença mais pronunciada nas menores frequências de irrigação (21 dias). Já na cultivar RB 855156, a inoculação das plantas com *Bacillus aryabhatai* não resultou em aumento na massa seca da raiz das plantas, principalmente quando a disponibilidade hídrica do solo se mantinha em níveis mais elevados. Contudo, nessa cultivar, na irrigação realizada a cada 21 dias, as mudas inoculadas com *Bacillus aryabhatai* tiveram também maior desenvolvimento das raízes ao longo do período experimental de 60 dias, demonstrando influência da bactéria no desenvolvimento do sistema radicular em condições de estresse hídrico severo das plantas de cana-de-açúcar (Figura 4).

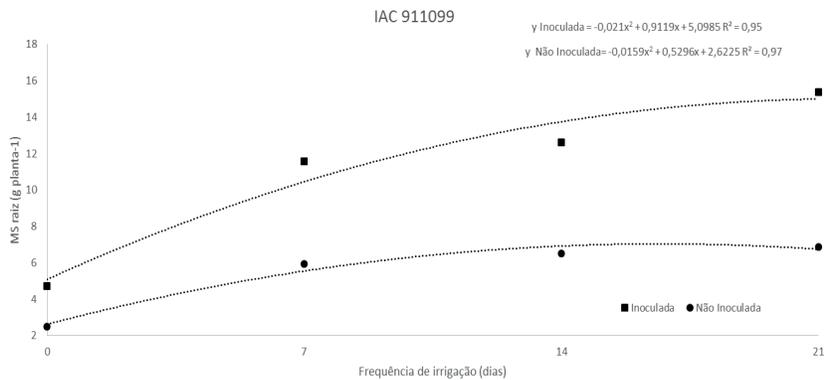


(A)

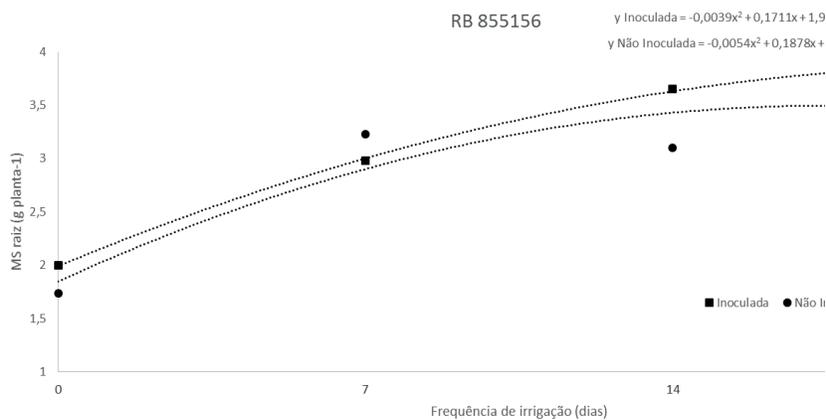


(B)

Figura 3. Massa seca da parte aérea (g planta⁻¹) da cultivar IAC 911099 (A) e RB 855156 (B), em função das frequências de irrigação avaliadas para a elevação da capacidade de campo à 100% a cada 0, 7, 14 e 21 dias, para os tipos de mudas pré-brotadas formadas com e sem a inoculação de *Bacillus aryabhatai*.



(A)



(B)

Figura 4. Massa seca da raiz (g planta⁻¹) da cultivar IAC 911099 (A) e RB 855156 (B), em função das frequências de irrigação avaliadas para a elevação da capacidade de campo a 100% a cada 0, 7, 14 e 21 dias, para os tipos de mudas pré-brotadas formadas com e sem a inoculação de *Bacillus aryabhatai*.

Tanto as plantas resultantes das mudas inoculadas como aquelas não inoculadas com *Bacillus aryabhatai* não apresentaram mortalidade nas frequências de irrigação 0, 7, 14 e 21 dias durante o período experimental de 60 dias. Além disso, na ausência de irrigação após o transplante, não houve diferença visual na taxa de murchamento das plantas inoculadas e não inoculadas, demonstrando a mesma aparência no dia da avaliação, nos tratamentos em que as plantas inoculadas ou não inoculadas com *Bacillus aryabhatai* foram submetidas a um máximo estresse hídrico.

A Figura 5 apresenta a flutuação na umidade do solo ao longo do período experimental para as duas cultivares testadas. Observa-se que, em geral, a umidade do solo é maior nas caixas cultivadas com mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar inoculadas com *Bacillus aryabhatai*, demonstrando maior eficiência no uso da água pelas plantas quando em presença da bactéria em sua rizosfera.

A Figura 6 ilustra a forma de montagem dos experimentos em caixas especialmente desenvolvidas para a pesquisa qualificada.

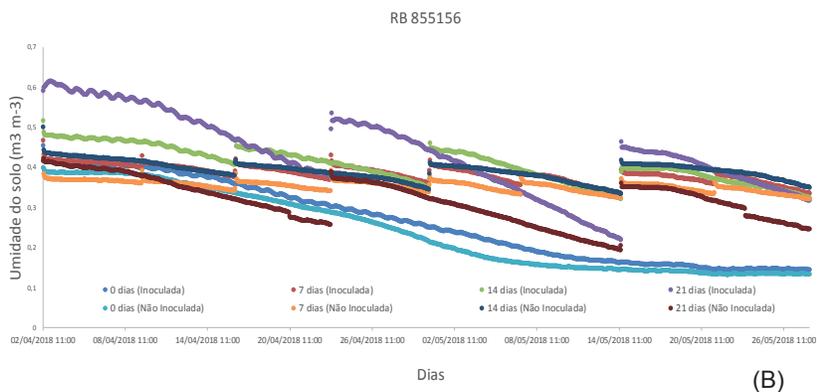
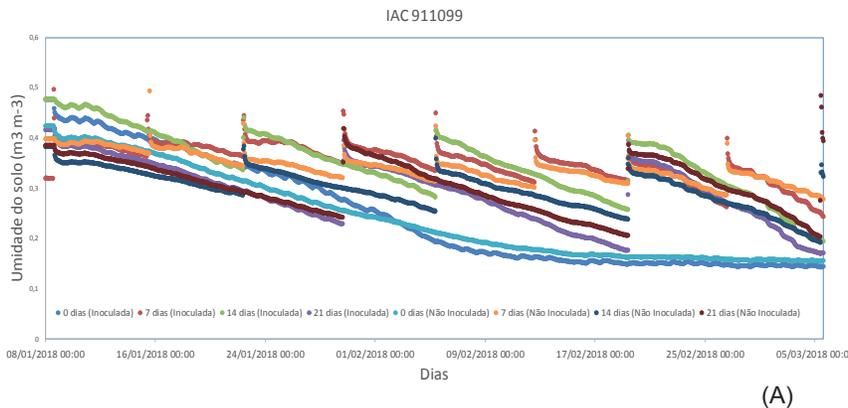


Figura 5. Flutuação da umidade do solo ($m^3 m^{-3}$) ao longo do período experimental da cultivar IAC 911099 (A) e RB 855156 (B), em função das frequências de irrigação avaliadas para a elevação da capacidade de campo a 100% a cada 0, 7, 14 e 21 dias, para os tipos de mudas pré-brotadas formadas com e sem a inoculação de *Bacillus aryabhatai*.



Figura 6. Unidade experimental: (A) caixa plástica de 1x0,6x0,6 (CxLxA); (B) caixa revestida com sombrite; (C) detalhe da disposição dos materiais na caixa - camada de pedras sobre o fundo e, na sequência a manta bedin e a tela tipo sombrite; e (D) unidade experimental finalizada com o solo.

A cultivar mais responsiva à inoculação com *Bacillus aryabhattai* no processo de formação das mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar foi a IAC 911099, principalmente no que se refere ao desenvolvimento das raízes das plantas após o transplântio. O aumento do número de perfilhos nas mudas inoculadas da cultivar IAC 911099 pode ter sido provocado por fitormônios produzidos pelo *Bacillus aryabhattai* na rizosfera das plantas de cana-de-açúcar. Santi, Bogusz e Franche (2013) relatam que algumas bactérias promotoras de crescimento são aptas na síntese de diversos fitorreguladores e beneficiam a brotação da planta. Segundo Girio et al. (2015), o hormônio etileno é, possivelmente, o responsável pela aceleração na brotação, e, conseqüentemente maior perfilhamento.

De acordo com Orhan et al. (2006), os efeitos promotores de crescimento dos isolados de *Bacillus* OSU-142 e M3 em plantas de framboesa cultivadas organicamente estimularam o crescimento das plantas e ampliaram sua produção. Segundo os autores, esses resultados decorreram da capacidade de solubilização de P pela bactéria na rizosfera das plantas, fato esse também levantado como possível por Nadeem et al. (2014).

Araújo (2008) inoculou células de *Bacillus subtilis* em sementes de milho e constatou que a inoculação da bactéria ofereceu incremento na massa seca da parte aérea do milho, provavelmente devido ao efeito da disponibilização de nutrientes proporcionada pela inoculação.

Assim, mais disponibilidade de nutrientes no sistema radicular das plantas inoculadas com *Bacillus aryabhattai* pode ter auxiliado no desenvolvimento das raízes, com conseqüente crescimento da parte aérea. Além disso, bactérias promotoras de crescimento podem alterar a arquitetura do sistema radicular, resultando em raízes mais finas, permitindo maior superfície de contato com o solo, possibilitando mais captação de água pela planta (Bhattacharjee et al., 2008), e conferindo possibilidades de mais tolerância à seca. Esta modificação é atribuída à síntese de hormônios que transformam a morfologia do sistema radicular, com o acréscimo de raízes laterais e maior número de pelos radiculares (Santi; Borgusz; Franche, 2013). Santos e Rigobelo (2016) ao inocularem as bactérias *Bacillus subtilis* e *Bacillus licheniformis* em mudas pré-

brotadas de cana-de-açúcar, também constataram aumento da massa seca das raízes dessas mudas.

Portanto, o maior desenvolvimento do sistema radicular de mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar inoculadas com *Bacillus aryabhatai* pode contribuir para melhor absorção de nutrientes e água pela planta, e mais tolerância à seca em condições adversas de cultivo.

Com relação à flutuação de umidade do solo ao longo do período experimental, pode-se verificar maior umidade no solo cultivado com as mudas inoculadas com *Bacillus aryabhatai*, provavelmente, devido ao efeito benéfico da bactéria, capaz de proporcionar à planta o uso mais eficiente da água presente no solo. Assim, as rizobactérias podem diminuir as implicações da seca no crescimento das plantas através da alteração de reações químicas e bioquímicas, no interior da planta ou na rizosfera, que modifica a fisiologia do vegetal e favorece a tolerância ao déficit hídrico (Dimkpa et al., 2009).

Conclusões

A inoculação de mudas pré-brotadas das cultivares de cana-de-açúcar IAC 911099 e RB 855156 com *Bacillus aryabhatai* promove melhoria no desenvolvimento da parte aérea e das raízes, principalmente em condições de estresse hídrico, podendo ser considerado um ativo biológico eficiente para o estabelecimento inicial do canavial. A cultivar IAC 911099 é mais responsiva à presença da bactéria na rizosfera das plantas de cana-de-açúcar.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Embrapa pelo financiamento da pesquisa realizada.

Referências

ARAÚJO, F. F. Inoculação de sementes com *Bacillus subtilis*, formulado com farinha de ostras e desenvolvimento de milho, soja e algodão. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, n. 2, p. 456-462, 2008.

BHATTACHARJEE, R. B.; AQBAL, S.; MUKHOPADHYAY, S. N. Use of nitrogen-fixing bacteria as biofertiliser for non-legumes: prospects and challenges. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 80, p. 199-209, 2008.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Produção e Agroenergia. **Tabela de comparação da produção sucroalcooleira no Brasil**. Brasília: Departamento da Cana-de-Açúcar e Agroenergia, 2017. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/assuntos/sustentabilidade/agroenergia/producao>>. Acesso em: 19 fev. 2019.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira: cana de açúcar safra 2018/2019: v.5 - safra 2018/19, n.3, terceiro levantamento, dezembro 2018: monitoramento agrícola cana-de-açúcar**. Brasília: Companhia Nacional de Abastecimento, 2018. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana/boletim-da-safra-de-cana-de-acucar>>. Acesso em: 19 fev. 2019.

CARVALHO, L. C. C.; CARVALHO, F.; CARDOSO, N.; CAMPANHÃO, J.; MARINO, E.; SITTA, C.; OLIVEIRA, D. Reavaliação da safra 2016/17 e primeira visão da safra 2017/18. **Agroanalysis**, v. 36, n. 12, p. 36-40, 2017.

DIMKPA, C.; WEINAND, T.; ASCH, F. Plant-rhizobacteria interactions alleviate abiotic stress conditions. **Plant, Cell and Environment**, v. 32, p. 1682-1694, 2009.

GIRIO, L. A. D. S.; DIAS, F. L. F.; REIS, V. M.; URQUIAGA, S.; SCHULTZ, N.; BOLONHEZI, D.; MUTTON, M. A. Plant growth-promoting bacteria and nitrogen fertilization effect on the initial growth of sugarcane from pre-sprouted seedlings. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n. 1, p. 33-43, 2015.

GOLDEMBERG, J. Ethanol for a sustainable energy future. **Science**, v. 315, n. 5813, p. 808-810, 2007.

GROVER, M.; ALI, S. Z.; SANDHYA, V.; RASUL, A.; VENKATESWARLU, B. Role of microorganisms in adaptation of agriculture crops to abiotic stresses. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 27, n. 5, p. 1231-1240, 2011.

HARTHMANN, O. E. L.; MÓGOR, A. F.; WORDELL FILHO, J. A.; LUZ, W. C.; BIASI, L. A. Tratamento de sementes com rizobactérias na produção de cebola. **Ciência Rural**, v. 39, n. 9, 2009.

KAVAMURA, V.; SANTOS, S. N.; SILVA, J. L. da.; PARMA, M. M.; AVILA, L. A.; VISCONTI, A.; ZUCCHI, T. D.; TAKETANI, R. G.; ANDREOTE, F. D.; MELO, I. S. de. Screening of Brazilian cacti rhizobacteria for plant growth promotion under drought. **Microbiological Research**, v. 168, n. 4, p. 183-191, 2013.

LANDELL, M. G. de A.; CAMPANA, M. P.; FIGUEIREDO, P. **Sistema de multiplicação de cana-de-açúcar com uso de mudas pré-brotadas (MPB), oriundas de gemas individualizadas.** Campinas: Instituto Agrônômico, 2012. 16 p. (Documentos IAC, N. 109).

MENA-VIOLANTE, H. G.; OLALDE-PORTUGAL, V. Alteration of tomato fruit quality by root inoculation with plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): *Bacillus subtilis* BEB-13bs. **Scientia Horticulturae**, v. 113, p. 103-106, 2007.

MIRZA, M. S.; AHMAD, W.; LATIF, F.; HAURAT, J.; BALLY, R.; NORMAND, P.; MALIK, K.A. Isolation, partial characterization, and effect of plant growth-promoting bacteria (PGPB) on micropropagated sugarcane in vitro. **Plant and Soil**, v. 237, p. 47-54, 2001.

NADEEM, S. M.; AHMAD, M.; ZAHIR, Z. A.; JAVAID, A.; ASHRAF, M. The role of mycorrhizae and plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) in improving crop productivity under stressful environments. **Biotechnology advances**, v. 32, n. 2, p. 429-448, 2014.

NASER, V.; SHANI, E. Auxin response under osmotic stress. **Plant molecular biology**, v. 91, n. 6, p. 661-672, 2016.

NAYLOR, R. L. et al. The ripple effect: biofuels, food security, and the environment. **Environment: Science and Policy for Sustainable Development**, v. 49, n. 9, p. 30-43, 2007.

ORHAN, E.; ESITKEN, A.; ERCISLI, S.; TURAN, M.; SAHIN, F. Effects of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on yield, growth and nutrient contents in organically growing raspberry. **Scientia Horticulturae**, v. 111, p. 38-43, 2006.

PARK, Y.-G.; MUN, B.-G.; KANG, S.-M.; HUSSAIN, A.; SHAHZAD, R.; SEO, C.-W.; KIM, A.-Y.; LEE, S.-U.; OH, K. Y.; LEE, D. Y.; LEE, I.-J.; YUN, B.-W. *Bacillus aryabhatai* srb02 tolerates oxidative and nitrosative stress and promotes the growth of soybean by modulating the production of phytohormones. **PLOS ONE**, v. 12, n. 3, p. e0173203, 2017.

R CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing.** Viena, Austria: R Foundation for Statistical Computing, 2018. Disponível em: <<https://www.R-project.org/>>. Acesso em: 15 fev. 2018.

RODRÍGUEZ-SALAZAR, J.; SUÁREZ, R.; CABALLERO-MELLADO, J.; ITURRIAGA, G. Trehalose accumulation in *Azospirillum brasilense* improves drought tolerance and biomass in maize plants. **FEMS Microbiology Letters**, v. 296, p. 52-59, 2009.

SANTI, C.; BOGUSZ, D.; FRANCHE, C. Biological nitrogen fixation in non-legume plants. **Annals of Botany**, v. 111, p. 743-767, 2013.

SANTOS, R. M. dos; RIGOBELLO, E. C. Uso de *Bacillus subtilis* e *Bacillus licheniformis* na promoção de crescimento de mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar. **Ciência e Tecnologia Fatec-JB**, v. 8, p. 1-5, n. especial, 2016.

SANTOS, M. de S. dos; STANCATTE, R. S.; FERREIRA, T.C.; DORIGHELLO, D.V.; PAZZIANOTTO, R. A. A.; MELO, I. S. de; MAY, A.; RAMOS, N. P. Resistance to water deficit during the formation of sugarcane seedlings mediated by interaction with *Bacillus* sp. **Científica**, v. 45, n. 4, p. 414-421, 2017.

SCANAVINI, J. G. V. **Estratégias de irrigação para viveiros de cana-de-açúcar com mudas provenientes de micropropagação (Biofábrica)**. 2014. 90 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP, Piracicaba.

SIDDIKEE, M. D.; CHAUHAN, P. S.; ANANDHAM, R.; HAN F.H.; SA, T. Isolation, characterization and use for plant growth promotion under salt stress, of ACC deaminase-producing halotolerant bacteria derived from coastal soil. **Journal Microbiology and Biotechnology**, v. 20, n.11, p. 1577-1584, 2010.

Embrapa

Meio Ambiente

MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA, PECUÁRIA
E ABASTECIMENTO



PÁTRIA AMADA
BRASIL
GOVERNO FEDERAL