

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP

CÂMPUS DE JABOTICABAL

**SELEÇÃO DE GENÓTIPOS DE MILHO QUANTO À
EFICIÊNCIA NO USO DE *Azospirillum brasilense***

Flávia Alves Marques da Silva

Engenheira Agrônoma

2019

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP

CÂMPUS DE JABOTICABAL

**SELEÇÃO DE GENÓTIPOS DE MILHO QUANTO À
EFICIÊNCIA NO USO DE *Azospirillum brasilense***

Flávia Alves Marques da Silva

Orientador: Prof. Dr. Gustavo Vitti Môro

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Doutor em Agronomia (Genética e Melhoramento de Plantas)

2019

S586s

Silva, Flávia Alves Marques da

Seleção de genótipos de milho quanto à eficiência no uso de *Azospirillum brasilense* / Flávia Alves Marques da Silva. -- Jaboticabal, 2019

71 p. : il., tabs.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal

Orientador: Gustavo Vitti Môro

1. Milho Variedades. 2. Plantas Melhoramento Genético. 3. *Azospirillum brasiliense*. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: SELEÇÃO DE GENÓTIPOS DE MILHO QUANTO À EFICIÊNCIA NO USO
DE *Azospirillum brasilense*

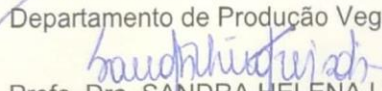
AUTORA: FLÁVIA ALVES MARQUES DA SILVA

ORIENTADOR: GUSTAVO VITTI MÔRO

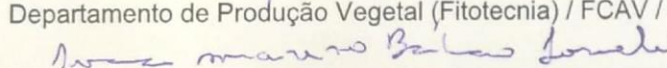
Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em AGRONOMIA
(GENÉTICA E MELHORAMENTO DE PLANTAS), pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. GUSTAVO VITTI MÔRO

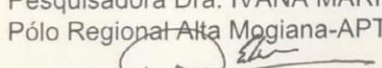
Departamento de Produção Vegetal (Fitotecnia) / FCAV / UNESP - Jaboticabal


Profa. Dra. SANDRA HELENA UNÊDA TREVISOLI

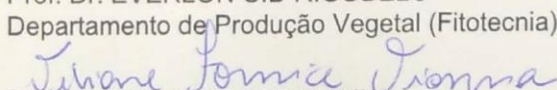
Departamento de Produção Vegetal (Fitotecnia) / FCAV / UNESP - Jaboticabal


Pesquisadora Dra. IVANA MARINO BÁRBARO TORNELI

Pólo Regional Alta Mogiana-APTA / Colina/SP


Prof. Dr. EVERLON CID RIGOBELLO

Departamento de Produção Vegetal (Fitotecnia) / FCAV - UNESP - Jaboticabal


Dra. VIVIANE FORMICE VIANNA

Bióloga Autônoma / Taquaritinga/SP

Jaboticabal, 29 de novembro de 2019

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

FLÁVIA ALVES MARQUES DA SILVA – nascida em 06 de setembro de 1990, em Ribeirão Preto-SP, é filha de Darlene Alves da Silva e Walter Marques da Silva Júnior. Ingressou no curso de Agronomia na Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias UNESP Câmpus de Jaboticabal (FCAV/UNESP), no ano de 2009. Durante a graduação participou de vários cursos complementares e congressos na área de agronomia. Estagiou no Departamento de Produção Vegetal da FCAV/UNESP na área de Fitotecnia, onde realizou trabalhos com culturas de cereais, principalmente milho e arroz, e desenvolveu o trabalho de conclusão de curso defendido no ano de 2013. Cumpriu o estágio curricular obrigatório na FMC Química do Brasil, em Piracicaba-SP, no segundo semestre de 2013, trabalhando com a cultura da cana-de-açúcar. Obteve o título de Engenheira Agrônoma em fevereiro de 2014, e no mesmo semestre atuou como auxiliar administrativo safrista para a Cargill Agrícola, na cidade de Jaboticabal-SP. Ingressou em Agosto de 2014 no curso de Pós-Graduação, nível de Mestrado, em Agronomia no programa de Genética e Melhoramento de Plantas pela Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias UNESP Câmpus de Jaboticabal (FCAV/UNESP), trabalhando na área de melhoramento clássico com a cultura do milho, sendo bolsista da CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) e tendo como orientador o Prof. Dr. Gustavo Vitti Mouro. Durante o mestrado participou de congressos, palestras e cursos na área de melhoramento de plantas. Ministrou minicursos, executou projetos de extensão e foi autora de resumos, capítulos de livros e artigos. Finalizou a dissertação em Fevereiro de 2016, obtendo o título de Mestre em Agronomia com ênfase em Genética e Melhoramento de Plantas. Paralelamente, realizou o curso a distância de MBA em Agronegócio pelo Pecege da ESALQ-USP, com duração de 2 anos e meio e obtenção do título após a defesa de monografia em 15 de dezembro de 2016. Em março de 2016, ingressou no curso de Pós-Graduação, nível de Doutorado, em Agronomia no programa de Genética e Melhoramento de Plantas pela Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias UNESP Câmpus de Jaboticabal (FCAV/UNESP), como bolsista CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) e posteriormente CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior). Sob orientação do professor Gustavo Vitti Mouro, ministrou disciplina na modalidade estágio docência supervisionado, coorientou alunos de iniciação científica e em trabalhos de conclusão de curso, participou de eventos na área de genética e melhoramento e deu continuidade aos trabalhos de melhoramento de milho, com foco em genótipos de milho eficientes no uso de *Azospirillum brasilense*.

DEDICATÓRIA

Ao meu avô, Dirceu Alves da Silva, por simplesmente tudo, mas em especial pelo sorriso que recebo toda vez que o vejo.

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela forma de amor e luz, sempre presente e guiando meu caminho.

Aos meus pais, Walter Marques da Silva Júnior e Darlene Alves da Silva, por todo amor, dedicação e encorajamento em meu caminho. Em especial a minha mãe, pela mulher incrível e inspiradora que é pra mim, pessoalmente e profissionalmente.

Aos meus avós Dirceu Alves da Silva e Eunice Amadeu Alves da Silva, e meu tio Dirceu Alves da Silva Junior, pela alegria e boas memórias que me proporcionam.

Ao meu namorado Rodrigo Julião Arab, meu maior companheiro, por todo carinho, suporte e paciência que tornam meus dias mais felizes e leves.

Aos meus amigos, pessoas incríveis que deixam um pouquinho de si comigo e que carrego em meu coração.

À equipe do NEGEMM, amigos com quem dividi meus dias na pós, polinizações e tantas boas recordações Camila, Carlos Caprio, Carlos Georgenon, Élcio, Gustavo, Lucas, Luiz, Kaue, Kevyn, Kian, Marcela, Naiara, Rodolfo e Sophia. À Elba.

Ao meu orientador, professor Gustavo Vitti Môro, pelos anos de convivência, ensinamentos e oportunidades proporcionadas para minha formação profissional.

Aos membros da banca, pela disponibilidade e valorosas contribuições.

Aos professores do programa de Genética e Melhoramento de Plantas, pelo acolhimento e conhecimento transmitido.

Aos funcionários do departamento e fazenda, pelo auxílio e colaboração.

A todos que, de alguma forma, contribuíram nessa fase da minha vida para realização desta conquista.

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001

MUITO OBRIGADA!

SUMÁRIO

RESUMO.....	iii
ABSTRACT.....	iv
CAPÍTULO 1 – Considerações Gerais	1
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	2
2.1. Aspectos econômicos da cultura do milho	2
2.2. Nitrogênio e efeitos da adubação na cultura do milho	3
2.3. <i>Azospirillum brasilense</i> e a associação com a cultura do milho	5
2.4. Melhoramento genético na cultura do milho	6
3. REFERÊNCIAS.....	8
CAPÍTULO 2 – Caracterização de genótipos de milho quanto a produtividade e eficiência no uso de <i>Azospirillum brasilense</i>	15
RESUMO.....	15
INTRODUÇÃO	16
MATERIAL E MÉTODOS	17
RESULTADOS E DISCUSSÃO	21
CONCLUSÕES	32
REFERÊNCIAS.....	33
CAPÍTULO 3 – Análise dialética de genótipos de milho eficientes no uso de <i>Azospirillum brasilense</i>	36
RESUMO.....	36
INTRODUÇÃO	37

MATERIAL E MÉTODOS	38
RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
CONCLUSÕES	52
REFERÊNCIAS.....	52
APÊNDICES	56
 Apêndice A: Informações sobre os genótipos	56

SELEÇÃO DE GENÓTIPOS DE MILHO QUANTO À EFICIÊNCIA NO USO DE *Azospirillum brasilense*

RESUMO – O uso de *Azospirillum brasilense* na agricultura vem promovendo benefícios em termos ambientais, econômicos e no desempenho de algumas culturas. Assim, o objetivo desta pesquisa, consiste em identificar e selecionar genótipos de milho eficientes no uso de *A. brasilense*. Para isso, foram avaliados 66 genótipos de milho, nos anos de 2017 e 2018, no período de segunda safra, com dois experimentos em cada ano. Os experimentos foram conduzidos de forma similar, porém com coberturas diferentes, sendo no experimento 1 aplicado nitrogênio na forma de ureia e no experimento 2 inoculação com *A. brasilense*. O delineamento experimental foi de blocos ao acaso com quatro repetições de cada tratamento e parcelas que representavam uma população de 60.000 plantas·ha⁻¹. Com a informação de ambos os experimentos, foram calculadas as eficiências no uso de *A. brasilense* para altura de planta, altura de espiga, produtividade, prolificidade e porcentagem de plantas em pé. A produtividade, do experimento com inoculação de *A. brasilense* e a eficiência no uso de *A. brasilense* para produtividade foram submetidos a uma análise de variância, um teste de comparação de médias e uma classificação por método de gráfico de quadrantes. Essas análises possibilitaram a seleção de 13 genótipos responsivos e eficientes no uso de *A. brasilense*. Por meio dos resultados, foi possível ainda validar as técnicas de seleção empregadas. As eficiências de todos os caracteres foram submetidas à análise dialélica, a qual apresentou resultados indicando tanto a presença de genes de ação aditiva como dominante entre as eficiências no uso de *A. brasilense* avaliadas. Também foi possível selecionar um parental com maior concentração de alelos favoráveis para mais de uma eficiência, e quatro cruzamentos, com boa complementariedade para mais de uma eficiência e presença de pelo menos um parental com alta concentração de alelos favoráveis. A pesquisa contribuiu para o avanço de programas de melhoramento de milho voltados ao uso de *Azospirillum brasilense*, tanto como fonte de germoplasmas quanto em relação eficácia dos métodos de caracterização e seleção de genótipos.

Palavras-chave: análise dialélica, bactérias diazotróficas, produtividade, *Zea mays* L.

SELECTION OF MAIZE GENOTYPES FOR USE EFFICIENCY OF *Azospirillum* *brasilense*

ABSTRACT – The use of *Azospirillum brasilense* in agriculture has been promoting environmental, economic and performance benefits of some crops. Thus, the aim of this research is to identify and select maize genotypes use efficient for *A. brasilense*. To do this, 66 maize genotypes were evaluated in 2017 and 2018 during the second season, with two experiments each year. The experiments were conducted in a similar way, but with different top-dressing, being applied in experiment 1 nitrogen in the form of urea and in experiment 2 inoculation with *A. brasilense*. The experimental design was randomized block design with four replications of each treatment and plot representing a population of 60.000 plants·ha⁻¹. With the information from both experiments were calculated the use efficiency of *A. brasilense* for plant height, ear height, yield, prolificacy and percentage of standing plants. The yield of the *A. brasilense* inoculation experiment and the use efficiency of *A. brasilense* for yield were submitted to a variance analysis, a mean comparison test and a quadrant plot method of classification. The result of these analyzes allowed the selection of thirteen responsive and use efficient genotypes for *A. brasilense*. Through the results, it was also possible to validate the selection techniques employed. The efficiencies of all characters were submitted to diallel analysis, which showed results indicating the presence of both, additive and dominant, action genes among the evaluated efficiencies. It was also possible to select one parent with higher concentration of favorable alleles for more than one efficiency, and four crosses with good complementarity, for more than one efficiency, and the presence of at least one parent with high concentration of favorable alleles. The research contributed to the advancement of maize breeding programs aimed at the use of *Azospirillum brasilense*, such as a source of germplasm as in relation to the efficacy of genotype characterization and selection methods.

Keywords: diallel analysis, diazotrophic bacteria, yield, *Zea mays* L.

CAPÍTULO 1 – Considerações Gerais

1. INTRODUÇÃO

Atender a demanda mundial por alimentos passou a ser um desafio ainda maior diante do cenário de crescimento populacional e alterações climáticas no planeta (Watson et al. 2018). Com expectativas de atingir o número de 9,6 bilhões de habitantes no ano de 2050 o aumento da produção em campo deve ser de 50% para suprir a necessidade por produtos agrícolas (Alexandratos e Bruinsma, 2012). No entanto, a intensificação da agricultura ao longo das últimas décadas gerou grandes impactos ao meio ambiente (Müller et al. 2017). Assim, a elevação da produção deve estar atrelada a práticas de conservação ambiental, a fim de preservar os recursos naturais.

Para alcançar tais objetivos, é ideal o desenvolvimento de genótipos cada vez mais produtivos e eficientes na utilização de insumos, o que é possível de obter pelo melhoramento genético de plantas. Dentre as principais culturas agrícolas, os trabalhos com milho assumem grande importância, por ser o cereal de maior produção mundial e apresentar amplo consumo (Ladha et al. 2016). Por ano, cerca de um bilhão de toneladas de grão de milho são produzidos mundialmente (FAO 2019). O incremento da produção de grãos se deve em boa parte pelo uso de fertilizantes nitrogenados, porém, grande parte do nitrogênio aplicado não é absorvida pelas plantas, sendo perdida de forma a contaminar o meio ambiente (Bowles et al. 2018).

Bactérias do gênero *Azospirillum*, usadas como inoculantes em gramíneas, vêm contribuindo para um aumento no rendimento de grãos, com redução das doses de fertilizantes nitrogenados, gerando menos impacto na agricultura. Diversos estudos relatam os benefícios de *Azospirillum* em milho (Galindo et al. 2019, Oliveira et al. 2018, Oliveira et al. 2017, Müller et al. 2016, Costa et al. 2015, Hungria et al. 2010). Em seu trabalho, Zeffa et al. (2018) constataram por meio da metanálise, aumento médio da produtividade de $1 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ com inoculação de *Azospirillum* e sem qualquer cobertura com adubo de fonte nitrogenada. Os mesmos autores não

observaram vantagens ao combinar inoculação do *Azospirillum* e aplicação de nitrogênio em cobertura. Apesar das boas performances encontradas com a associação de *Azospirillum brasilense* e milho, os resultados obtidos não são constantes, variando de acordo com os genótipos, condições ambientais, práticas de manejo e condução do campo (Revolti et al. 2018). Adicionalmente, são reportadas diferenças na resposta de genótipos de milho com a inoculação de *A. brasilense* (Bartchechen et al. 2010; Bashan e de-Bashan, 2010).

Diante do exposto, o presente trabalho teve por objetivo identificar e selecionar genótipos eficientes e responsivos no uso de *Azospirillum brasilense* em milho.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Aspectos econômicos da cultura do milho

Os três cereais base da alimentação humana são milho, arroz e trigo, os quais podem ser consumidos diretamente ou indiretamente por meio de produtos de origem pecuária (Ladha et al. 2016, Zhang et al. 2016). Dentre estes, o cereal que detém maior produção mundial é o milho, com valores próximos a um bilhão de toneladas de grãos sendo produzidos anualmente. Segundo dados da FAO (2019), referentes à colheita de 2018, o ranking dos principais países produtores de milho é composto por Estados Unidos, com 370 milhões de toneladas, China, com 259 milhões de toneladas e Brasil, 97 milhões de toneladas.

Devido à posição geográfica e condições climáticas do Brasil, é possível cultivar o milho em dois períodos por ano, conhecidos como primeira e segunda safra (Andrea et al. 2018). Para alguns estados das regiões norte e nordeste do país a terceira safra vem se concretizando, mas ainda com baixa expressividade, produzindo cerca de 1,5 milhões de toneladas (CONAB 2019). O milho segunda safra é, entre os cultivos, o de maior área semeada e maior produção de grãos, quase três vezes o total de grãos produzidos no milho de primeira safra. A média brasileira de produtividade de grãos de milho total, na safra 2018/19, foi próxima de

5 t·ha⁻¹, muito aquém do potencial da cultura, que pode extrapolar facilmente a média americana de 11 t·ha⁻¹ (FAO 2019).

Os principais fatores relacionados à baixa produtividade de grãos em relação ao seu potencial são a escolha inadequada de genótipos para o local de cultivo, déficit hídrico e disponibilidade de nitrogênio (Andrea et al. 2018). Segundo Lobell et al. (2009), alterações no manejo produzem efeitos de forma rápida e eficaz no aumento da produtividade.

2.2. Nitrogênio e efeitos da adubação na cultura do milho

O nitrogênio (N) é o elemento de maior participação na composição da atmosfera, na forma de dinitrogênio (N₂), representa 80% de sua constituição (Fowler et al. 2015). Apesar de abundante, o nitrogênio atmosférico está indisponível para a assimilação por plantas, as quais metabolizam as formas iônicas de nitrato (NO₃⁻) e amônio (NH₄⁺) (Taiz e Zeiger 2013). Em seu trabalho, Ho e Tsay (2010) descrevem o predomínio de nitrato nos solos com condições aeróbicas, enquanto que solos anaeróbicos apresentam maior concentração de amônio, condição essa explicada pela nitrificação. No entanto, nitrato e amônio compõem apenas 5% do nitrogênio total do solo, o restante se encontra na forma de matéria orgânica, não sendo acessíveis às plantas (Ladha et al. 2016, Siqueira Neto et al. 2010). Devido às baixas concentrações de nitrogênio naturalmente disponível para as plantas, a adubação nitrogenada se faz necessária, sendo esta a técnica de manejo de maior impacto na produtividade agrícola (Okumura et al. 2011).

O nitrogênio é exigido em grande quantidade pelas culturas, atuando como fator limitante no aumento da produtividade de grãos de milho (Fornasier Filho, 2007). Esse nutriente tem papel fundamental no desenvolvimento das plantas e estruturação de tecidos vegetais, possibilitando em condições ótimas de fornecimento a expressão do máximo potencial produtivo da cultura (Yu-kui et al. 2009, Revolti et al. 2018). O nitrogênio atua tanto na parte aérea como radicular das plantas, pelos processos de fotossíntese, respiração, absorção iônica de nutriente, multiplicação, diferenciação celular e herança genética (Taiz e Zeiger 2013). Nos tecidos vegetais, aparece como elemento constituinte da clorofila, aminoácidos e, conseqüentemente, proteínas. O nitrogênio compõe cerca de 6% das proteínas, as

quais atuam na produção de fitomassa e são necessárias na formação dos grãos, fator que relaciona o nitrogênio com a produtividade do milho (Ladha et al. 2016, Gava et al. 2010).

Um dos principais fertilizantes nitrogenados consumidos no mundo é a ureia, representando 60% do mercado brasileiro, esse insumo tem em sua composição 46% de nitrogênio (IPNI 2017). A ureia, em presença de água, é hidrolisada a amônio (NH_4^+), o qual pode ser absorvido diretamente ou na forma de produtos obtidos da nitrificação como o nitrato (NO_3^-). Em trabalhos com aplicação de ureia em híbridos de milho, foram constatados aumentos na produtividade para doses superiores a $150 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de N em cobertura (Li et al. 2017, Cancellier et al. 2016, Frazão et al. 2014). Em estudos com variedades de milho, foram obtidas produtividades de grãos próximas a $6 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$, com ureia em cobertura em doses em torno de $50 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de N (Caprio 2017, Modesto et al. 2017). Contudo, um dos principais processos de causa de perda de nitrogênio é a volatilização da ureia, pois quando aplicada e não incorporada, a ureia é convertida à forma amoniacal (NH_3) e perdida para a atmosfera (Crusciol et al. 2019).

Em escala global, 60% de todo o fertilizante nitrogenado produzido é destinado ao cultivo das principais espécies cereais, sendo a prática da adubação o fator de maior incremento no custo da produção (Galindo et al. 2019; Revolti et al. 2018). A fração de fertilizantes nitrogenados destinados à cultura do milho vem elevando sua produtividade, no entanto, do total aplicado, boa parte é perdida, gerando não apenas grandes prejuízos econômicos como ambientais (Bowles et al. 2018, Qiao et al. 2015). O problema é agravado pelo uso excessivo e manejo incorreto dos fertilizantes (Fowler et al. 2015, Wu et al. 2011). As perdas acarretam em contaminação do meio ambiente, e as principais formas são por emissão de gases poluentes volatilizados e contaminação de lençóis freáticos e mananciais devido à lixiviação e eutrofização (Galindo et al. 2019, Cancellier et al. 2016, Lasagna et al. 2016, Yu-kui et al. 2009). Assim, é grande a necessidade de traçar estratégias que garantam o aumento ou a manutenção da produção, com redução de impactos ambientais e diminuição do custo de produção.

2.3. *Azospirillum brasilense* e a associação com a cultura do milho

O processo de fixação biológica de nitrogênio (FBN) é realizado por bactérias de solo capazes de converter o nitrogênio atmosférico em formas assimiladas pelas plantas (Galindo et al. 2019, Oliveira et al. 2017). Os compostos nitrogenados gerados pelas bactérias são fornecidos via associação com as plantas ou liberados pela decomposição dos microrganismos no solo (Caprio 2017). Este mecanismo consegue ser eficiente ao ponto de suprir praticamente toda a necessidade de nitrogênio da cultura em campo (Müller et al 2016). O termo bactérias diazotróficas engloba diversos gêneros capazes de realizar a FBN, como é o caso do gênero *Azospirillum*.

Trabalhos pioneiros da brasileira Johanna Döbereiner possibilitaram o entendimento do gênero *Azospirillum* e sua interação com as gramíneas (Hungria et al. 2010). Em seu trabalho, Hall e Krieg (1984) descreveram as bactérias do gênero *Azospirillum* como gram-negativas, aeróbicas, no formato de bastonetes, uniflagelados, com movimento de característica vibratória e padrão flagelar misto. Apesar do potencial para fixar o nitrogênio atmosférico, outro mecanismo elucidado melhor os benefícios proporcionados pela associação com *Azospirillum*. Bactérias pertencentes a este grupo possuem a habilidade de produzir fitohormônios, como auxina, citocinina e giberelina, capazes de promover alterações morfológicas e fisiológicas principalmente nas raízes, ampliando a absorção de água e nutrientes (Müller et al. 2016). Atualmente, vinte espécies já foram descritas, entre as quais *Azospirillum brasilense* é uma das mais estudadas, detendo um grande número de pesquisas desenvolvidas com milho (Fukami et al. 2018).

O *Azospirillum brasilense* é capaz de promover maior desenvolvimento radicular no milho, melhorando o aproveitamento de água e nutrientes, ainda em fase germinativa (Pereira et al. 2015). Apesar das diferentes condições experimentais, diversos trabalhos relatam incrementos de produtividade de grãos de milho sob inoculação de *A. brasilense* (Galindo et al. 2019, Zeffa et al. 2018, Caprio 2017, Oliveira et al. 2017, Müller et al. 2016, Hungria et al. 2010,). Outros autores procuram esclarecer o modo de ação no controle de caracteres e as heranças envolvidas com a inoculação de *A. brasilense* (Vidotti et al. 2019, Buzinaro et al. 2018, Koltun et al. 2018). Avanços na área de marcadores moleculares foram

obtidos por Brusamarello-Santos et al. (2017), ao relacionar diferentes quantidades de metabolitos produzidos com a identificação da ocorrência de interação com bactérias diazotróficas. A resposta da comunidade microbiana do solo é estruturada nos moldes das interações entre bactéria, cultura do milho e presença de fertilizantes nitrogenados (Zhu et al. 2016).

Existem divergências entre os resultados da proposta de combinação de inoculação de *A. brasilense* com aplicação de nitrogênio. Para Coelho et al. (2017) não da para assegurar bons resultados da inoculação de *A. brasilense* com total remoção da adubação nitrogenada. Resultados positivos para os componentes de produção foram observados ao combinar doses parciais de nitrogênio com o inoculante (Garcia et al. 2017, Oliveira et al. 2017). Já em seu trabalho, Zeffa et al (2018) relatam não só a falta de benefícios ao conciliar as práticas de inoculação e aplicação de fertilizante nitrogenado, como também a influência negativa deste no desempenho das bactérias. Essa inconsistência dos resultados é devido à complexidade da associação, a qual depende de fatores como material genético das plantas, interação com a bactéria, condições edafoclimáticas e a combinação de demais técnicas de manejo em campo (Revolti et al. 2018). Diante destas variáveis, a performance das plantas pode ser bastante afetada, e assim, optar pelo uso de genótipos eficientes no uso de *A. brasilense* é uma alternativa interessante na validação da prática de inoculação.

2.4. Melhoramento genético na cultura do milho

Programas de melhoramento genético de plantas têm por principal objetivo lançar cultivares que atendam as necessidades do mercado (Hallauer 2011). Esse processo, na cultura do milho, pode ser resumido em três etapas, iniciando com a geração de variabilidade genética da população, seguida da seleção e avaliação de potenciais genótipos e terminando com a liberação de cultivares no mercado (Cancellier et al. 2016). Geneticamente, o milho é uma espécie alógama com ampla variabilidade em seu germoplasma, a qual deve ser explorada pelos programas de melhoramento, visto que a existência da variabilidade genética é considerada pré-requisito na seleção de genótipos superiores (Zhang et al. 2016).

Nesse sentido, trabalhar com germoplasmas compostos por variedades sintéticas permite intensificar o aproveitamento da variabilidade, em decorrência da heterogeneidade genética destes materiais (Semagn et al. 2014). Sintéticos podem ser obtidos com o cruzamento de diversas linhagens, o que configura uma elevada variabilidade entre e dentro destes, viabilizando sua utilização em programa de melhoramento populacional (Marquez-Sanchez e Sahagun-Castellanos 2002). Esta etapa do programa consiste principalmente em avançar gerações para reduzir a quantidade de alelos deletérios da população base, por meio de sucessivas autofecundações e recombinações (Watson et al. 2018, Vencovsky et al. 2012). A partir deste ponto, os genótipos selecionados dão origem às linhagens endogâmicas utilizadas para produção de híbridos, com a conversão da endogamia em vigor híbrido conforme descrito por Shull (1910).

A avaliação dos parentais, sejam variedades sintéticas na produção de linhagens ou linhagens para obtenção de híbridos, pode ser realizada pela análise dialélica, com a interpretação das capacidades de combinação (Gholizadeh et al. 2018). Existem dois tipos de capacidades de combinação, a geral e a específica (Colombo et al. 2018, Aslan et al. 2017, Vencovsky et al. 2012, Griffing 1956). A capacidade geral de combinação (CGC) esta relacionada ao desempenho médio do parental *per se* em um conjunto de cruzamentos, indicando a quantidade de alelos favoráveis presente neste. Já a capacidade específica de combinação (CEC) classifica os parentais de acordo com cada cruzamento individualizado, identificando as combinações com melhor complementariedade. Com a análise dialélica, é possível ainda, identificar o tipo de ação gênica envolvido na expressão dos caracteres avaliados (Vidotti et al. 2019). Existe uma relação entre a CGC e os efeitos aditivos na expressão do caráter e da CEC com os efeitos não aditivos, dominantes e epistáticos (Buzinaro et al. 2018). Uma seleção adequada dos parentais é considerada a chave para o sucesso de um programa de melhoramento de plantas. Dentre os caracteres analisados a produtividade é o mais relevantes, contudo outros fatores devem ser considerados, a fim de desenvolver genótipos que respondam bem em condições de ambientes extremos (Annor et al. 2019, Makumbi et al. 2011).

Uma das vertentes trabalhadas no melhoramento vegetal é a obtenção de genótipos eficientes a determinados recursos. Eficiência pode ser definida como manutenção ou aumento de produção com menor disponibilidade de recursos (Good et al. 2004). Em seu trabalho, Maia et al. (2011) descrevem a eficiência como sendo a razão entre produção pela unidade de recursos disponíveis, a qual é incrementada ao melhorar a capacidade de absorção dos genótipos e a capacidade de produzir usando os recursos absorvidos. Wu et al. (2011), relatam melhor precisão na seleção de genótipos eficientes ao considerar fórmulas de eficiência voltadas para baixa concentração de recurso em alternativa à fórmula de eficiência agrônômica. No que se refere à eficiência no uso de *Azospirillum brasilense*, são constatadas reduções da ação bacteriana em ambientes com aumento da concentração de fertilizantes nitrogenados (Zeffa et al. 2018). Nesse sentido, o trabalho de Buzinaro et al. (2018) identificou genótipos com eficiência no uso de *A. brasilense*, os quais diferiram dos genótipos eficientes no uso de fertilizantes nitrogenados químicos.

3. REFERÊNCIAS

Alexandratos N, Bruinsma J (2012) **World Agriculture Towards 2030/2050: The 2012 Revision**. Rome: FAO, 154 p.

Andrea MCDS, Boote KJ, Sentelhas PC, Romanelli TL (2018) Variability and limitations of maize production in Brazil: potential yield, water-limited yield and yield gaps. **Agricultural Systems** 165:264-273.

Annor B, Badu-Apraku B, Nyadanu D, Akromah R, Fakorede MA (2019) Testcross performance and combining ability of early maturing maize inbreds under multiple-stress environments. **Scientific Reports**, 9:1-11.

Aslam M, Sohail Q, Maqbool MA, Ahmad S, Shahzad R (2017) Combining ability analysis for yield traits in diallel crosses of maize. **Journal of Animal and Plant Sciences**, 27:136-143.

Bartchechen A, Fiori CCL, Watanabe SH, Guarido RC (2010) Efeito da inoculação de *Azospirillum brasilense* na produtividade da cultura do milho (*Zea mays* L.). **Campo Digital**, 5:56-59.

Bashan Y, De-Bashan LE (2010) How the plant growth-promoting bacterium *Azospirillum* promotes plant growth – a critical assessment. **Advances in Agronomy**, 108:77–136.

Bowles TM, Atallah SS, Campbell EE, Gaudin AC, Wieder WR, Grandy AS (2018) Addressing agricultural nitrogen losses in a changing climate. **Nature Sustainability**, 1:399-408.

Brusamarello-Santos LC, Gilard F, Brulé L, Quilleré I, Gourion B, Ratet P, De Souza EM, LEA J, Hirel B (2017) Metabolic profiling of two maize (*Zea mays* L.) inbred lines inoculated with the nitrogen fixing plant- interacting bacteria *Herbaspirillum seropedicae* and *Azospirillum brasilense*. **PloS One** 12:1-19.

Buzinaro R, Oliveira GHFD, Amaral CBD, Souza Junior CLD, Moro GV (2018) Diallel mixed-model analyses to select superior maize parental lines for *Azospirillum brasilense* and nitrogen-use efficiency. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, 18:382-389.

Cancellier EL, Silva DRG, Faquin V, Gonçalves BDA, Cancellier LL, Spehar CR (2016) Ammonia volatilization from enhanced-efficiency urea on no-till maize in brazilian cerrado with improved soil fertility. **Ciência e Agrotecnologia**, 40:133-144.

Caprio CH (2017) **Interação de variedades de milho sob inoculação com *Azospirillum brasilense* em diferentes épocas de semeadura**. 45 f. **Dissertação** (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Unesp, Jaboticabal.

Coelho AE Tochetto C, Turek TL, Michelon LH, Fioreze SL (2017) Inoculação de sementes com *Azospirillum brasilense* em plantas de milho submetidas à restrição hídrica. **Scientia Agraria Paranaensis** 16:186-192.

Colombo GA, Vaz-De-Melo A, De Souza AS, Silva JGC (2018) Capacidade combinatória de híbridos de milho para eficiência e resposta ao uso do fósforo uso do fósforo. **Revista Agrogeoambiental** 10:47-60.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento (2019) **Acompanhamento da safra brasileira de grãos 2019/20 – Primeiro Levantamento**. Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), 44 p.

Costa RRGF, Quirino GDSF, Naves DCDF, Santos CB, Rocha AFDS (2015) Efficiency of inoculant with *Azospirillum brasilense* on the growth and yield of second-harvest maize. **Pesquisa Agropecuária Tropical** 45:304-311.

Crusciol CAC, Almeida DS, Alves CJ, Soratto RP, Krebsky EO, Spolidorio ES (2019) Can Micronized Sulfur in Urea Reduce Ammoniacal Nitrogen Volatilization and Improve Maize Grain Yield? **Journal of Soil Science and Plant Nutrition** 1:1-11.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations (2019) **FAOSTAT Crops**. Disponível em: <<http://faostat3.fao.org/browse/Q/QC/E>>. Acesso em: 12 out. 2019.

Fornasieri Filho D (2007) **Manual da cultura do milho**. Jaboticabal: Funep, 576p.

Fowler D, Steadman CE, Stevenson D, Coyle M, Rees RM, Skiba UM, Sutton MA, Cape JN, Dore AJ, Vieno M, Simpson D, Zaehle S, Stocker BD, Rinaldi M, Facchini MC, Flechard CR, Nemitz E, Twigg M, Erisman JW, Butterbach-Bahl K, Galloway JN (2015) Effects of global change during the 21st century on the nitrogen cycle. **Atmospheric Chemistry and Physics**, 15:13849-13893.

Frazão JJ, Da Silva AR, Da Silva VL, Oliveira VA, Corrêa RS (2014) Fertilizantes nitrogenados de eficiência aumentada e ureia na cultura do milho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** 18:1262-1267.

Fukami J, Cerezini P, Hungria, M. (2018) *Azospirillum*: benefits that go far beyond biological nitrogen fixation. **AMB Express**, 8:1-12

Galindo FS, Teixeira Filho M, Buzetti S, Pagliari PH, Santini JM, Alves CJ, Megda, MM, Nogueira TAR, Andreotti M, Arf O (2019) Maize Yield Response to Nitrogen Rates and Sources Associated with *Azospirillum brasilense*. **Agronomy Journal** 3:1985-1997.

Garcia MM, Pereira LC, Braccini AL, Angelotti P, Suzukawa AK, Marteli DC, Felber PH, Bianchessi PA, Dametto IB (2017) Effects of *Azospirillum brasilense* on growth and yield compounds of maize grown at nitrogen limiting conditions. **Revista de Ciências Agrárias** 40:353-362.

Gava GJC, De Oliveira MW, Silva MA, Jerônimo EM, Cruz JCS, Trivelin PCO (2010) Produção de fitomassa e acúmulo de nitrogênio em milho cultivado com diferentes doses de 15N-ureia. **Semina: Ciências Agrárias** 31: 851-862.

Gholizadeh A, Dehghani H, Khodadadi M, Gulick PJ (2018) Genetic combining ability of coriander genotypes for agronomic and phytochemical traits in response to contrasting irrigation regimes. **PloS One** 13:1-15.

Good AG, Shrawat AK, Muench DG (2004) Can less yield more? Is reducing nutrient input into the environment compatible with maintaining crop production? **Trends in Plant Science** 9:597–605.

Griffing B (1956) Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. **Australian Journal of Biological Sciences** 9(4):463-493.

Hall PG, Krieg NR (1984) Application of the indirect immunoperoxidase stain technique to the flagella of *Azospirillum brasilense*. **Applied and Environmental Microbiology** 47:433-435.

Hallauer AR (2011) Evolution of plant breeding. **Crop Breeding and Applied Biotechnology** 11:197-206.

HO C, TSAY YF (2010) Nitrate, ammonium, and potassium sensing and signaling. **Current Opinion in Plant Biology** 13:604-610.

Hungria M, Campo RJ, Souza EM, Pedrosa FO (2010) Inoculation with selected strains of *Azospirillum brasilense* and *A. lipoferum* improves yields of maize and wheat in Brazil. **Plant and Soil** 331:413-425.

IPNI - International Plant Nutrition Institute (2017) **Consumo aparente de fertilizantes e matérias-primas em 2017**. Disponível em: <http://brasil.ipni.net/article/BRS-3132>. Acesso em: 13 out. 2019.

Koltun A, Cavalcante AP, Lopes, KBA, Krause MD, Marino TP, De Oliveira, AELM, Ferreira JEM (2018) Performance of maize hybrids from a partial diallel in association with *Azospirillum*. **African Journal of Agricultural Research** 13:1297-1305.

Ladha JK, Tirol-Padre A, Reddy CK, Cassman KG, Verma S, Powlson DS, Van Kessel C, De Richter DB, Chakraborty D, Pathak H (2016) Global nitrogen budgets in cereals: A 50-year assessment for maize, rice, and wheat production systems. **Scientific Reports** 6:1-9.

Lasagna M, De Luca DA, Franchino E (2016) Nitrate contamination of groundwater in the western Po Plain (Italy): the effects of groundwater and surface water interactions. **Environmental Earth Sciences** 75:1-16.

Li G, Zhao B, Dong S, Zhang J, Liu P, Vyn TJ (2017) Impact of controlled release urea on maize yield and nitrogen use efficiency under different water conditions. **PloS One** 12:1-16.

Lobell DB, Cassman KG, Field CB (2009) Crop yield gaps: their importance, magnitudes, and causes. **Annual Review of Environment and Resources**, 34:179-204.

Maia C, Dovale JC, Fritsche-Neto R, Cavatte PC, Miranda GV (2011) The difference between breeding for nutrient use efficiency and for nutrient stress tolerance. **Crop Breeding and Applied Biotechnology** 11:270-275.

Makumbi D, Betrán JF, Bänziger M, Ribaut JM (2011) Combining ability, heterosis and genetic diversity in tropical maize (*Zea mays* L.) under stress and non-stress conditions. **Euphytica** 180:143-162.

Marquez-Sanchez F, Sahagun-Castellanos J (2002) Syntetic varieties or composites varieties? **Maydica** 47:103-105.

Modesto VC, De Souza HA, Cavalcante ACR, Salles HO, Lima AR, Dos Santos Dias CT, Natale W (2017) Nitrogen fertilization regarding maize crop in a semi-arid region. **Científica** 45:443-452.

Müller A, Schader C, El-Hage Scialabba N, Brüggemann J, Isensee A, ERB Karl H, Smith P, Klocke P, Leiber F, Stolze M, Niggli U, (2017) Strategies for feeding the world more sustainably with organic agriculture. **Nature Communications** 8:1-13.

Müller TM, Sandini IE, Rodrigues JD, Novakowski JH, Basi S, Kaminski TH (2016) Combination of inoculation methods of *Azospirillum brasilense* with broadcasting of nitrogen fertilizer increases corn yield. **Ciência Rural** 46:210-215.

Okumura RS, Takahashi HW, Santos DGC, Lobato AKS, Mariano DC, Marques OJ, Silva MHL, Oliveira Neto CF, Lima Junior JA (2011) Influence of different nitrogen levels on growth and production parameters in maize plants. **Journal of Food, Agriculture & Environment** 9:510-514.

Oliveira AL, Santos OJ, Marcelino PR, Milani KM, Zuluaga MY, Zucareli C, Gonçalves LS (2017) Maize inoculation with *Azospirillum brasilense* Ab-V5 cells enriched with exopolysaccharides and polyhydroxybutyrate results in high productivity under low N fertilizer input. **Frontiers in Microbiology** 8:1-18.

Oliveira RP, Lima SF, Alvarez RDCF, Baldani VLD, Oliveira MP, Brasil MS (2018) *Azospirillum brasilense* inoculation and management of fertilizer nitrogen in maize. **Brazilian Journal of Agriculture** 93:347-361.

Pereira LDM, Pereira EDM, Revolti LTM, Zingaretti SM, Môro, GV (2015) Seed quality, chlorophyll content index and leaf nitrogen levels in maize inoculated with *Azospirillum brasilense*. **Revista Ciência Agronômica** 46:630-637.

Qiao C, Liu L, Hu S, Compton JE, Greaver TL, Li Q (2015) How inhibiting nitrification affects nitrogen cycle and reduces environmental impacts of anthropogenic nitrogen input. **Global Change Biology** 21:1249-1257.

Revolti LTM, Caprio CH, Mingotte, FLC, Moro, GV (2018) *Azospirillum* spp. potential for maize growth and yield. **African Journal of Biotechnology** 17:574-585.

Semagn K, Magorokosho C, Ogugo V, Makumbi D, Warburton ML (2014) Genetic relationships and structure among open-pollinated maize synthetics adapted to eastern and southern Africa using microsatellite markers. **Molecular Breeding** 3:1423-1435.

Shull, GH (1910) Hybridization methods in corn breeding. **American Breeders Association Reports** 6:63-72.

Siqueira Neto MS, De Cássia Piccolo M, De Paiva Venzke Filho S, Feigl BJ, Cerri CC (2010). Mineralização e desnitrificação do nitrogênio no solo sob sistema plantio direto. **Bragantia** 69:923-936.

Taiz L, Zeiger E (2013) **Fisiologia vegetal**. 5ed. Porto Alegre: Artmed, 954p.

Vencovsky R, Ramalho MAP, Toledo FHRB (2012) Contribution and perspectives of quantitative genetics to plant breeding in Brazil. **Crop Breeding and Applied Biotechnology** 12:07-14.

Vidotti MS, Matias FI, Alves FC, Pérez-Rodríguez P, Beltran GA, Burgueño J, Crossa J, Fritsche-Neto, R (2019) Maize responsiveness to *Azospirillum brasilense*: Insights into genetic control, heterosis and genomic prediction. **PloS One** 14:1-22.

Watson A, Ghosh S, Williams MJ, Cuddy WS, Simmonds J, Rey MD, Asyraf MHM, Hinchliffe A, Steed A, Reynolds D, Adamski NM, Breakspear A, Korolev A, Rayner T, Dixon LE, Riaz A, Martin W, Ryan M, Edwards D, Batley J, Raman H, Carter J, Rogers C, Domoney C, Moore G, Harwood W, Nicholson P, Dieters MJ, Delacy IH, Zhou J, Uauy C, Boden SA, Park RF, Wulff BBH, Hickey LT (2018) Speed breeding is a powerful tool to accelerate crop research and breeding. **Nature Plants** 4:23-29.

Wu Y, Liu W, Li X, Li M, Zhang D, Hao Z, Weng J, Xu Y, Bai L, Zhang S, Xie C (2011) Low-nitrogen stress tolerance and nitrogen agronomic efficiency among maize inbreds: comparison of multiple indices and evaluation of genetic variation. **Euphytica** 180:281-290.

Yu-Kui R, Shi-Ling J, Fu-Suo Z, Jian-Bo S (2009) Effects of nitrogen fertilizer input on the composition of mineral elements in corn grain. **Agrociencia** 43:21-27.

Zeffa DM, Fantin LH, Santos OJAPD, Oliveira ALMD, Canteri MG, Scapim CA, Gonçalves LSA (2018) The influence of topdressing nitrogen on *Azospirillum* spp. inoculation in maize crops through meta-analysis. **Bragantia** 77:493-500.

Zhang X, Zhang H, Li L, Lan H, Ren Z, Liu D, Wu L, Liu H, Jaqueth J, Li B, Pan G, Gao S (2016) Characterizing the population structure and genetic diversity of maize breeding germplasm in Southwest China using genome-wide SNP markers. **BMC Genomics** 17:1-16.

Zhu S, Vivanco JM, Manter DK (2016) Nitrogen fertilizer rate affects root exudation, the rhizosphere microbiome and nitrogen-use-efficiency of maize. **Applied Soil Ecology** 107:324- 333.

CAPÍTULO 2 – Caracterização de genótipos de milho quanto à produtividade e eficiência no uso de *Azospirillum brasilense*

RESUMO – Genótipos eficientes e responsivos ao fornecimento de nutrientes promovem uma agricultura mais sustentável e com menor custo de produção. Assim, o objetivo desta pesquisa foi selecionar genótipos de milho responsivos e eficientes no uso de *Azospirillum brasilense*, validando as técnicas de seleção empregadas. Na segunda safra, dos anos 2017 e 2018, 66 genótipos de milho foram avaliados, em dois experimentos por ano, cada um com diferença na aplicação nitrogenada de cobertura, sendo um com uso de ureia e o outro por inoculação com *Azospirillum brasilense*. Foram obtidas as produtividades dos dois experimentos e, a partir dessas, foram calculadas as eficiências ao uso de *A. brasilense*. Os caracteres produtividade, do experimento com inoculação de *A. brasilense*, e eficiência no uso de *A. brasilense* foram submetidos à análise de variância, teste de comparação de médias e classificação gráfica de quadrantes dos genótipos. Os genótipos diferiram significativamente, em ambos os caracteres, bem como sua interação com os diferentes anos. Os resultados sinalizaram a necessidade da análise individual dos genótipos e a interferência da disponibilidade hídrica nos resultados obtidos. As análises possibilitaram a classificação e seleção de treze genótipos responsivos e eficientes ao uso de *Azospirillum brasilense*.

Palavras-chave: bactérias diazotróficas, produtividade, melhoramento de plantas, *Zea mays* L.

Characterization of maize genotypes regarding productivity and use efficiency of *Azospirillum brasilense*

ABSTRACT - Efficient and nutrient responsive genotypes promote more sustainable agriculture and lower production costs. Thus, the aim of this research was to select responsive and efficient maize genotypes in the use of *Azospirillum brasilense*, with confirmation of the selection techniques employed. In the second season of 2017 and 2018, sixty-six maize genotypes were evaluated in two experiments per year, each with a difference in the application of top-dressing, one using urea and the other by inoculation with *A. brasilense*. The yields were obtained of the two experiments and from these were calculated the use efficiencies of *A. brasilense*. The characters, yield of the *A. brasilense* inoculation experiment and efficiency use of *A. brasilense* were submitted to analysis of variance, mean comparison test and classification of quadrants graphical for the genotypes. The genotypes were statistically different for both characters, as well as their interaction with the different years. The results indicate the need for individual analysis of genotypes and the interference of water availability in the obtained data. The statistics allowed the classification and selection of thirteen responsive and efficient genotypes in the use of *Azospirillum brasilense*.

Keywords: diazotrophic bacteria, plant breeding, *Zea mays* L.

INTRODUÇÃO

A crescente demanda por alimentos e demais produtos agrícolas, tem intensificado a agricultura ao longo das últimas décadas. Para atender tais necessidades, o melhoramento genético de plantas visa obter genótipos com maior potencial produtivo e mais eficiente no aproveitamento de áreas e recursos disponíveis (Acquaah 2012). Assim, o melhoramento vegetal vem impulsionando o desempenho das principais espécies agrícolas produzidas (Ceccarelli 2015), dentre as quais os cereais têm grande importância por serem os mais consumidos e cultivados mundialmente (Awika 2011, Ladha et al. 2016). Segundo os últimos levantamentos do USDA (2019), o cereal de maior produção é o milho, com cerca de um bilhão de toneladas do grão produzidos a nível mundial. Para atender tal demanda, os programas de melhoramento de milho exploram a variabilidade e vigor híbrido da cultura no desenvolvimento de novas cultivares (Gorjanc et al. 2016, Vencovsky e Barriga 1992, Shull 1908).

O aumento da produtividade é o fator mais almejado neste cenário, contudo o desenvolvimento de genótipos mais produtivos deve estar atrelado às práticas de manejo sustentáveis (Muller et al. 2017). Genótipos eficientes na utilização de nutrientes são necessários para obtenção de produtividades elevadas com menor utilização destes insumos. O nitrogênio é o nutriente mais exigido pela cultura do milho e o de maior influência no desenvolvimento das plantas e produção de grãos (Fornasier Filho 2007). Contudo, as plantas não são capazes de absorver todo o nitrogênio disponibilizado via adubação química, gerando perdas por volatilização, lixiviação, com impactos diretos sobre o meio ambiente (Qiao et al. 2014).

Desenvolver genótipos eficientes na utilização de formas alternativas à adubação química nitrogenada é uma prática ainda mais interessante, no sentido de conservar o meio ambiente. A fixação biológica de nitrogênio (FBN) consiste na utilização de microrganismos capazes de converter o nitrogênio atmosférico nas formas disponíveis para as plantas (Van Deynze et al. 2018). Estes microrganismos são conhecidos como bactérias diazotróficas, e trabalhos com FBN em gramíneas englobam principalmente o gênero *Azospirillum* (Hungria et al. 2010, Moutia et al. 2010, Sangoi et al. 2015, Caprio 2017, Curá et al. 2017, Oliveira et al. 2018). Os benefícios obtidos da associação com espécies deste gênero incluem a capacidade de promover crescimento das plantas e aumento de produtividade, em situações com menor quantidade de nitrogênio requerida. Este efeito benéfico da associação com *Azospirillum* pode ser decorrente tanto da FBN como da produção de hormônios promotores de crescimento, sendo inegáveis as vantagens para as plantas de milho (Dalla Santa et al. 2004, Bashan e Bashan 2004, Hungria et al. 2010).

Assim, o objetivo da pesquisa foi caracterizar e selecionar genótipos de milho quanto à responsividade e eficiência no uso de *Azospirillum brasilense*, testando como proposta as técnicas de seleção utilizadas.

MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi desenvolvida durante a segunda safra dos anos 2017 e 2018, na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão (FEPE) da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP Jaboticabal-SP. O município de Jaboticabal-SP está situado à latitude 21° 14' 05" S, longitude 48° 17' 09" W e altitude de 615 m. As

áreas experimentais possuem histórico de cultivo de milho em sistema de plantio convencional. O solo da área experimental é classificado predominantemente como Latossolo Vermelho Eutrófico e o clima da região é determinado como Aw pela classificação de Köppen (1948), com verões chuvosos e inverno seco. As informações climatológicas do período de condução em campo foram coletadas, bem como os dados da análise de solo da área experimental, para cada ano, sendo apresentados a seguir (Figura 1 e Tabela 1).

Dados Climatológicos

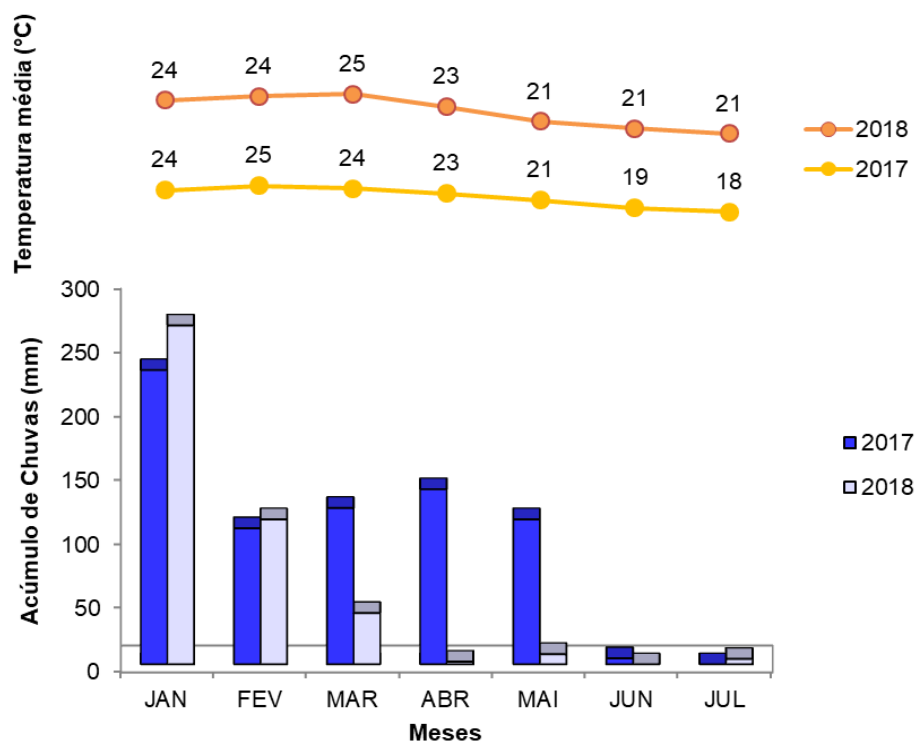


Figura 1. Dados climáticos de média das temperaturas (°C) e acúmulo de precipitação pluviométrica (mm), durante o cultivo de milho segunda safra nos anos de 2017 e 2018 em Jaboticabal-SP.

Tabela 1. Resultados da análise de solo, na camada de 0-20cm, obtidos de uma amostra composta, por 10 subamostras, coletadas ao acaso nas áreas de implantação dos experimentos de milho segunda safra nos anos de 2017 e 2018 em Jaboticabal-SP.

Anos	Parâmetros do solo										
	N %	pH CaCl ₂	M.O. g.dm ⁻³	P mg.dm ⁻³	S mg.dm ⁻³	Ca	Mg	K mmol _c .dm ⁻³	H + Al	CTC	V %
2017	0,18	5,45	24,37	8,26	7,07	38,73	16,98	3,08	20,13	78,93	74,17
2018	0,10	5,99	20,94	9,66	5,00	27,82	7,29	3,49	21,76	60,36	63,34

Os tratamentos foram 66 genótipos de milho, os quais consistiam de híbridos intersintéticos, obtidos por cruzamentos dialélicos a partir de 12 parentais, em 2016. Foram utilizados como parentais variedades sintéticas, provenientes de grupos de linhagens endogâmicas distintas da empresa comercial Phoenix Agrícola Ltda. Para obtenção dos sintéticos foi utilizado o mesmo esquema aplicado por Di Salvo (2011). O delineamento experimental foi de blocos ao acaso, com quatro repetições de cada genótipo e parcelas constituídas de duas linhas de 5,0 m, espaçadas a 0,5 m, com total de 30 plantas, representando uma população de 60.000 plantas·ha⁻¹.

Nos anos de 2017 e 2018, os experimentos foram semeados com adubação no sulco de plantio de 350 kg·ha⁻¹ do formulado (N-P-K) 8-28-16, nas datas de 16/02/2017 e 23/01/2018. Em cada ano, foram conduzidos dois experimentos sob as mesmas condições de cultivo e diferentes coberturas, sendo o experimento 1 com adubação química nitrogenada e sem inoculação de *Azospirillum brasilense* e o experimento 2 sem adubação nitrogenada e com inoculação de *Azospirillum brasilense*. As coberturas foram realizadas com plantas nos estádios vegetativos V4-V5 (Fornasier Filho 2007), próximo ao colo da planta. No experimento 1 foi utilizado como fonte de adubo químico nitrogenado a ureia, em dose de 311 kg·ha⁻¹. O experimento 2 foi inoculado com mistura comercial de estirpes AbV5 e AbV6 de A.

brasiliense (QualyFix Gramíneas®), na dose de 600 ml·ha⁻¹. Os demais tratamentos culturais constituíram das recomendações técnicas para a cultura (EMBRAPA 2010).

Para quantificar a produtividade de grãos, de cada experimento e em cada ano, todas as espigas da parcela foram colhidas, debulhadas, e tiveram o peso corrigido para umidade a 13% e estande, por covariância de estande ideal, sendo os valores obtidos extrapolados para toneladas por hectare (t·ha⁻¹). Com essas produtividades foram calculadas as eficiências no uso de *Azospirillum brasiliense* (t·ha⁻¹) de acordo com a equação adaptada de Wu et al. (2011):

$$EUAY_n = \frac{Y_n(2)^2}{Y_n(1)}, \text{ sendo:}$$

$EUAY_n$ – eficiência ao uso de *Azospirillum brasiliense* para a produtividade Y do n -ésimo genótipo; $Y_n(2)$ – média da produtividade Y do n -ésimo genótipo do experimento com inoculação de *Azospirillum brasiliense*; $Y_n(1)$ – média da produtividade Y do n -ésimo genótipo do experimento com aplicação de ureia em cobertura.

Os caracteres produtividade do experimento com inoculação de *Azospirillum brasiliense* e eficiência no uso de *A. brasiliense*, foram submetidos à análise de variância individual para cada ano e conjunta, considerando ambos os anos. Complementarmente, foram realizadas comparações de médias pelo teste Scott-Knott, a 5% de probabilidade. Os fatores genótipo e ano, no modelo abordado, foram considerados como efeitos fixos.

Os genótipos foram classificados de acordo com a metodologia de representação gráfica descrita por Fageria & Kluthcouski (1980). A classificação foi

baseada em um plano cartesiano, onde o eixo das abscissas (x) é a produtividade do experimento com *Azospirillum brasilense* e o eixo das ordenadas (y) consiste na eficiência no uso de *A. brasilense*. O gráfico foi dividido a partir da interceptação da eficiência média e produtividade média. Segundo essa metodologia, os genótipos localizados no quadrante I são eficientes e responsivos; no quadrante II são eficientes, mas não responsivos; no quadrante III, são não eficientes e não responsivos e no quadrante IV, são não eficientes, mas responsivos.

Todas as análises foram realizadas via RStudio (R CORE TEAM 2013) e SAS version 9.2 (SAS INSTITUTE INC 2009), utilizando o procedimento PROC GLM.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As fontes de variação genótipo, ano e interação genótipo x ano foram significativas, pelo teste F, para os caracteres produtividade e eficiência no uso de *Azospirillum brasilense*, na análise de variância conjunta (Tabela 2). O resultado indica a possibilidade de discriminar ao menos um dos genótipos, diferenciar os anos e analisar a interação, considerando o comportamento diferencial dos híbridos intersintéticos nos diferentes anos. A significância nas fontes de variação ano e interação sugeriram a realização da análise individual dos resultados.

Nas análises de variância individuais, foram detectadas diferenças significativas pelo teste F, para a fonte de variação genótipo dos caracteres produtividade e eficiência no uso de *Azospirillum brasilense*, diferenciando pelo menos um dos híbridos intersintéticos em relação aos demais em cada caráter analisado (Tabela 2).

Tabela 2. Resumo da análise de variância conjunta e individual, com quadrados médios (QM), coeficientes de variação (CV%) e médias dos 66 genótipos de milho segunda safra nos anos de 2017 e 2018 em Jaboticabal-SP, para produtividade de grãos ($\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$) e eficiência no uso de *Azospirillum brasilense* ($\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$).

FV ¹	GL ²	QM					
		Conjunta		Individual ³			
		PG	EUA	2017		2018	
Genótipo	65	0,79 ^{**}	1,13 ^{**}	1,03 ^{**}	1,49 [*]	0,13 ^{**}	0,22 ^{**}
Ano	1	1194,24 ^{**}	716,14 ^{**}	-	-	-	-
Genótipo x Ano	65	0,37 ^{**}	0,59 ^{**}	-	-	-	-
Resíduo	393	0,12	0,22	0,21	0,40	0,03	0,03
Média		2,07	1,52	3,58	2,69	0,57	0,36
CV (%)		16,42	30,42	12,70	23,60	27,93	47,76

¹fonte de variação; ²graus de liberdade; ³na análise individual (anos de 2017 e 2018) o GL do resíduo é de 195; PG: produtividade de grãos, EUA: eficiência no uso de *Azospirillum brasilense*; teste F, ^{ns}, * e **, não significativo, significativo a 5% de probabilidade e a 1% de probabilidade.

Para produtividade, as médias variaram entre os anos, com redução de 84% do valor médio (Tabela 2). Os níveis do coeficiente de variação foram classificados entre aceitáveis e altos, de acordo com a proposta de Scapim et. al. (1995), sendo a redução da média o principal fator para o aumento do valor do coeficiente. Nos experimentos de Sangoi et al. (2015), com inoculação de *Azospirillum brasilense* e sem aplicação de nitrogênio, os autores obtiveram média de produtividade de 5,98 $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$ avaliando variedades de polinização aberta. Caprio (2017) avaliou sintéticos e variedades comerciais de milho e obteve médias de produtividade superiores com inoculação de *A. brasilense* em relação à aplicação de ureia. No presente trabalho, os valores médios da produtividade dos genótipos variaram de 2,68 a 5,01 $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$ para o ano de 2017 e de 0,31 a 1,16 $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$ para 2018 (Figura 2). Esses dados de produção, associados ao teste F, indicam adequado potencial de produtividade dos genótipos sob inoculação com *A. brasilense*, para o ano de 2017, possibilitando seleção.

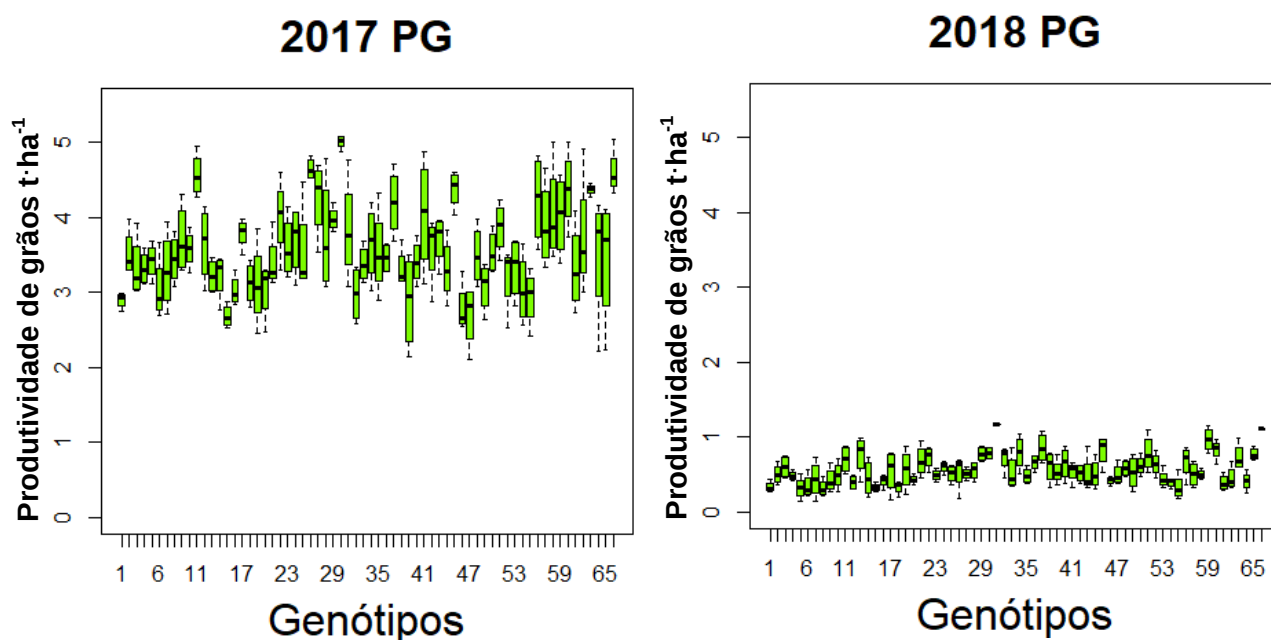


Figura 2. *Boxplot* dos 66 genótipos de milho segunda safra nos anos 2017 e 2018 em Jaboticabal-SP, para o caráter produtividade de grãos de milho (PG) em t·ha⁻¹.

Os valores médios da eficiência no uso de *Azospirillum brasilense*, de 2017 para 2018, reduziram em 86% e os coeficientes de variação foram compreensivos, em função do acúmulo dos erros na obtenção da eficiência e dados às condições ambientais frequentemente mais atípicas (Tabela 2). A variação dos valores médios da eficiência no uso de *A. brasilense* foi de 1,69 a 5,02 t·ha⁻¹ para 2017 e de 0,09 a 1,19 t·ha⁻¹ para 2018 (Figura 3). A redução dos valores de eficiência ocorreu, provavelmente, em resposta ao déficit hídrico de 2018, o qual diminuiu drasticamente as produtividades, tanto no experimento 1 como no 2. O déficit hídrico pode causar perdas na produtividade decorrentes de falha no suprimento de fotoassimilados para os grãos, ou ainda, em fase anterior, inibindo o desenvolvimento do estilo-estigma, o que afeta diretamente a polinização e, conseqüentemente, a produtividade de grãos (Bergonci et al. 2001).

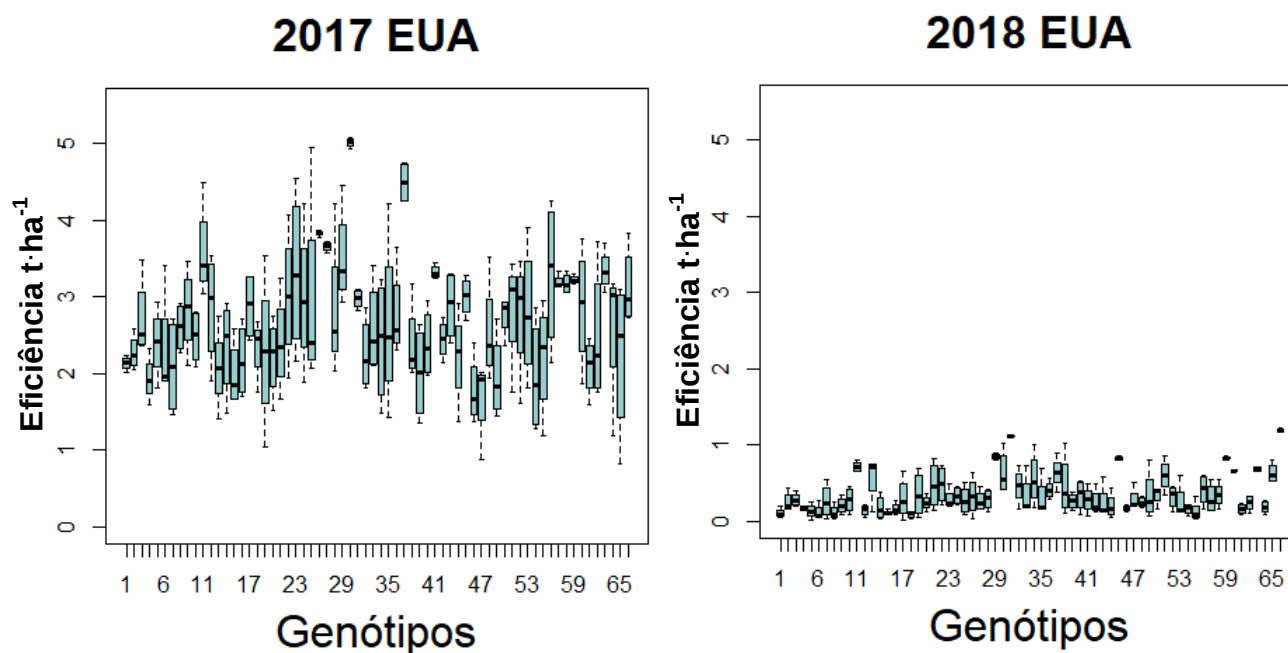


Figura 3. *Boxplot* dos genótipos de milho segunda safra nos anos 2017 e 2018 em Jaboticabal-SP, para o caráter eficiência no uso de *Azospirillum brasilense* (EUA) em t·ha⁻¹.

Em estudos com cana-de-açúcar, Moutia et al. (2010), relatam a capacidade de resiliência das plantas até certo grau de estresse hídrico, porém para períodos prolongados inicia-se o detrimento da cultura, podendo a inoculação com *Azospirillum brasilense* promover o crescimento radicular, minimizando tais efeitos. Apesar dos benefícios no sistema radicular e aumento da absorção de nutrientes, não é comprovado que a inoculação possa substituir integralmente a adubação nitrogenada, mantendo altas produtividades, principalmente em condições de estresse hídrico (Dalla Santa et al. 2004, Coelho et al. 2017).

Para os valores médios de produtividade em 2017 foram estabelecidos quatro grupos comparativos (Tabela 3), onde nove genótipos tiveram as maiores médias, variando de 4,25 (56) a 5,01 (30) t·ha⁻¹. Entre os genótipos com valores de média medianos, doze formam um grupo superior, com produtividades de 3,75 (62) a 4,20

(37) $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$, e vinte e oito o grupo inferior, variando de 3,29 (7) a 3,71 (9 e 43) $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$.

A menor média de produtividade foi do genótipo 15 ($2,68 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$), a qual foi similar a outros 16 genótipos. Souza & Sorrato (2006) relatam a incerteza climática no cultivo de milho segunda safra como fator de queda na produção dos grãos. Assim, os maiores valores médios em 2017 são considerados satisfatórios, considerando que os genótipos avaliados eram híbridos intersintéticos, de baixo potencial produtivo em relação aos híbridos de linhagens endogâmicas.

Tabela 3. Médias dos genótipos de milho segunda safra nos anos 2017 e 2018 em Jaboticabal-SP, para produtividade de grãos (PG) em $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$ e eficiência no uso de *Azospirillum brasilense* (EUA) em $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$.

Genótipo	PG						EUA					
	2017			2018			2017			2018		
	$\bar{x}$			$\bar{x}$			$\bar{x}$			$\bar{x}$		
1	2,8943	d	A	0,3295	c	B	2,1332	c	A	0,1043	c	B
2	3,5206	c	A	0,4995	c	B	2,2709	c	A	0,2494	c	B
3	3,3273	c	A	0,5968	c	B	2,7172	c	A	0,2822	c	B
4	3,3216	c	A	0,4768	c	B	1,9307	c	A	0,1612	c	B
5	3,4187	c	A	0,3203	c	B	2,3978	c	A	0,1257	c	B
6	3,0417	d	A	0,3399	c	B	2,3077	c	A	0,1101	c	B
7	3,2913	c	A	0,4374	c	B	2,0861	c	A	0,2584	c	B
8	3,4455	c	A	0,3136	c	B	2,5992	c	A	0,1153	c	B
9	3,7079	c	A	0,4209	c	B	2,8334	b	A	0,2014	c	B
10	3,5828	c	A	0,4900	c	B	2,4794	c	A	0,2745	c	B
11	4,5679	a	A	0,7046	b	B	3,5891	b	A	0,7165	b	B
12	3,6505	c	A	0,3960	c	B	2,8546	b	A	0,1404	c	B
13	3,2188	d	A	0,7612	b	B	2,0708	c	A	0,5743	b	B
14	3,2260	d	A	0,4457	c	B	2,3439	c	A	0,1750	c	B
15	2,6825	d	A	0,3295	c	B	1,9883	c	A	0,1117	c	B
16	3,0188	d	A	0,4152	c	B	2,1693	c	A	0,1566	c	B
17	3,7878	b	A	0,5421	c	B	2,8781	b	A	0,2945	c	B
18	3,1299	d	A	0,3239	c	B	2,3285	c	A	0,0864	c	B
19	3,1030	d	A	0,5621	c	B	2,2884	c	A	0,3480	c	B
20	3,0306	d	A	0,4282	c	B	2,2098	c	A	0,2374	c	B
21	3,4018	c	A	0,6803	b	B	2,4016	c	A	0,4654	c	B
22	4,0072	b	A	0,7245	b	B	3,0053	b	A	0,4770	c	B
23	3,6020	c	A	0,4963	c	B	3,3201	b	A	0,2853	c	B
24	3,7040	c	A	0,6004	c	B	2,9927	b	A	0,3314	c	B
25	3,5451	c	A	0,5090	c	B	2,9598	b	A	0,2749	c	B
26	4,6529	a	A	0,5349	c	B	3,8295	b	A	0,3262	c	B
27	4,2580	a	A	0,5040	c	B	3,6552	b	A	0,2664	c	B

28	3,7583	b	A	0,5507	c	B	2,8374	b	A	0,2873	c	B
29	3,9791	b	A	0,7761	b	B	3,5192	b	A	0,8455	b	B
30	5,0094	a	A	0,7868	b	B	5,0151	a	A	0,6363	b	B
31	3,8417	b	A	1,1641	a	B	2,9776	b	A	1,1208	a	B
32	2,9779	d	A	0,7158	b	B	2,2449	c	A	0,4616	c	B
33	3,3850	c	A	0,5190	c	B	2,5912	c	A	0,3261	c	B
34	3,6611	c	A	0,7901	b	B	2,4202	c	A	0,5517	b	B
35	3,5361	c	A	0,4812	c	B	2,6438	c	A	0,3028	c	B
36	3,4610	c	A	0,6584	b	B	2,7728	b	A	0,4070	c	B
37	4,2015	b	A	0,8543	b	B	4,4944	a	A	0,6386	b	B
38	3,3211	c	A	0,6018	c	B	2,3883	c	A	0,4589	c	B
39	2,8820	d	A	0,5319	c	B	2,0074	c	A	0,2640	c	B
40	3,4035	c	A	0,6447	b	B	2,3922	c	A	0,3420	c	B
41	4,0450	b	A	0,5331	c	B	3,3233	b	A	0,2831	c	B
42	3,5836	c	A	0,5118	c	B	2,4458	c	A	0,2427	c	B
43	3,7080	c	A	0,4962	c	B	2,8887	b	A	0,2434	c	B
44	3,3101	c	A	0,5088	c	B	2,2150	c	A	0,1971	c	B
45	4,3802	a	A	0,8154	b	B	3,0074	b	A	0,8185	b	B
46	2,7876	d	A	0,4158	c	B	1,7728	c	A	0,1603	c	B
47	2,6905	d	A	0,4920	c	B	1,6873	c	A	0,2882	c	B
48	3,4916	c	A	0,5853	c	B	2,5411	c	A	0,2438	c	B
49	3,0768	d	A	0,5227	c	B	1,9502	c	A	0,3373	c	B
50	3,5361	c	A	0,6163	c	B	2,7584	b	A	0,3374	c	B
51	3,8659	b	A	0,7822	b	B	2,8450	b	A	0,5993	b	B
52	3,2149	d	A	0,6331	b	B	2,7645	b	A	0,3174	c	B
53	3,3291	c	A	0,4401	c	B	2,7945	b	A	0,2517	c	B
54	3,0422	d	A	0,3912	c	B	1,9598	c	A	0,1605	c	B
55	2,9378	d	A	0,3239	c	B	2,2040	c	A	0,1274	c	B
56	4,2455	a	A	0,6715	b	B	3,2977	b	A	0,4106	c	B
57	3,9039	b	A	0,5033	c	B	3,1972	b	A	0,2977	c	B
58	4,0555	b	A	0,4976	c	B	3,1734	b	A	0,3435	c	B
59	4,0223	b	A	0,9673	a	B	3,2212	b	A	0,8261	b	B
60	4,3770	a	A	0,8301	b	B	2,8759	b	A	0,6569	b	B
61	3,3313	c	A	0,3857	c	B	2,0808	c	A	0,1560	c	B
62	3,7488	b	A	0,4466	c	B	2,4900	c	A	0,2332	c	B
63	4,3721	a	A	0,7287	b	B	3,3492	b	A	0,6815	b	B
64	3,5037	c	A	0,4101	c	B	2,5994	c	A	0,1803	c	B
65	3,4331	c	A	0,7679	b	B	2,2215	c	A	0,6290	b	B
66	4,6121	a	A	1,1069	a	B	3,1287	b	A	1,1936	a	B
Médias	3,5782			0,5703			2,6930			0,3638		

Médias seguidas por diferentes letras maiúsculas na linha e diferentes letras minúsculas na coluna são diferentes pelo teste Scott-Knott ($p = 0,05$).

Todos os genótipos divergiram quanto à produtividade entre os anos de 2017 e 2018, sendo a maior produtividade em 2018, referente ao genótipo 31 (1,16 t·ha⁻¹),

valor 56% menor que a menor média do ano anterior ($2,68 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$). Em 2018, três grupos foram determinados, vinte e seis genótipos apresentaram produtividade média acima da média do ano ($0,57 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) e destes, três genótipos foram os mais produtivos, com variações de $0,96$ (59) a $1,16$ (31) $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$. Dezoito genótipos foram agrupados como medianos, com variações entre as médias de $0,63$ (52) a $0,85$ (37) $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$. A menor produtividade foi do genótipo 8 ($0,31 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$), sendo a média deste considerada igual à de outros quarenta e cinco genótipos.

O caráter eficiência no uso de *Azospirillum brasilense*, para o ano de 2017, teve formação de três grupos (Tabela 3). O grupo de maior média composto por dois genótipos, 30 ($5,02 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) e 37 ($4,49 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$), o grupo mediano formado por outros vinte e oito genótipos, com variação de $2,75$ (50) a $3,82$ (26) $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$, e o grupo de menores médias composto por trinta e seis genótipos, sendo o genótipo 3 o de menor média ($2,71 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$). Genótipos com maiores eficiências apresentam os maiores valores para produtividade de grãos, bem como desempenho similar em ambos os experimentos (1 e 2), ou então, produtividades superiores no experimento com inoculação de *A. brasilense*. Assim sendo, os genótipos apresentaram boas eficiências em 2017. Os genótipos variaram quanto aos valores médios de eficiência de um ano para o outro. Em 2018, foram discriminados três grupos de médias, os de maiores eficiências, composto por dois genótipos, 31 ($1,12 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) e 66 ($1,19 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$), o grupo dos valores de eficiência mediano, formado por doze genótipos, e o grupo das menores médias de eficiência, composto por cinquenta e dois genótipos.

Para o ano de 2017, segundo metodologia de Fageria & Kluthcouski (1980), 47% dos genótipos foram eficientes no uso de *Azospirillum brasilense*, representados pelos primeiro (I) e segundo (II) quadrantes, e 44% foram

responsivos, sendo esses genótipos agrupados nos primeiro (I) e quarto (IV) quadrantes (Figura 4).

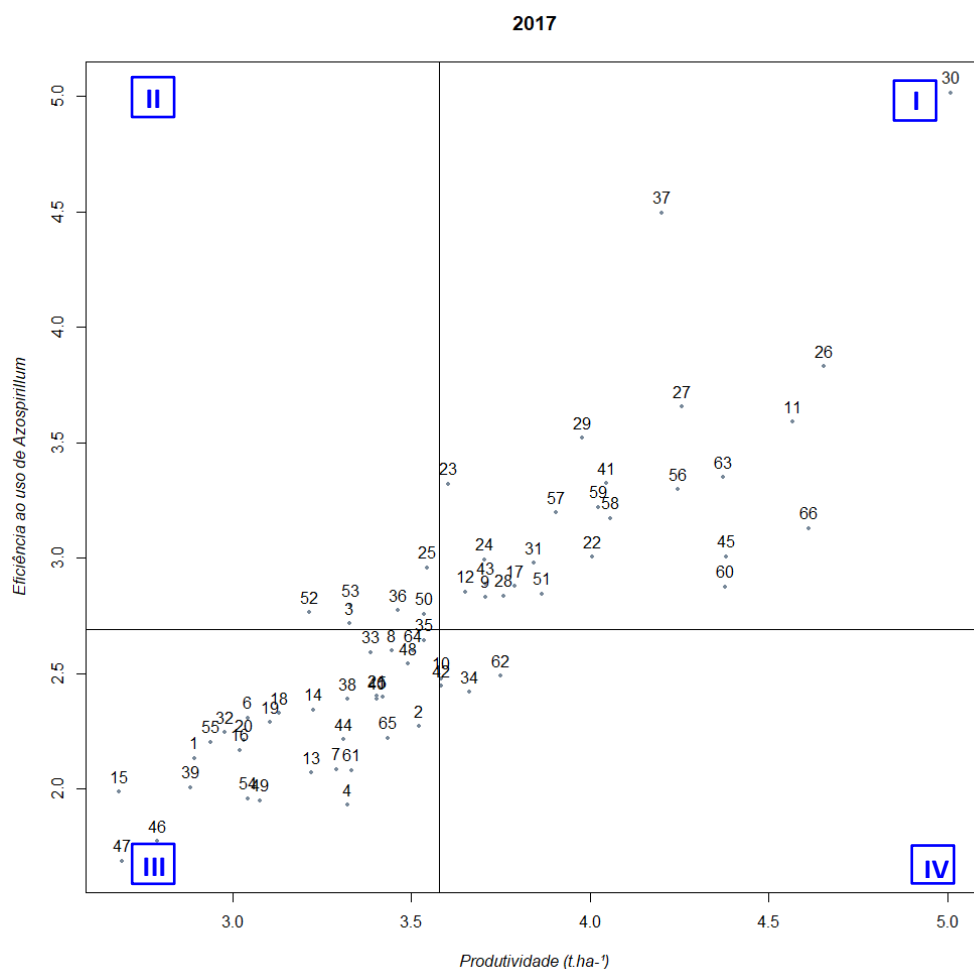


Figura 4. Responsividade e eficiência no uso de *Azospirillum brasilense* dos 66 genótipos de milho segunda safra do ano 2017 em Jaboticabal-SP, por metodologia de Fageria & Kluthcouski (1980).

No quadrante I estão alocados os genótipos ideais, que apresentaram simultaneamente, comportamento responsivo e eficiente (Figura 4). Estes genótipos são interessantes, pois apresentam bons rendimentos de grãos em ambientes com inoculação de *Azospirillum brasilense* e ausência de adubo nitrogenado em cobertura. A média de produtividade dos genótipos do quadrante I foi de $4,09 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$,

sendo que os híbridos 11, 26, 27, 30, 37, 45, 56, 60, 63 e 66 apresentaram médias superiores a esta. A eficiência média dos genótipos do quadrante I é de $3,28 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, sendo que os genótipos 11, 23, 26, 27, 29, 30, 37, 41, 56 e 63 apresentam valores de eficiência superiores à média dos genótipos deste quadrante. Os genótipos 11, 26, 27, 30, 37, 56 e 63 são superiores por apresentarem médias superiores as dos genótipos do quadrante I, tanto para produtividade como para eficiência. Em seu trabalho, Fidelis et al. (2010) inferem sobre vantagens nos processos de absorção e assimilação de nutrientes em genótipos eficientes e responsivos. Assim, da mesma forma, os genótipos do quadrante I apresentam melhor desempenho fisiológico em situação de substituição da adubação nitrogenada pela inoculação com *Azospirillum brasilense*.

Na Figura 4, estão alocados no terceiro quadrante (III), trinta e um genótipos considerados não responsivos, com média dos genótipos de $3,19 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, e não eficientes, com médias dos genótipos de $2,23 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, descartando-os como fonte de genes para programas voltados ao uso de *Azospirillum brasilense*. Os seis genótipos do segundo quadrante (II) apresentam boas eficiências, sendo a médias destes de $2,80 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, mas baixa responsividade, uma redução de 5% em relação à média geral. Os quatro genótipos enquadrados no quarto quadrante (IV) foram responsivos, com média de $3,64 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, porém não são considerados eficientes, sendo a média dos genótipos do quadrante IV 9% abaixo da média geral da eficiência.

Alisando o ano de 2018 (Figura 5), o percentual de genótipos responsivos (quadrantes I e IV) foi de 39% e de genótipos eficientes (quadrantes I e II) de 30%. No quadrante I, estão os genótipos responsivos e eficientes, totalizando vinte

genótipos com médias de produtividade de $0,79 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ e de eficiência em $0,66 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$. Em comparação com a produtividade média do ano de 2018, os genótipos do quadrante I foram 39% mais responsivos e destes, os genótipos 31, 34, 37, 45, 59, 60 e 66, tiveram médias acima da média dos genótipos em I. O valor médio da eficiência dos genótipos de I foi 81% superior ao da média do caráter para o ano de 2018, e os genótipos 11, 29, 31, 45, 59, 63 e 66 apresentaram médias superiores as dos genótipos do próprio quadrante I. Assim, os híbridos de maior interesse são 31, 45, 59 e 66, por pertencerem a este quadrante e também apresentarem médias superiores as dos genótipos de I, para ambos os caracteres.

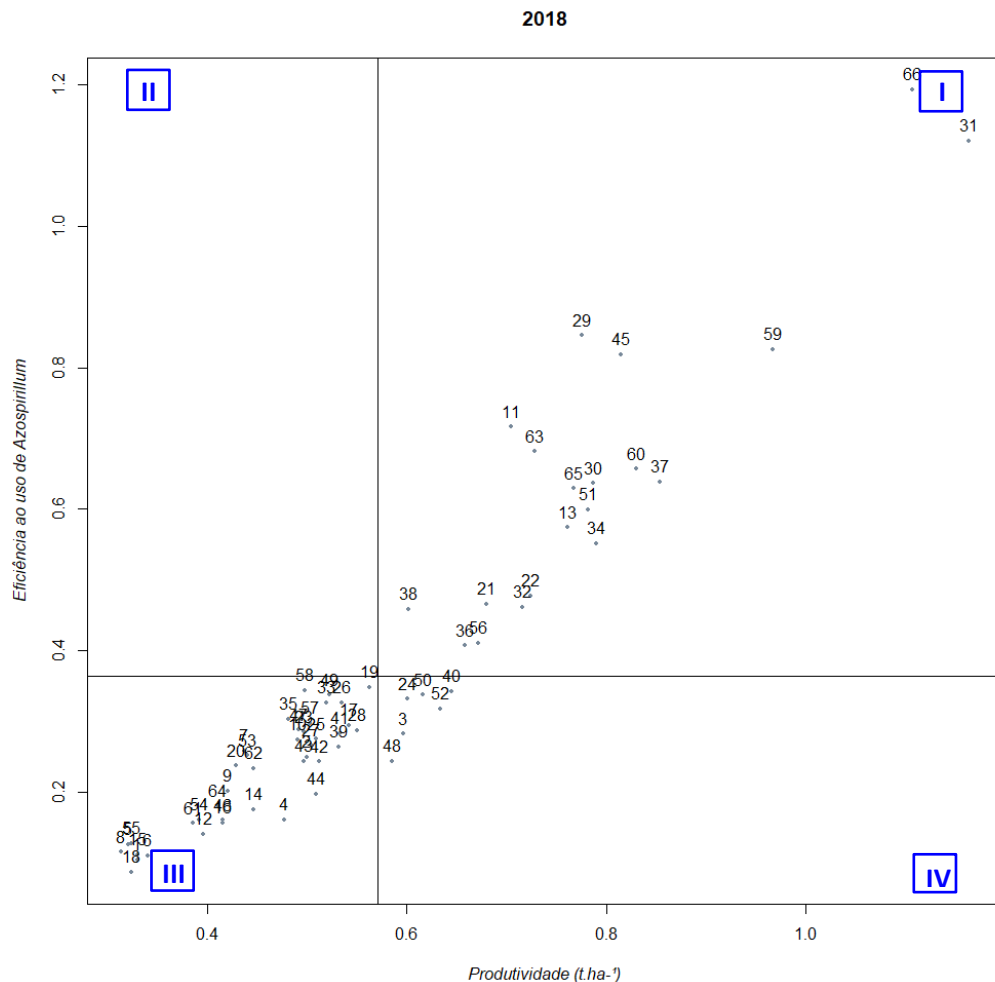


Figura 5. Responsividade e eficiência no uso de *Azospirillum brasilense* dos 66 genótipos de milho segunda safra do ano 2018 em Jaboticabal-SP, por metodologia de Fageria & Kluthcouski (1980).

O quadrante III indica os genótipos não responsivos e não eficientes com médias de $0,45 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ para produtividade e $0,23 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ para eficiência, justificando o descarte dos quarenta genótipos que compõem o quadrante III, por serem abaixo da média para o ano (Figura 5). O quadrante II não alocou nenhum genótipo, ou seja, não houve genótipos eficientes e não responsivos no ano de 2018. Já o quadrante IV agrupa seis genótipos responsivos, média dos genótipos do quadrante de $0,61 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, mas não eficientes à inoculação do microrganismo, com média de $0,31 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ em IV.

Apesar dos anos contrastantes, houve repetibilidade dos resultados dos genótipos 11, 22, 29, 30, 31, 37, 45, 51, 56, 59, 60, 63 e 66, os quais devem ser selecionados como responsivos e eficientes, considerando os resultados dos dois anos. Estes genótipos também foram alocados, pelo teste de Scott-Knott, sempre nos grupos de maiores médias ou medianos superiores, “a” e “b”, para cada caráter e ano, com exceção dos genótipos 22 e 56, incluídos no grupo de menores médias de eficiência (“c”) para o ano de 2018. A consistência dos resultados também ocorreu para o quadrante III, sendo os híbridos 1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 14, 15, 16, 18, 19, 20, 33, 35, 39, 44, 46, 47, 49, 54, 55, 61 e 64 considerados não responsivos e não eficientes, independentemente do ano avaliado. Estes tiveram suas médias consideradas iguais às menores médias ou valores medianos inferiores, estando enquadrados nos grupos “c” e “d”, para produtividade e para eficiência. A repetibilidade no quadrante III confirma a consistência na decisão de descarte dos vinte e quatro genótipos, os quais não são indicados a comporem programas de melhoramento voltados para inoculação com *Azospirillum brasilense*.

Não houve consistência dos resultados de quadrantes, de um ano para outro, para os genótipos 9, 12, 17, 23, 24, 26, 27, 28, 41, 43, 57 e 58, alocados no quadrante I em 2017 e III em 2018, com exceção do genótipo 24, alocado no quadrante IV em 2018. O mesmo ocorreu para os genótipos 21, 32, 34, 36, 38 e 69, alocados no quadrante I em 2018, mas variando de posição em 2017, sendo os genótipos 34 e 36 alocados nos quadrantes IV e II e os demais, 21, 32, 38 e 69, enquadrados no quadrante III. Os genótipos com resultados não consistentes oscilaram também quanto ao posicionamento nos grupos de comparação de média, pelo teste Scott-Knott. Portanto, estes genótipos devem ser analisados de maneira distinta quanto à especificidade da disponibilidade hídrica, relacionando os potenciais produtivos e eficiência no uso de *Azospirillum brasilense* para cada situação.

CONCLUSÕES

Foi possível caracterizar os genótipos quanto à responsividade e eficiência à inoculação com *Azospirillum brasilense*.

Do total de genótipos avaliados, treze são considerados responsivos e eficientes, e podem ser usados como fontes de genes em programas de melhoramento de milho, voltados à inoculação com *Azospirillum brasilense*.

Os resultados obtidos validam ainda as técnicas de seleção utilizada no presente trabalho, as quais podem ser empregadas em programas de melhoramento voltados para eficiência de *Azospirillum brasilense*.

REFERÊNCIAS

- Acquaah G (2012). **Principles of Plant Genetics and Breeding**. 2ed. Wiley-Blackwell, 758p.
- Awika JM (2011) Major cereal grains production and use around the world. **Advances in cereal science**: implications to food processing and health promotion. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/full/10.1021/bk-2011-1089.ch001>. Acesso em: 05 ago. 2019.
- Bashan Y, Holguin G, Bashan LE (2004) *Azospirillum*-plant relationships: physiological, molecular, agricultural, and environmental advances (1997–2003). **Canadian Journal of Microbiology** 50:521–577.
- Bergonci JI, Bergamaschi H, França S, Santos AO, Radin B (2001) Eficiência da irrigação em rendimento de grãos e matéria seca de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**: 1977. Brasília. 36(7):949-956.
- Caprio CH (2017) **Interação de variedades de milho sob inoculação com *Azospirillum brasilense* em diferentes épocas de semeadura**. 45 f. **Dissertação** (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Unesp, Jaboticabal.
- Ceccarelli S (2015) Efficiency of plant breeding. **Crop Science** 55(1): 87-97.
- Coelho AE, Tochetto C, Turek TL, Michelon LH, Fioreze SL (2017) Inoculação de sementes com *Azospirillum brasilense* em plantas de milho submetidas à restrição hídrica. **Scientia Agraria Paranaensis** 16(2):186-192.
- Core Team RR: A language and environment for statistical computing (2013) **R Foundation for Statistical Computing**. Disponível em: <http://www.R-project.org>, Acesso: 03 fevereiro de 2019.
- Curá J, Franz D, Filosofía J, Balestrasse K, Burgueño L (2017) Inoculation with *Azospirillum* sp. and *Herbaspirillum* sp. bacteria increases the tolerance of maize to drought stress. **Microorganisms** 5(3):41.
- Dalla Santa OR, Socol CR, Ronzelli Junior P, Hernández RF, Alvarez GLM, Dalla Santa ES, Pandey A (2004) Effects of inoculation of *Azospirillum* sp. in maize seeds under field conditions. **Food, Agriculture & Environment** 2:238-242.
- Di Salvo F (2011) **Obtenção de variedades sintéticas de milho**. 36f. **Dissertação** (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Unesp, Jaboticabal.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) - Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo (2010) **Cultivo do milho**. 6ed. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo.

Fageria ND, Kluthcouski J (1980) **Metodologia para avaliação de cultivares de arroz e feijão para condições adversas de solo** Brasília: EMBRAPA-CNPAF, 22p.

Fidelis RR, Miranda GV, Pelúzio JM, Galvão JCC (2010) Classificação de populações de milho quanto à eficiência e resposta ao uso de fósforo. **Acta Scientiarum Agronomy** 32(2):241-246.

Fornasieri Filho D (2007) **Manual da cultura do milho**. Jaboticabal: Funep, 576p.

Gorjanc G, Jenko J, Hearne SJ, Hickey JM (2016) Initiating maize pre-breeding programs using genomic selection to harness polygenic variation from landrace populations. **BMC genomics** 17(1):30.

Hungria M, Campo RJ, Souza EM, Pedrosa FO (2010) Inoculation with selected strains of *Azospirillum brasilense* and *A. lipoferum* improves yields of maize and wheat in Brazil. **Plant and Soil** 331:413-425.

Koppen W (1948) **Climatologia**: con un studio de los climas de la tierra. México: Fondo de Cultura Econômica, 478p.

Ladha JK, Tirol-Padre A, Reddy CK, Cassman KG, Verma S, Powlson DS, van Kessel C, Richter DB, Chakraborty D, Pathak H (2016) Global nitrogen budgets in cereals: A 50-year assessment for maize, rice, and wheat production systems. **Scientific reports** 6(1):1-9.

Moutia JFY, Saumtally S, Spaepen S, Vanderleyden J (2010) Plant growth promotion by *Azospirillum* sp. in sugarcane is influenced by genotype and drought stress. **Plant and soil** 337(1-2):233-242.

Muller A, Schader C, Scialabba NEH, Brüggemann J, Isensee A, Erb KH, Smith P, Klocke P, Stolze M, Niggli U (2017). Strategies for feeding the world more sustainably with organic agriculture. **Nature communications** 8(1):1290. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41467-017-01410-w>. Acesso em: 05 abr. 2019.

Oliveira RP, Lima SF, Alvarez RDCF, Baldani VLD, Oliveira MP, Brasil MS (2018) *Azospirillum brasilense* Inoculation And Management Of Fertilizer Nitrogen In Maize. **Brazilian Journal Of Agriculture** 93(3):347-361.

Qiao C, Liu L, Hu S, Compton JE, Greaver TL, Li Q (2015) How inhibiting nitrification affects nitrogen cycle and reduces environmental impacts of anthropogenic nitrogen input. **Global change biology** 21(3):1249-1257.

Sangoi L, Maraschi da Silva LM, Renan Mota M, Panison F, Schmitt A, de Souza NM, Giordani W, Schenatto DE (2015) Desempenho agrônômico do milho em razão do tratamento de sementes com *Azospirillum* sp. e da aplicação de doses de nitrogênio mineral. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 39(4): 1141-1150.

SAS Institute Inc (2009) **SAS/STAT® user's guide, version 9.2**. 2ed. Cary (N.C): SAS Institute Inc.

Scapim CA, de Carvalho CGP, Cruz CD (1995). Uma proposta de classificação dos coeficientes de variação para a cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 30(5):683-686.

Shao HB, Chu LY, Jaleel CA, Zhao CX (2008) Water-deficit stress-induced anatomical changes in higher plants. **Comptes rendus biologiques** 331(3):215-225. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.crvi.2008.01.002>. Acesso em: 31 out. 2019.

Shull GH (1908) The composition of a field of maize. **American Breeding Association Report** 4:296-301.

Souza EDFC, Soratto RP (2006) Efeito de fontes e doses de nitrogênio em cobertura, no milho safrinha, em plantio direto. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo** 5(3): 395-405.

USDA, FAS (2019) **Production, Supply and Distribution (PS&D)**. Disponível em: <https://ipad.fas.usda.gov/cropexplorer/cropview/commodityView>. Acesso em: 09 abr. 2019.

Van Deynze A, Zamora P, Delaux PM, Heitmann C, Jayaraman D, Rajasekar S, Graham D, Maeda J, Gibson D, Schwartz KD, Berry AM, Bhatnagar S, Jospin, G, Darling A, Jeannotte R, Lopez J, Weimer BC, Eisen JA, Shapiro HY, Ané JM, Bennett AB (2018) Nitrogen fixation in a landrace of maize is supported by a mucilage-associated diazotrophic microbiota. **PLoS biology** 16(8):1-21.

Vencovsky R, Barriga P (1992) **Genética biométrica no fitomelhoramento**. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 496p.

Wu Y, Liu W, Li X, Li M, Zhang D, Hao Z, Weng J, Xu Y, Bai L, Zhang S, Xie C (2011) Low-nitrogen stress tolerance and nitrogen agronomic efficiency among maize inbreds: comparison of multiple indices and evaluation of genetic variation. **Euphytica** 180:281-290.

CAPÍTULO 3 - Análise dialélica de genótipos de milho eficientes no uso de

Azospirillum brasilense

RESUMO - A análise dialélica, associada a estudos de controle genético da eficiência no uso de *Azospirillum brasilense*, é capaz de gerar informações para seleção de genótipos de milho com bom desempenho nos ambientes inoculados com o microrganismo. Assim, o objetivo deste trabalho foi analisar 66 genótipos, resultantes do cruzamento dialélico, por meio das capacidades de combinação e tipo de ação gênica associada à eficiência no uso de *Azospirillum brasilense*. Foram analisadas as eficiências no uso de *A. brasilense* para altura de planta (EAP), altura de espiga (EAE), produtividade de grãos (EPG), prolificidade (EPRO) e plantas em pé (EPP), em dois anos consecutivos, no período de segunda safra. Os resultados indicaram presença da ação gênica aditiva e dominante na expressão das eficiências estudadas, com maior influência dos efeitos aditivos em EPG, e dos efeitos dominantes para as demais eficiências. Houve diferença quanto à concentração de alelos favoráveis dos parentais e da complementariedade dos cruzamentos. Os resultados auxiliam na compreensão dos mecanismos envolvidos na eficiência no uso de *A. brasilense*, possibilitando aos programas de melhoramento desenvolver cultivares de milho para ambientes com redução da dose de aplicação de fertilizantes nitrogenados e inoculação com *Azospirillum brasilense*.

Palavras-chave: bactérias diazotróficas, capacidade de combinação, produtividade, *Zea mays* L.

Diallelic analysis of maize genotypes use efficient in *Azospirillum brasilense*

ABSTRACT - The diallel analysis associated with genetic control studies of use efficiency of *Azospirillum brasilense* is able to produce information for selection of maize genotypes with good performance in environments inoculated with the microorganism. Thus, the aim of this work was to analyze 66 genotypes, resulting from a diallel crossing, through the combination ability and type of genetic action associated with the use efficiency of *Azospirillum brasilense*. *A. brasilense* use efficiencies were analyzed for plant height (EAP), ear height (EAE), grain yield (EPG), prolificacy (EPRO) and percentage of standing plants (EPP), in two consecutive years, in the second season. The results indicated presence of additive and dominant genetic action in the expression of the studied efficiencies, with greater influence of additive effects in EPG, and of dominant effects for the other efficiencies. There was a difference in the concentration of favorable alleles of the parents and also in the complementarity of the crossings. The results help to understand the mechanisms involved in the *A. brasilense* use efficiency, allowing breeding programs to develop maize cultivars for environments with reduced nitrogen fertilizer application and inoculation with *Azospirillum brasilense*.

Keywords: diastrophic bacteria, combining ability, *Zea mays* L.

INTRODUÇÃO

Benefícios proporcionados com o uso de fertilizantes sintéticos à agricultura são inegáveis. Contudo, o uso indiscriminado destes insumos acarreta em sérias consequências econômicas e ambientais (Ashraf et al., 2016; Han et al., 2015). O uso de fertilizantes químicos nitrogenados tem impulsionando a agricultura do último século, e sua aplicação se faz necessária, pois apesar de abundante na atmosfera, há pouco nitrogênio disponível no solo na forma metabolizada pelas plantas (Okumura et al., 2011). A principal questão em relação a este manejo é o destino da fração de nitrogênio aplicado que não é assimilado pela planta e, portanto, perdido por processos de volatilização e lixiviação, contaminando assim o meio ambiente (Bowles et al., 2018).

Uma alternativa sustentável, visando à redução da aplicação de fertilizantes químicos nitrogenados, é a comercialização de inoculantes, produto formado por estirpes de bactérias capazes de realizar associação com plantas (Oliveira et al., 2017). Para Zeffa et al. (2018), os benefícios obtidos com a associação, são decorrentes dos mecanismos das bactérias promotoras de crescimento vegetal em produzir fitohormônios e fixar biologicamente o nitrogênio. A partir da produção de hormônios vegetais, as plantas são capazes de melhorar a arquitetura das raízes, expandido a área de alcance radicular e, conseqüentemente, aumentando a captação de água e nutrientes (Vidotti et al., 2019). Na fixação biológica de nitrogênio as bactérias diazotróficas captam o nitrogênio atmosférico (N_2) e o convertem em formas acessíveis para as plantas (NH_4^+) (Brusamarello-Santos et al., 2017). O gênero *Azospirillum* é um dos mais estudados na associação com gramíneas, com avanços principalmente nas pesquisas com milho, um dos principais

cereais cultivados e consumidos mundialmente (Koltun et al., 2018; Revolti et al., 2018; Hungria et al., 2010).

Desenvolver genótipos de milho eficientes no uso de *Azospirillum* tem como principais vantagens a elevação do ganho econômico e redução da contaminação ambiental, por diminuição do uso de fertilizantes sintéticos nitrogenados (Vidotti et al., 2019; Han et al., 2015). Segundo Buzinaro et al. (2018), a partir de uma população com alta variabilidade genética, é possível estabelecer estratégias de seleção e obter linhagens que darão origem a híbridos eficientes no uso de *A. brasilense*. Contudo, o processo de obtenção de novas cultivares é bastante complexo e despende muitos anos até alcançar os objetivos propostos (Watson et al., 2018). Conhecer o tipo de ação gênica envolvida na expressão das eficiências, auxilia os pesquisadores a otimizar o processo de seleção ainda em estágios iniciais do programa de melhoramento, levando adiante apenas genótipos com melhor desempenho *per se* e em combinações de cruzamentos (Vidotti et al., 2019).

Assim, o objetivo deste trabalho foi realizar a análise de cruzamentos dialélicos para eficiências no uso de *Azospirillum brasilense* de diferentes caracteres em milho.

MATERIAL E MÉTODOS

Os genótipos utilizados foram 66 híbridos intersintéticos de milho, obtidos de cruzamentos controlados no ano de 2016, a partir de 12 parentais. Como parentais foram utilizadas variedades sintéticas, obtidas de grupos de linhagens endogâmicas distintas pertencentes à empresa comercial Phoenix Agrícola Ltda. Os 12 sintéticos foram cruzados em esquema dialélico completo e sem recíprocos, dando origem aos

híbridos intersintéticos. O esquema para obtenção dos sintéticos foi o mesmo utilizado por Di Salvo (2011).

Na segunda safra dos anos de 2017 e 2018, os 66 genótipos foram semeados, implantando dois experimentos a cada ano, conduzidos igualmente, mas com coberturas distintas. O delineamento experimental foi de blocos ao acaso, com quatro repetições de cada genótipo e parcelas constituídas de duas linhas de 5,0 m cada, espaçadas a 0,5 m, totalizando 30 plantas por parcela e representando uma população de 60.000 plantas·ha⁻¹.

O local de implantação dos experimentos foi a Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão (FEPE) da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP Jaboticabal-SP, onde o clima é considerado subtropical, com chuvas de verão e inverno relativamente seco, e o solo é classificado como Latossolo Vermelho Eutrófico. Os dados da análise de solo da área experimental e as informações climatológicas do período de condução em campo foram coletados, para cada ano, sendo apresentados a seguir (Tabela 1 e Figura 1).

Tabela 1. Resultados da análise de solo, na camada de 0-20cm, obtidos de uma amostra composta, por 10 subamostras, coletadas ao acaso nas áreas de implantação dos experimentos de milho no período de segunda safra nos anos de 2017 e 2018 em Jaboticabal-SP.

Anos	Parâmetros do solo										
	N %	pH CaCl ₂	M.O. g·dm ⁻³	P mg·dm ⁻³	S mg·dm ⁻³	Ca	Mg	K	H + Al	CTC	V %
2017	0.18	5.45	24.37	8.26	7.07	38.73	16.98	3.08	20.13	78.93	74.17
2018	0.10	5.99	20.94	9.66	5.00	27.82	7.29	3.49	21.76	60.36	63.34

Dados Climatológicos

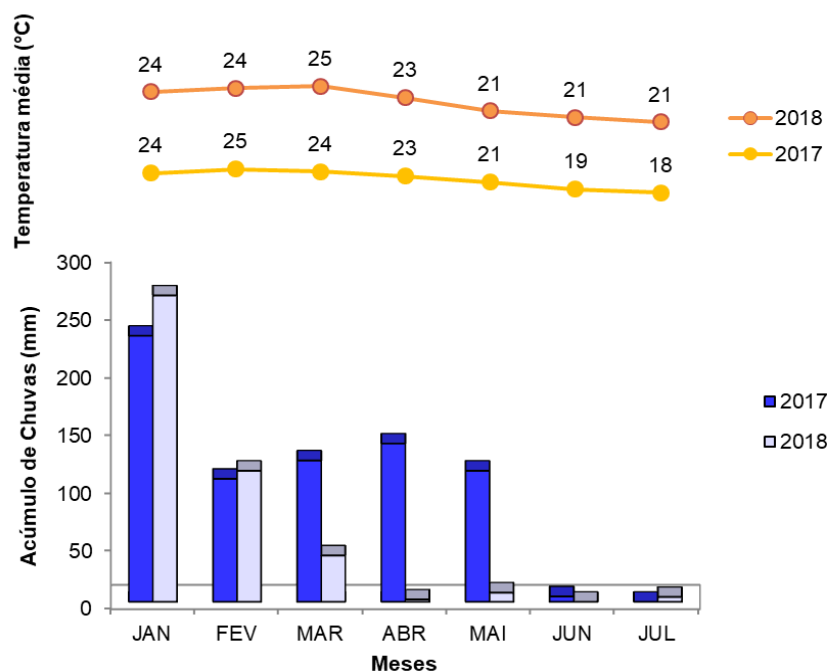


Figura 1. Dados climáticos de média das temperaturas (°C) e acúmulo de precipitação pluviométrica (mm), durante o cultivo de milho segunda safra nos anos de 2017 e 2018 em Jaboticabal-SP.

Os experimentos foram semeados mecanicamente com semeadora de parcelas, em fevereiro de 2017 e janeiro de 2018, e aplicação de $350 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ do formulado N-P-K 8-28-16, nos sulcos de plantio. As coberturas foram realizadas quando as plantas encontravam-se em estágio vegetativo V4-V5 (Fornasieri Filho 2007), sempre próximo ao colo da planta. Para o experimento 1, aplicou-se ureia como adubo químico nitrogenado, em dose de $311 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$. No experimento 2 foi utilizada uma mistura comercial de estirpes AbV5 e AbV6 de *Azospirillum brasilense* (QualyFix Gramíneas®), na dose de $600 \text{ ml} \cdot \text{ha}^{-1}$. Os demais tratamentos culturais seguiram as recomendações técnicas para a cultura (Embrapa, 2010).

Os caracteres avaliados foram altura de planta (AP), mensurada do colo da planta até a inserção da folha bandeira, expressa em m; altura da espiga (AE),

mensurada do colo da planta até a inserção da espiga principal, expressa em m; produtividade de grãos (PG), obtida com a pesagem dos grãos de cada parcela, corrigindo a umidade para 13% e estande, por covariância de estande ideal, extrapolando os valores obtidos para t·ha⁻¹; prolificidade (PRO), razão entre o número de espigas e estande total da parcela; plantas em pé (PP), porcentagem do estande total da parcela menos as plantas quebradas no colmo, abaixo da espiga principal, e/ou acamadas, com angulo abaixo de 45° do solo, expressa em decimais.

Foram calculadas as eficiências no uso de *Azospirillum brasilense* para cada caráter (EAP, EAE, EPG, EPRO e EPP), de acordo com a equação adaptada de Wu et al. (2011):

$$EUAY_n = \frac{Y_n(2)^2}{Y_n(1)}, \text{ sendo:}$$

EUAY_n – eficiência ao uso de *Azospirillum brasilense* para o *Y*-ésimo caráter do *n*-ésimo genótipo; *Y_n (2)* – média do *Y*-ésimo caráter do *n*-ésimo genótipo do experimento com inoculação de *Azospirillum brasilense*; *Y_n (1)* – média do *Y*-ésimo caráter do *n*-ésimo genótipo do experimento com aplicação de ureia em cobertura.

Essas eficiências estimadas foram consideradas como variáveis a serem estudadas em todas as análises estatísticas realizadas no trabalho. O conjunto de dados foi submetido às análises de variância individual e conjunta. A partir destes resultados, foi feito o desdobramento dos genótipos na análise dialélica, seguindo a metodologia proposta por Griffing (1956), com modelo I e método 4. Neste método são considerados apenas os F₁'s, representados pelos 66 genótipos, a partir dos quais, estima-se a capacidade geral (CGC) e específica (CEC) de combinação, de acordo com o modelo:

$$Y_{ij} = \mu + g_i + g_j + s_{ij} + \varepsilon_{ij}, \text{ em que:}$$

Y_{ij} – valor observado do cruzamento entre os parentais i e j ; μ – média geral; g_i e g_j – efeitos da capacidade geral de combinação do i -ésimo e j -ésimo parentais, respectivamente; s_{ij} – efeito da capacidade específica de combinação do cruzamento entre os parentais i e j ; e ε_{ij} – erro experimental.

A importância relativa da CGC e CEC, para cada uma das eficiências, foram estimadas pela proporção entre as somas de quadrados, segundo a razão:

$$CGC\% = \left(\frac{SQ_{CGC}}{SQ_{Genótipo}} \right) \times 100 \text{ e } CEC\% = \left(\frac{SQ_{CEC}}{SQ_{Genótipo}} \right) \times 100, \text{ sendo:}$$

SQ_{CGC} – soma de quadrados da capacidade geral de combinação; SQ_{CEC} – soma de quadrados da capacidade específica de combinação; $SQ_{Genótipo}$ – soma de quadrados do genótipo. A partir da razão, determinou-se o tipo de ação gênica envolvida na expressão das eficiências.

Para realizar as análises foram utilizados os softwares estatísticos R RStudio (R Core Team, 2013) e Genes (Cruz, 2013).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A significância pelo teste F das fontes de variação ano e genótipo x ano, foram observadas para todas as eficiências (Tabela 2). Para a fonte de variação genótipo apenas EPG foi significativa, sendo assim ao menos um dos genótipos diferente dos demais para esta eficiência relacionada com o caráter de maior importância dentre os avaliados. Essas informações também sugerem que as

condições ambientais foram distintas entre os anos, indicando que a análise dos dados deva ser reportada de forma individualizada. Na análise individual, em ambos os anos, a fonte de variação genótipo foi significativa para todas as eficiências. Segundo Gholizadeh et al. (2018), genótipos significativos para todos os caracteres avaliados indicam uma seleção apropriada dos parentais em um cruzamento dialélico, situação na qual se enquadra o presente trabalho.

Tabela 2. Resumo da análise de variância dialélica individual e conjunta, com quadrados médios (QM), coeficientes de variação (CV%) e médias dos 66 genótipos de milho segunda safra nos anos 2017 e 2018, para eficiência no uso de *Azospirillum brasilense* da altura de planta (EAP), altura de espiga (EAE), produtividade de grãos (EPG), prolificidade (EPRO) e plantas em pé (EPP).

FV ¹	GL ²	EAP (m)	EAE (m)	EPG (t·ha ⁻¹)	EPRO	EPP
Conjunta						
Genótipo	65	0,15 ^{ns}	0,09 ^{ns}	1,13 ^{**}	0,35 ^{ns}	0,09 ^{ns}
CGC ³	11	0,27 ^{ns}	0,09 ^{ns}	3,90 [*]	0,34 ^{ns}	0,04 ^{ns}
CEC ⁴	54	0,13 ^{ns}	0,10 ^{ns}	0,56 ^{ns}	0,36 ^{ns}	0,10 ^{ns}
Ano	1	5,70 ^{**}	0,85 ^{**}	716,00 ^{**}	2,55 ^{**}	11,14 ^{**}
Genótipo x Ano	65	0,17 ^{**}	0,09 [*]	0,59 ^{**}	0,38 ^{**}	0,07 ^{**}
CGC x Ano	11	0,31 ^{**}	0,14 [*]	1,36 ^{**}	0,55 ^{**}	0,06 ^{ns}
CEC x Ano	54	0,14 ^{**}	0,08 ^{ns}	0,43 ^{**}	0,34 ^{**}	0,07 ^{**}
Resíduo	390	0,08	0,06	0,22	0,14	0,04
Média		1,63	1,00	1,53	0,74	0,87
CV (%)		20,22	28,38	30,00	51,90	22,38
2017						
Genótipo	65	0,05 [*]	0,05 [*]	1,49 ^{**}	0,23 ^{**}	0,08 ^{**}
CGC ³	11	0,10 [*]	0,05 ^{ns}	4,45 ^{**}	0,23 ^{ns}	0,09 ^{ns}
CEC ⁴	54	0,05 ^{ns}	0,05 [*]	0,89 ^{**}	0,23 ^{**}	0,07 ^{**}
Resíduo	195	0,04	0,03	0,40	0,12	0,04
Média		1,73	0,96	2,69	0,81	0,73
CV (%)		18,00	11,00	23,60	43,00	27,40
2018						
Genótipo	65	0,28 ^{**}	0,14 [*]	0,23 ^{**}	0,51 ^{**}	0,09 ^{**}
CGC ³	11	0,49 [*]	0,19 ^{ns}	0,82 ^{**}	0,66 ^{ns}	0,02 ^{ns}
CEC ⁴	54	0,23 ^{**}	0,13 [*]	0,10 ^{**}	0,48 ^{**}	0,10 ^{**}
Resíduo	195	0,13	0,09	0,03	0,16	0,03
Média		1,52	1,04	0,36	0,67	1,02
CV (%)		29,50	23,80	47,70	60,00	17,90

¹ fonte de variação; ² graus de liberdade; ³ capacidade geral de combinação; ⁴ capacidade específica de combinação; teste F, ^{ns}, * e **, não significativo, significativo a 5% de probabilidade e a 1% de probabilidade, respectivamente.

Ainda na Tabela 2, verificamos a significância da capacidade geral de combinação para EAP e EPG, em ambos os anos, e a interação CGC x ano foi significativa para todas as eficiências com exceção de EPP. A capacidade específica de combinação foi significativa para todas as eficiências em 2018 e no ano de 2017 apenas EAP não foi significativa, já a interação CEC x ano apresentou significância para todas as eficiências, exceto para EAE. As interações significativas reforçam a ideia da análise individualizada das eficiências, visto que os anos assumiram comportamento contrastante, fato este validado principalmente pela variação de suas médias (dados não apresentados). Uma das explicações, que justificam tais resultados, está na maior influência dos fatores ambientais nos caracteres agronômicos avaliados para obtenção das eficiências (Murtadha et al., 2018).

De 2017 para 2018, houve uma drástica redução nas médias dos caracteres, sendo estes valores facilmente explicados pela interferência ambiental, dada as condições atípicas de seca intensa em 2018. O déficit hídrico é, dentre os fatores de estresse abiótico, o de maior interferência no desenvolvimento das espécies cultivadas, levando a comportamentos inesperados dos genótipos (Shao et al. 2008). A resposta da planta exposta a essa forma de estresse depende, entre outros fatores, do estágio fenológico em que a cultura se encontra e do grau de severidade do déficit hídrico. No trabalho de Curá et al. (2017), os autores explanam sobre a necessidade de lidar com o cenário de intensificação do déficit hídrico ao longo dos próximos anos, ocasionado em decorrência dos efeitos do aquecimento global.

Como, para todas as eficiências, houve significância de pelo menos uma das capacidades de combinação, os efeitos genéticos foram considerados como aditivo e dominante apenas (Fehr, 1993). Os valores expressos pela razão CGC/CEC

(Figura 2), indicam maior influência da ação gênica aditiva no controle de EPG (50% e 60%), em ambos os anos. A significância de EPG tanto para CGC como para CEC, podem estar relacionada ao fato de existirem diferentes graus de dominância, visto que se não houver presença do efeito dominante a CEC não acusa significância (Vencovsky e Barriga, 1992). Em ambos os anos, as eficiências EAP, EAE, EPRO e EPP apresentaram maior expressão da ação gênica dominante. Com exceção de EAP, as demais eficiências tiveram resultados endossados pela não significância destas para CGC, sendo os valores máximos do efeito aditivo destas eficiências de 19% (EPP) em 2017 e 22% (EAE) para 2018. Os efeitos aditivos de EAP também foram inferiores aos dominantes, contudo seus valores se mantiveram em torno de 30%.

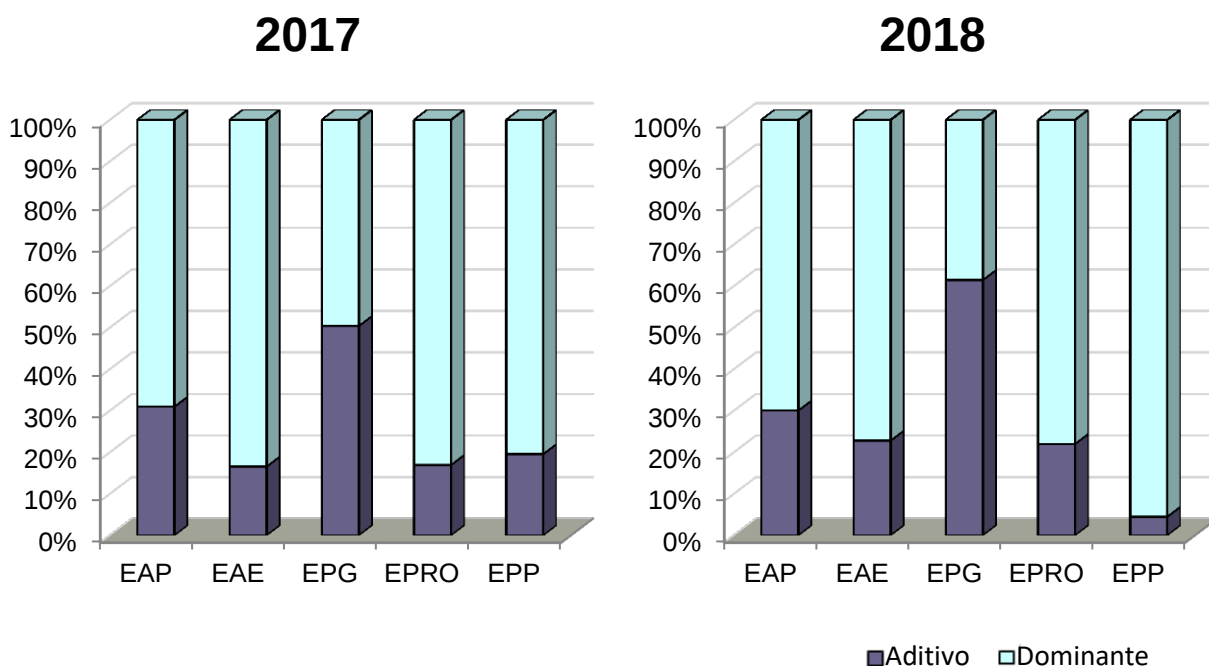


Figura 2. Proporção de efeito aditivo (barra inferior) e dominante (barra superior) envolvidos na expressão da eficiência no uso de *Azospirillum brasilense* da altura de planta (EAP), altura de espiga (EAE), produtividade de grãos (EPG), prolificidade (EPRO) e plantas em pé (EPP) de 66 genótipos de milho segunda safra nos anos 2017 e 2018 em Jaboticabal-SP.

Parentais com maior concentração de alelos favoráveis para um determinado caráter são aqueles com efeitos de CGC positivos e de maior magnitude, sendo os efeitos negativos relacionados à diminuição desta concentração e valores próximos à zero, relativos ao desempenho similar à média dos parentais do dialelo (Zhang et al., 2017; Cruz et al., 2012;).

Portanto, a maior concentração de alelos favoráveis para EAP foram encontradas nos parentais 9 (0,07), 10 (0,06) e 11 (0,07) para 2017 e 2 (0,13), 3 (0,11), e 12 (0,17) no ano de 2018 (Tabela 3). Esses parentais tem potencial de incrementar a altura de planta, em situação de substituição da adubação nitrogenada pela inoculação de *Azospirillum brasilense*, favorecendo assim a área fotossintética e consequentemente a produtividade de grãos (Nzuve et al., 2014). No melhoramento de milho, qualquer incremento na altura de planta deve ser ponderado devido ao impacto deste no tombamento (Fernandez et al., 2009). No entanto, como os genótipos apresentaram porte baixo (dados não apresentados), a seleção favorecendo a altura não é considerada um problema.

Para a EPG os parentais com maiores efeitos positivos de CGC foram 3 (0,66) e 12 (0,45), no ano de 2017, e 4 (0,16) e 12 (0,33) em 2018. O parental 12 se destacou com altos valores de CGC para EPG e simultaneamente EAP, em 2018, sendo uma boa opção no intuito de promover maiores produtividades e plantas de maior porte na continuidade do programa voltado a eficiência no uso de *A. brasilense*.

Tabela 3. Efeitos da capacidade geral de combinação (CGC) para a eficiência no uso de *Azospirillum brasilense* da altura de planta (EAP), altura de espiga (EAE), produtividade de grãos (EPG), prolificidade (EPRO) e plantas em pé (EPP) de 12 parentais de milho segunda safra nos anos 2017 e 2018 em Jaboticabal-SP.

Parentais	2017					2018				
	EAP (m)	EAE (m)	EPG (t·ha ⁻¹)	EPRO	EPP	EAP (m)	EAE (m)	EPG (t·ha ⁻¹)	EPRO	EPP
1	0,04	0,00	-0,23	0,04	-0,03	-0,01	-0,06	-0,14*	-0,12	0,04
2	0,00	0,07	-0,40**	-0,07	-0,04	0,13**	0,06	-0,13*	-0,10	0,00
3	-0,05*	-0,02	0,66**	0,09	-0,02	0,11*	0,08	0,01	-0,06	0,01
4	-0,03	-0,03	0,07	-0,09	-0,10	0,00	0,04	0,16*	0,03	-0,02
5	-0,01	-0,01	-0,08	-0,04	0,00	-0,01	0,04	0,01	0,16	-0,02
6	-0,04	0,05	-0,44**	-0,04	0,05	-0,23**	-0,13	-0,07	-0,13	0,01
7	-0,03	0,04	-0,24	-0,02	-0,03	-0,12*	-0,04	-0,14*	0,25	0,01
8	0,00	-0,01	0,18	0,10	0,07	-0,06	-0,03	0,04	-0,13	0,01
9	0,07**	0,01	0,05	0,02	0,03	0,06	-0,02	-0,11	-0,11	0,00
10	0,06**	-0,05	-0,20	-0,02	0,03	-0,01	-0,01	-0,07	0,07	-0,04
11	0,07**	-0,03	0,17	-0,10	0,04	-0,02	-0,04	0,11	0,08	-0,04
12	-0,08**	-0,01	0,45**	0,12	-0,01	0,17**	0,12	0,33**	0,08	0,03

Teste t, * e **, significativo a 5% de probabilidade e a 1% de probabilidade, respectivamente.

Os maiores efeitos positivos da CEC se referem às melhores complementações entre os parentais. Ou seja, se um dos parentais tem baixa frequência de alelos favoráveis e no mesmo loco houver alta frequência destes alelos por parte do outro parental, teremos, portanto, uma boa complementação neste cruzamento (Vencovsky e Barriga, 1997).

No presente trabalho, os cruzamentos com melhor complementariedade em 2017 foram entre os parentais 1x4, 1x7, 1x12, 2x9, 2x11, 3x4, 3x5, 4x10, 4x11, 4x12, 5x8, 5x12, 6x12, 7x9 e 9x10 para EAE, 1x6, 1x10, 1x12, 2x8, 3x12, 4x11, 5x8, 5x10, 7x12 e 8x10 para EPG, 1x12 e 8x11 para EPRO e 2x7, 3x4, 8x12 e 10x11 para EPP (Tabela 4).

Tabela 4. Efeitos da capacidade específica de combinação (CEC) para a eficiência no uso de *Azospirillum brasilense* da altura de planta (EAP), altura de espiga (EAE), produtividade de grãos (EPG), prolificidade (EPRO) e plantas em pé (EPP) de 12 parentais de milho segunda safra no ano de 2017 em Jaboticabal-SP.

2017											
Cruz. ¹	EAP (m)	EAE (m)	EPG (t·ha ⁻¹)	EPRO	EPP	Cruz. ¹	EAP (m)	EAE (m)	EPG (t·ha ⁻¹)	EPRO	EPP
1 x 2	0,06	-0,04	0,06	-0,34	0,02	4 x 8	-0,07	-0,12*	-0,53**	-0,03	0,09
1 x 3	-0,14	0,03	-0,86**	-0,40	-0,05	4 x 9	-0,02	-0,11*	-0,17	0,03	-0,08
1 x 4	-0,03	0,11*	0,18	0,22	0,09	4 x 10	-0,10	0,14**	0,21	0,01	-0,17*
1 x 5	0,09	-0,02	-0,46*	-0,03	0,11	4 x 11	0,13	0,11*	1,56**	0,02	0,02
1 x 6	-0,08	-0,10	0,38*	0,17	0,09	4 x 12	-0,05	0,12*	-0,82**	-0,42	-0,14
1 x 7	0,05	0,16**	0,08	0,09	0,14	5 x 6	0,08	-0,20**	-0,16	-0,04	-0,13
1 x 8	-0,10	-0,14**	-0,56**	0,22	-0,06	5 x 7	0,04	0,06	0,02	0,34	0,00
1 x 9	0,22	-0,06	0,08	-0,23	0,01	5 x 8	-0,03	0,11*	0,52**	0,02	0,04
1 x 10	-0,10	-0,05	0,57**	-0,07	-0,06	5 x 9	-0,08	-0,12*	-0,22	-0,09	-0,01
1 x 11	0,12	-0,05	-0,16	-0,15	-0,16*	5 x 10	-0,02	0,06	0,47*	0,11	-0,22*
1 x 12	-0,09	0,15**	0,67**	0,51*	-0,11	5 x 11	-0,15	0,02	-0,57**	-0,32	0,03
2 x 3	0,16	-0,07	-0,11	-0,24	0,05	5 x 12	-0,17	0,10*	-0,06	0,05	0,12
2 x 4	-0,01	-0,01	-0,30	-0,12	-0,17*	6 x 7	-0,05	0,05	-0,24	-0,12	-0,03
2 x 5	0,05	0,01	0,12	-0,17	-0,09	6 x 8	-0,09	0,09	-0,75**	-0,15	-0,20*
2 x 6	0,03	-0,16**	0,13	-0,02	0,00	6 x 9	0,01	0,03	0,24	0,02	0,12
2 x 7	0,08	0,02	0,11	0,04	0,19*	6 x 10	0,05	-0,06	-0,10	0,02	0,06
2 x 8	0,08	-0,04	0,40*	0,45	0,05	6 x 11	-0,05	0,09	0,34	0,14	0,06
2 x 9	-0,05	0,21**	-0,02	0,17	0,12	6 x 12	-0,06	0,15**	0,15	-0,23	-0,01
2 x 10	-0,04	0,03	0,19	0,07	-0,12	7 x 8	-0,10	-0,02	0,13	-0,34	-0,10
2 x 11	-0,28	0,11*	-0,26	-0,14	-0,12	7 x 9	-0,04	0,11*	0,29	0,38	-0,19*
2 x 12	-0,07	-0,05	-0,35	0,29	0,06	7 x 10	0,02	-0,01	-0,29	-0,23	-0,06
3 x 4	-0,04	0,13**	-0,42*	0,05	0,21**	7 x 11	-0,02	-0,08	-0,42*	-0,11	-0,04
3 x 5	0,13	0,15**	0,04	-0,11	0,07	7 x 12	0,00	0,03	0,40*	0,14	0,04
3 x 6	0,05	0,09	0,08	0,15	0,04	8 x 9	0,09	0,06	0,27	-0,31	0,02
3 x 7	0,00	-0,10*	-0,16	-0,14	-0,03	8 x 10	0,02	0,02	0,50**	-0,12	0,01
3 x 8	0,01	0,07	0,29	-0,05	0,06	8 x 11	0,08	0,07	0,18	0,61*	-0,07
3 x 9	-0,08	-0,09	0,25	0,02	0,05	8 x 12	0,11	-0,10*	-0,45*	-0,30	0,15*
3 x 10	-0,07	-0,08	-0,32	0,40	-0,07	9 x 10	-0,10	0,11*	-0,46*	-0,18	0,07
3 x 11	-0,01	-0,07	-0,01	0,17	-0,24**	9 x 11	0,12	0,02	-0,42*	0,15	-0,08
3 x 12	-0,02	-0,07	1,20**	0,16	-0,09	9 x 12	-0,07	-0,15**	0,16	0,05	-0,03
4 x 5	0,05	-0,17**	0,29	0,23	0,08	10 x 11	-0,01	-0,09	-0,06	-0,07	0,57*
4 x 6	0,11	0,01	-0,07	0,05	-0,01	10 x 12	0,34	-0,05	-0,72**	0,06	-0,03
4 x 7	0,02	-0,22**	0,07	-0,05	0,07	11 x 12	0,07	-0,13*	-0,18	-0,30	0,04

¹Cruzamentos; Teste t, * e **, significativo a 5% de probabilidade e a 1% de probabilidade, respectivamente.

O cruzamento 1x12 teve bons resultados do efeito de CEC (Tabela 4), para EAE (0,15), EPG (0,67) e EPRO (0,51), e ainda, o parental 12 apresenta elevada CGC para EPG (Tabela 3), possibilitando a recomendação deste cruzamento segundo Cruz et al. (2012). Efeitos genéticos aditivos, vinculados a elevadas CGC, são herdáveis nas gerações segregantes, o que é importante ao considerar uma seleção de sucesso dos parentais (Gholizadeh et al., 2018). Assim sendo, cruzamentos com elevada CEC onde pelo menos um dos parentais apresenta também elevada CGC, são mais recomendados para uma seleção eficaz. A combinação 4x11 e 5x8 apresentaram bons valores de CEC para EAE (0,14 e 0,11) e EPG (0,21 e 0,52), porém 4x11 apresenta o parental 11 com elevada CGC para EAP, enquanto que 5x8 não tem presença de um parental com elevada CGC. Similarmente, o cruzamento 3x4 apresentou boa CEC para EAE e EPP, mas sem parentais com elevada CGC.

Elevadas produtividades são sempre desejáveis, independente dos objetivos específicos de cada programa de melhoramento. Diversos trabalhos relatam efeitos positivos na elevação da produtividade de grãos quando associado à inoculação de *Azospirillum brasilense*, em alternativa a aplicação de fertilizantes nitrogenados (Buzinaro et al., 2018; Zeffa et al., 2018; Oliveira et al., 2017; Costa et al., 2015, Hungria et al., 2010).

Os cruzamentos específicos em 2018 com elevados e positivos valores de CEC foram 2x9 e 3x10 para EAP, 1x12, 2x9, 3x10 e 5x9 para EAE, 3x11, 4x5, 8x11 e 11x12 para EPG e 1x2, 2x7, 2x10, 4x7, 5x9 e 8x12 para EPP (Tabela 5).

Tabela 5. Efeitos da capacidade específica de combinação (CEC) para a eficiência no uso de *Azospirillum brasilense* da altura de planta (EAP), altura de espiga (EAE), produtividade de grãos (EPG), prolificidade (EPRO) e plantas em pé (EPP) de 12 parentais de milho segunda safra no ano de 2018 em Jaboticabal-SP.

2018											
Cruz. ¹	EAP (m)	EAE (m)	EPG (t.ha ⁻¹)	EPRO	EPP	Cruz. ¹	EAP (m)	EAE (m)	EPG (t.ha ⁻¹)	EPRO	EPP
1 x 2	-0,31	-0,08	0,01	-0,15	0,35**	4 x 8	0,18	0,18	-0,02	-0,12	-0,16
1 x 3	0,22	-0,16	0,01	0,30	0,01	4 x 9	-0,16	-0,02	-0,11	-0,36	0,07
1 x 4	-0,05	-0,05	-0,10	-0,05	-0,02	4 x 10	0,07	0,09	-0,05	0,90	0,06
1 x 5	0,04	0,17	-0,08	-0,11	0,02	4 x 11	-0,26	-0,16	0,01	-0,33	0,02
1 x 6	-0,11	-0,02	-0,02	-0,22	-0,05	4 x 12	-0,29	-0,15	-0,39**	0,56	-0,16
1 x 7	-0,22	-0,14	0,02	-0,24	-0,17	5 x 6	-0,11	-0,14	-0,04	0,02	-0,18
1 x 8	0,10	-0,14	-0,01	0,82	-0,02	5 x 7	0,01	0,05	0,10	0,32	-0,04
1 x 9	0,10	0,11	0,00	0,04	-0,14	5 x 8	-0,21	-0,12	-0,14	0,08	-0,03
1 x 10	-0,09	0,07	0,05	-0,28	0,01	5 x 9	0,30	0,34*	-0,02	0,53	0,28**
1 x 11	-0,09	-0,08	-0,06	0,15	0,10	5 x 10	0,17	0,06	-0,06	-0,34	-0,12
1 x 12	0,41	0,33*	0,17	-0,25	-0,11	5 x 11	0,00	0,06	-0,29**	-0,38	0,12
2 x 3	0,04	0,08	-0,10	0,50	-0,15	5 x 12	-0,09	-0,04	0,12	0,16	-0,03
2 x 4	0,19	0,06	0,18	-0,15	-0,27**	6 x 7	-0,11	-0,01	0,01	0,37	0,17
2 x 5	-0,02	-0,37**	-0,07	-0,19	0,00	6 x 8	-0,14	-0,01	-0,05	-0,27	-0,15
2 x 6	-0,20	-0,16	-0,05	0,24	-0,08	6 x 9	0,13	0,07	0,07	0,55	0,08
2 x 7	0,21	0,23	0,06	0,05	0,21*	6 x 10	-0,04	-0,12	0,12	-0,21	0,02
2 x 8	0,07	0,07	0,02	-0,14	-0,23*	6 x 11	0,08	0,05	-0,06	-0,20	0,04
2 x 9	0,65**	0,45**	-0,03	-0,34	0,06	6 x 12	0,24	0,21	-0,02	-0,20	0,13
2 x 10	-0,39	-0,29*	0,19	-0,06	0,22*	7 x 8	-0,06	-0,11	0,05	-0,20	-0,01
2 x 11	0,12	0,25	-0,10	0,36	-0,02	7 x 9	0,02	-0,05	0,14	-0,19	-0,21*
2 x 12	-0,35	-0,25	-0,09	-0,13	-0,10	7 x 10	-0,14	-0,05	0,00	-0,14	-0,15
3 x 4	-0,12	-0,06	-0,06	0,09	0,14	7 x 11	-0,11	0,03	-0,21	-0,33	-0,04
3 x 5	-0,36	-0,19	-0,10	0,17	-0,08	7 x 12	0,42	0,21	-0,14	0,79	-0,03
3 x 6	0,03	0,01	0,03	-0,04	0,00	8 x 9	-0,11	-0,07	0,00	-0,10	-0,09
3 x 7	0,03	0,04	0,04	-0,17	0,03	8 x 10	0,21	0,20	0,01	-0,03	0,17
3 x 8	-0,06	0,08	-0,09	-0,34	-0,01	8 x 11	-0,02	-0,02	0,31**	0,56	-0,01
3 x 9	-0,20	-0,10	0,00	-0,12	0,12	8 x 12	0,05	-0,05	-0,08	-0,26	0,55**
3 x 10	0,58*	0,34*	-0,02	0,26	0,12	9 x 10	-0,32	-0,19	-0,02	-0,06	-0,07
3 x 11	0,10	0,01	0,36**	-0,36	-0,13	9 x 11	0,01	-0,24	-0,13	0,20	-0,04
3 x 12	-0,27	-0,05	-0,07	-0,29	-0,05	9 x 12	-0,42	-0,29*	0,10	-0,16	-0,06
4 x 5	0,27	0,18	0,58**	-0,25	0,06	10 x 11	-0,08	-0,03	-0,22*	0,25	-0,09
4 x 6	0,23	0,12	0,01	-0,04	0,03	10 x 12	0,05	-0,06	0,01	-0,30	-0,18
4 x 7	-0,04	-0,19	-0,06	-0,25	0,24*	11 x 12	0,26	0,14	0,39**	0,09	0,03

¹Cruzamentos; Teste t, * e **, significativo a 5% de probabilidade e a 1% de probabilidade, respectivamente.

Na Tabela 5, os cruzamentos 2x9 e 3x10 apresentaram bons valores de CEC para EAP (0,65 e 0,58) e EAE (0,45 e 0,34), e apresentam pelo menos um parental com elevado efeito da CGC para EAP (Tabela 3), sendo recomendados para elevar o porte em ambientes com inoculação do microrganismo. Em seu trabalho com inoculação de *Azospirillum brasilense*, Costa et al. (2015) relatam aumentos de altura de planta, bem como de produtividade de grãos, em situação com substituição da adubação nitrogenada em condição de segunda safra. O cruzamento 5x9 apresentou bons valores para EAE (0,34) e EPP (0,28). Quanto às melhores produtividades de grãos, indica-se os cruzamentos 4x5 e 11x12, os quais apresentaram efeitos de CEC positivos e elevados para EPG (0,58 e 0,39), com parentais de efeitos elevados da CGC para EPG.

Semelhante aos resultados encontrados para EPG, Buzinaro et al. (2018) observaram a atuação tanto de genes aditivos como dominantes, relacionados à produtividade em ambientes com inoculação de *Azospirillum brasilense*. O envolvimento de ambos os efeitos genéticos na responsividade à inoculação de *A. brasilense* também foi relatado entre os caracteres avaliados por Vidotti et al. (2019). Com base nas informações da análise dialélica a população deste trabalho pode ser melhorada e os parentais explorados de forma otimizada. Se bem realizada, a etapa possibilita obter futuramente cultivares de milho eficientes no uso de *Azospirillum brasilense*, promovendo na agricultura redução do uso de fertilizantes sintéticos nitrogenados.

CONCLUSÕES

Os genótipos avaliados diferiram estatisticamente, tanto na concentração de alelos favoráveis dos parentais como na complementariedade dos cruzamentos avaliados. Assim, os genótipos selecionados podem ser utilizados como fonte de germoplasmas para programas de melhoramento de milho voltados a eficiência no uso de *Azospirillum brasilense*.

Os resultados permitiram melhor compreensão dos mecanismos da eficiência no uso de *Azospirillum brasilense*, com maior importância do efeito aditivo para a eficiência quanto à produtividade de grãos e do efeito dominante para as eficiências dos demais caracteres.

A continuidade no desenvolvimento destes genótipos pode contribuir para o aumento da produtividade de grãos de milho, com redução do custo de produção e da dose de fertilizantes nitrogenados empregada na agricultura.

REFERÊNCIAS

Ashraf U, Salim MN, Sher A, Sabir SUR, Khan A, Pan S, Tang X (2016) Maize growth, yield formation and water-nitrogen usage in response to arid irrigation and nitrogen supply under semi-arid climate. **Turkish Journal of Field Crops** 21:88-96.

Baker RJ (1978) Issues in diallel analysis. **Crop Science** 18:533-536.

Bowles TM, Atallah SS, Campbell EE, Gaudin AC, Wieder WR, Grandy AS (2018) Addressing agricultural nitrogen losses in a changing climate. **Nature Sustainability** 1:399-408.

Brusamarello-Santos LC, Gilard F, Brulé L, Quilleré I, Gourion B, Ratet P, De Souza EM, LEA J, Hirel B (2017) Metabolic profiling of two maize (*Zea mays* L.) inbred lines inoculated with the nitrogen fixing plant-interacting bacteria *Herbaspirillum seropedicae* and *Azospirillum brasilense*. **PloS One** 12:1-19.

Buzinaro R, Oliveira GHFD, Amaral CBD, Souza Junior CLD, Moro GV (2018) Diallel mixed-model analyses to select superior maize parental lines for *Azospirillum*

brasiliense and nitrogen-use efficiency. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, 18:382-389.

Core Team RR: A language and environment for statistical computing (2013) **R Foundation for Statistical Computing**. Disponível em: <http://www.R-project.org>, Acesso: 03 fevereiro de 2019.

Costa RRGF, Quirino GDSF, Naves DCDF, Santos CB, Rocha AFDS (2015) Efficiency of inoculant with *Azospirillum brasiliense* on the growth and yield of second-harvest maize. **Pesquisa Agropecuária Tropical** 45:304-311.

Cruz CD (2013) Genes: a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum, Agronomy** 35:271-276.

Cruz CD, Regazzi AJ, Carneiro PCS (2012) **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 4. ed. Viçosa: UFV, 514p.

Curá J, Franz D, Filosofia J, Balestrasse K, Burgueño L (2017) Inoculation with *Azospirillum* sp. and *Herbaspirillum* sp. bacteria increases the tolerance of maize to drought stress. **Microorganisms** 5(3):41.

Di Salvo F (2011) **Obtenção de variedades sintéticas de milho**. 36f. **Dissertação** (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Unesp, Jaboticabal

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) - Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo (2010) **Cultivo do milho**. 6ed. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo.

Fehr WR (1993) **Principles of cultivar development: development of hybrid cultivars**. New York: Macmillan Publishing Company, 539 p.

Fernandez MG, Becraft PW, Yin Y, Lübberstedt T (2009) From dwarves to giants? Plant height manipulation for biomass yield. **Trends in Plant Science** 14:454-461.

Fornasieri Filho D (2007) **Manual da cultura do milho**. Jaboticabal: Funep. 576 p.

Gholizadeh A, Dehghani H, Khodadadi M, Gulick PJ (2018) Genetic combining ability of coriander genotypes for agronomic and phytochemical traits in response to contrasting irrigation regimes. **PloS One** 13:1-15.

Griffing B (1956) A generalised treatment of the use of diallel crosses in quantitative inheritance. **Heredity** 10(1):31-50.

Han M, Okamoto M, Beatty PH, Rothstein SJ, Good AG (2015) The genetics of nitrogen use efficiency in crop plants. **Annual Review of Genetics** 49:269-289.

Hungria M, Campo RJ, Souza EM, Pedrosa FO (2010) Inoculation with selected strains of *Azospirillum brasilense* and *A. lipoferum* improves yields of maize and wheat in Brazil. **Plant and Soil** 331:413-425.

Koltun A, Cavalcante AP, Lopes, KBA, Krause MD, Marino TP, De Oliveira, AELM, Ferreira JEM (2018) Performance of maize hybrids from a partial diallel in association with *Azospirillum*. **African Journal of Agricultural Research** 13:1297-1305.

Murtadha MA, Ariyo OJ, Alghamdi SS (2018) Analysis of combining ability over environments in diallel crosses of maize (*Zea mays*). **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences** 17:69-78.

Nzuve F, Githiri S, Mukunya DM, Gethi J (2014) Genetic variability and correlation studies of grain yield and related agronomic traits in maize. **Journal of Agricultural Science** 6:166.

Okumura RS, Takahashi HW, Santos DGC, Lobato AKS, Mariano DC, Marques OJ, Silva MHL, Oliveira Neto CF, Lima Junior JA (2011) Influence of different nitrogen levels on growth and production parameters in maize plants. **Journal of Food, Agriculture & Environment** 9:510-514.

Oliveira AL, Santos OJ, Marcelino PR, Milani KM, Zuluaga MY, Zucareli C, Gonçalves LS (2017) Maize inoculation with *Azospirillum brasilense* Ab-V5 cells enriched with exopolysaccharides and polyhydroxybutyrate results in high productivity under low N fertilizer input. **Frontiers in Microbiology** 8:1-18.

Revolti LTM, Caprio CH, Mingotte, FLC, Moro, GV (2018) *Azospirillum* spp. potential for maize growth and yield. **African Journal of Biotechnology** 17:574-585.

Shao HB, Chu LY, Jaleel CA, Zhao CX (2008) Water-deficit stress-induced anatomical changes in higher plants. **Comptes rendus biologies** 331(3):215-225. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.crvi.2008.01.002>. Acesso em: 31 out. 2019.

Vencovsky R, Barriga P (1992) **Genética biométrica no fitomelhoramento**. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 496p.

Vidotti MS, Matias FI, Alves FC, Pérez-Rodríguez P, Beltran GA, Burgueño J, Crossa J, Fritsche-Neto, R (2019) Maize responsiveness to *Azospirillum brasilense*: Insights into genetic control, heterosis and genomic prediction. **PloS One** 14:1-22.

Watson A, Ghosh S, Williams MJ, Cuddy WS, Simmonds J, Rey MD, Asyraf MHM, Hinchliffe A, Steed A, Reynolds D, Adamski NM, Breakspear A, Korolev A, Rayner T, Dixon LE, Riaz A, Martin W, Ryan M, Edwards D, Batley J, Raman H, Carter J, Rogers C, Domoney C, Moore G, Harwood W, Nicholson P, Dieters MJ, Delacy IH, Zhou J, Uauy C, Boden SA, Park RF, Wulff BBH, Hickey LT (2018) Speed breeding is a powerful tool to accelerate crop research and breeding. **Nature Plants** 4:23-29.

Wu Y, Liu W, Li X, Li M, Zhang D, Hao Z, Weng J, Xu Y, Bai L, Zhang S, Xie C (2011) Low-nitrogen stress tolerance and nitrogen agronomic efficiency among maize inbreds: comparison of multiple indices and evaluation of genetic variation. **Euphytica** 180:281-290.

Zeffa DM, Fantin LH, Santos OJAPD, Oliveira ALMD, Canteri MG, Scapim CA, Gonçalves LSA (2018) The influence of topdressing nitrogen on *Azospirillum* spp. inoculation in maize crops through meta-analysis. **Bragantia** 77:493-500.

Zhang X, Yong H, Zhou Z, Zhang C, Lu M, Sun Q, Zhang L, Li M, Zhang D, Weng J, Hao Z, Zhang S, Wang Z, Li X (2017) Heterosis and combining ability of seven maize germplasm populations. **Euphytica** 213(2):45.

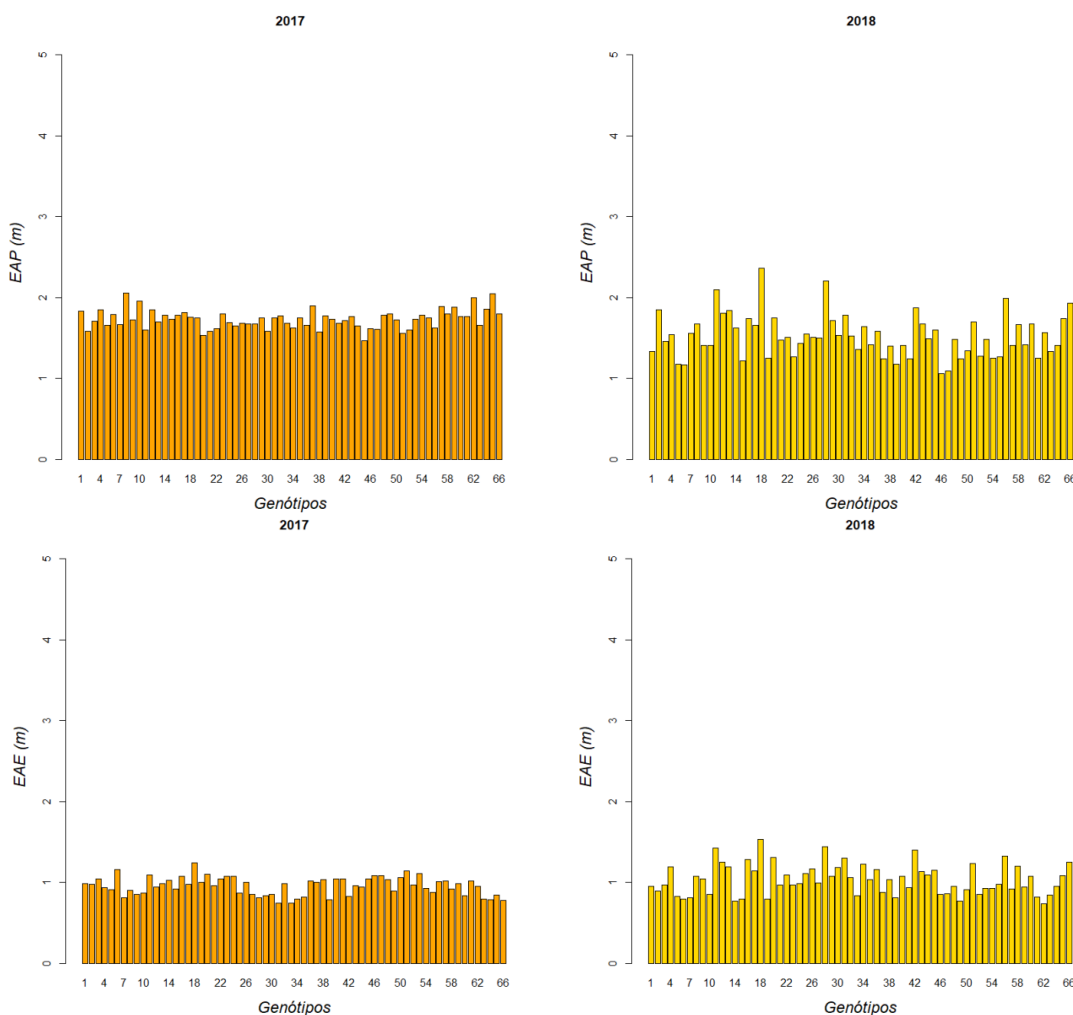
APÊNDICES

Apêndice A: Informações sobre os genótipos

Tabela 1A. Correspondência da nomenclatura dos 66 genótipos de milho (GEN) com seus respectivos cruzamentos (CRUZ).

CRUZ	GEN	CRUZ	GEN	CRUZ	GEN	CRUZ	GEN	CRUZ	GEN	CRUZ	GEN
1x2	1	2x3	12	3x5	23	4x8	34	5x12	45	7x12	56
1x3	2	2x4	13	3x6	24	4x9	35	6x7	46	8x9	57
1x4	3	2x5	14	3x7	25	4x10	36	6x8	47	8x10	58
1x5	4	2x6	15	3x8	26	4x11	37	6x9	48	8x11	59
1x6	5	2x7	16	3x9	27	4x12	38	6x10	49	8x12	60
1x7	6	2x8	17	3x10	28	5x6	39	6x11	50	9x10	61
1x8	7	2x9	18	3x11	29	5x7	40	6x12	51	9x11	62
1x9	8	2x10	19	3x12	30	5x8	41	7x8	52	9x12	63
1x10	9	2x11	20	4x5	31	5x9	42	7x9	53	10x11	64
1x11	10	2x12	21	4x6	32	5x10	43	7x10	54	10x12	65
1x12	11	3x4	22	4x7	33	5x11	44	7x11	55	11x12	66

Figura 1A. Médias das eficiências no uso de *Azospirillum brasilense* da altura de planta (EAP), altura de espiga (EAE), produtividade de grãos (EPG), prolificidade (EPRO) e plantas em pé (EPP) de 66 genótipos de milho nos anos de 2017 e 2018.



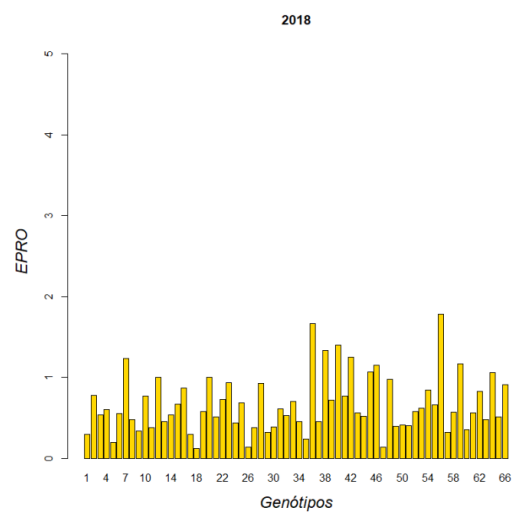
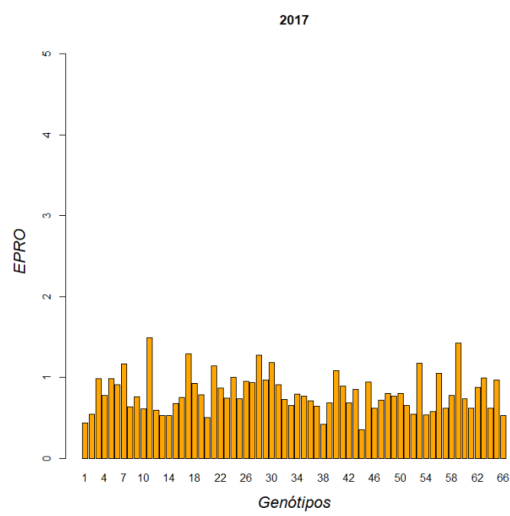
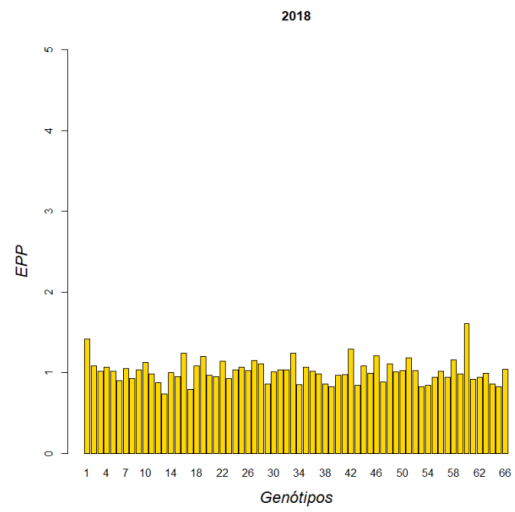
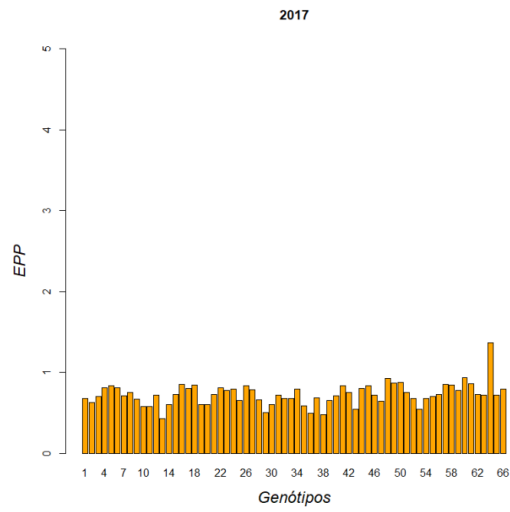
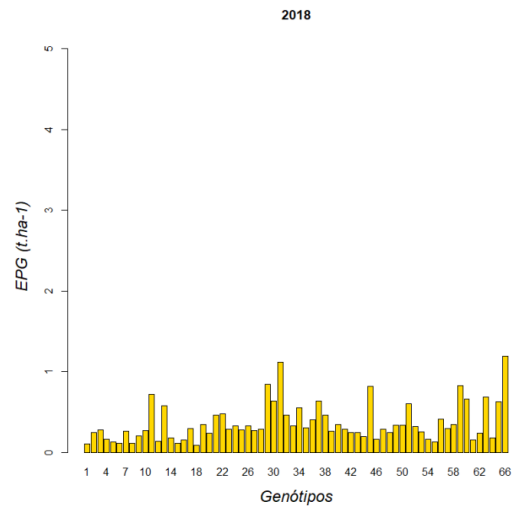
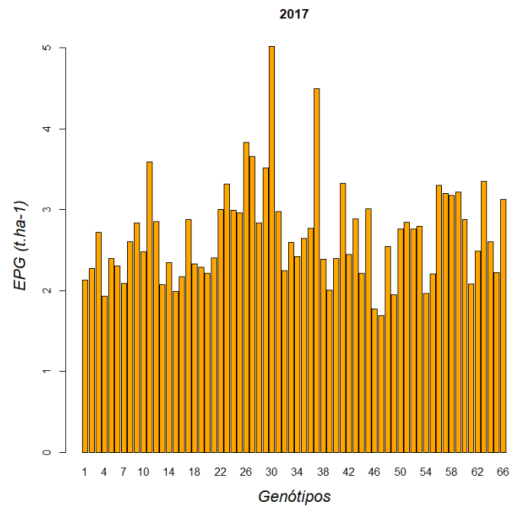


Figura 2A. Disposição dos 66 genótipos de milho em GTBiplot de acordo com as eficiências no uso de *Azospirillum brasilense* da altura de planta (V1), altura de espiga (V2), produtividade de grãos (V3), prolificidade (V4) e plantas em pé (V5) de nos anos de 2017 e 2018.

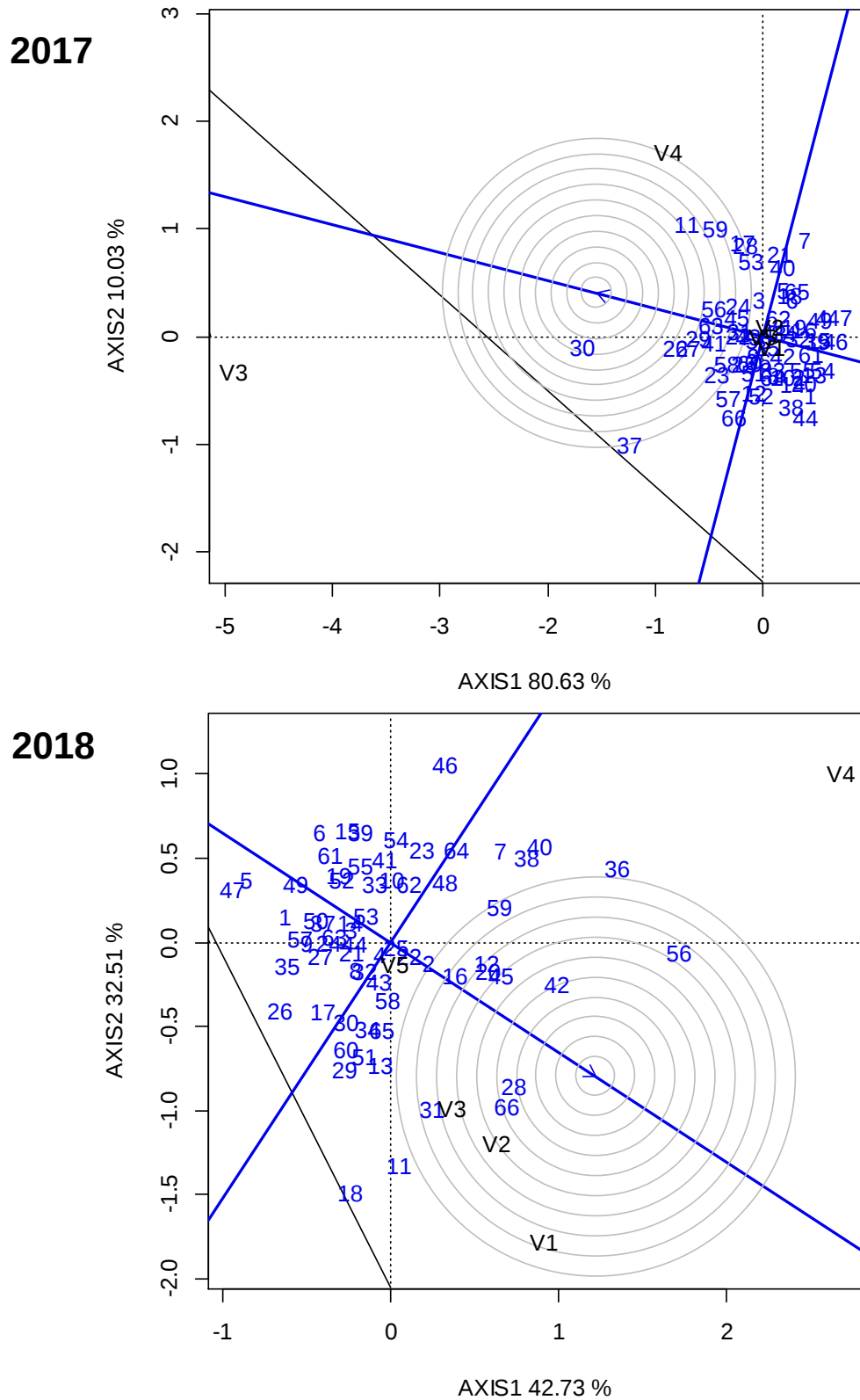


Tabela 2A. Médias dos genótipos de milho segunda safra no ano 2017 em Jaboticabal-SP, para altura de planta (AP), altura de espiga (AE), produtividade de grãos (PG), prolificidade (PRO) e planta em pé (PP), no experimento 1 com ureia.

GEN ¹	AP (m)	AE (m)	PG (t·ha ⁻¹)	PRO	PP	GEN ¹	AP (m)	AE (m)	PG (t·ha ⁻¹)	PRO	PP
1	2,00	1,07	3,93	1,00	0,72	34	1,87	1,17	5,75	1,36	0,82
2	1,97	0,96	5,48	1,25	0,80	35	1,88	1,09	5,01	1,15	0,84
3	2,01	0,99	4,11	0,95	0,69	36	1,88	1,07	4,41	1,11	0,73
4	2,06	1,08	5,76	1,25	0,74	37	1,79	1,07	4,18	1,34	0,78
5	2,02	1,12	4,96	0,91	0,77	38	2,02	1,08	4,69	1,41	0,83
6	1,94	1,02	4,10	1,03	0,74	39	1,87	1,19	4,16	1,10	0,84
7	1,95	1,08	5,32	1,06	0,74	40	1,90	1,02	4,91	1,15	0,85
8	1,82	1,13	4,58	1,03	0,83	41	1,95	1,03	5,07	1,18	0,86
9	1,86	1,07	4,91	0,95	0,86	42	1,92	1,22	5,28	1,14	0,86
10	1,92	1,08	5,21	1,18	0,86	43	1,94	1,08	4,86	1,34	0,88
11	2,10	1,00	5,87	1,23	0,90	44	1,80	1,14	5,09	1,36	0,71
12	1,96	1,02	4,73	1,30	0,69	45	2,09	1,03	6,45	1,20	0,94
13	1,96	1,06	5,21	1,40	0,64	46	1,85	1,01	4,44	1,28	0,71
14	1,90	1,10	4,57	1,05	0,78	47	1,89	1,05	4,45	1,15	0,89
15	1,94	1,11	3,68	0,96	0,70	48	1,90	1,02	4,91	1,19	0,77
16	1,95	1,01	4,29	1,06	0,68	49	1,83	1,23	4,99	1,26	0,73
17	2,04	1,03	5,04	1,16	0,83	50	1,77	0,94	4,63	1,24	0,69
18	1,88	0,89	4,27	1,11	0,83	51	1,94	0,88	5,45	1,33	0,82
19	1,97	0,95	4,53	1,26	0,81	52	1,91	0,92	3,83	1,29	0,81
20	2,01	0,99	4,21	0,88	0,71	53	1,95	0,96	4,09	1,09	0,78
21	2,02	1,02	5,00	1,03	0,86	54	1,87	0,98	4,93	1,08	0,81
22	1,90	1,05	5,46	0,96	0,74	55	1,81	1,00	4,11	1,45	0,70
23	1,87	1,07	4,05	1,21	0,79	56	2,01	1,04	5,60	1,43	0,86
24	1,94	1,07	4,75	1,12	0,82	57	1,79	1,01	4,88	1,34	0,77
25	2,00	1,08	4,45	1,04	0,83	58	1,86	1,03	5,66	1,53	0,87
26	1,94	1,10	5,68	1,06	0,72	59	1,80	1,05	5,21	1,17	0,83
27	1,86	1,12	5,31	1,27	0,69	60	2,02	1,07	6,82	1,59	0,75
28	1,94	1,15	5,07	0,91	0,74	61	1,89	1,08	5,35	1,27	0,79
29	1,92	1,16	4,61	1,17	0,90	62	1,86	1,09	5,82	0,98	0,83
30	2,03	1,18	5,07	1,20	0,80	63	2,04	1,12	5,74	1,33	0,83
31	1,81	1,20	5,40	1,23	0,85	64	1,95	1,15	4,83	1,14	0,52
32	1,84	1,23	3,99	1,06	0,77	65	1,93	1,18	5,67	1,29	0,88
33	1,86	1,29	4,54	1,09	0,69	66	2,14	1,18	6,85	1,26	0,82

¹ Genótipos.

Tabela 3A. Médias dos genótipos de milho segunda safra no ano 2018 em Jaboticabal-SP, para altura de planta (AP), altura de espiga (AE), produtividade de grãos (PG), prolificidade (PRO) e planta em pé (PP), no experimento 1 com ureia.

GEN ¹	AP (m)	AE (m)	PG (t·ha ⁻¹)	PRO	PP	GEN ¹	AP (m)	AE (m)	PG (t·ha ⁻¹)	PRO	PP
1	1,15	0,72	1,15	0,54	0,45	34	1,26	0,77	1,26	0,64	0,93
2	1,01	0,85	1,06	0,38	0,82	35	1,31	0,81	1,00	0,77	0,86
3	1,4	0,84	1,29	0,59	0,68	36	1,20	0,73	1,08	0,51	0,79
4	1,12	0,73	1,43	0,88	0,79	37	1,42	0,87	1,20	0,81	0,90
5	1,33	0,81	0,98	0,76	0,72	38	1,30	0,81	1,02	0,47	0,81
6	1,17	0,76	1,22	0,5	0,83	39	1,26	0,75	1,10	0,63	0,97
7	1,07	0,93	0,92	0,44	0,79	40	1,23	0,75	1,39	0,39	0,78
8	1,19	0,74	1,04	0,54	0,91	41	1,40	0,85	1,19	0,63	0,89
9	1,24	0,73	0,92	0,58	0,85	42	1,18	0,72	1,27	0,60	0,77
10	1,31	0,83	0,98	0,84	0,74	43	1,23	0,73	1,11	0,41	0,93
11	1,28	0,78	0,8	0,58	0,88	44	1,36	0,85	1,55	0,52	0,90
12	1,15	0,75	1,33	0,64	0,91	45	1,48	0,93	0,91	0,58	0,92
13	1,37	0,85	1,14	0,73	0,88	46	1,18	0,68	1,16	0,57	0,75
14	1,02	0,89	1,42	0,49	0,79	47	1,31	0,77	0,87	0,55	0,95
15	1,2	0,71	0,99	0,42	0,93	48	1,26	0,75	1,42	0,68	0,78
16	1,03	0,67	1,17	0,72	0,77	49	1,24	0,78	1,02	0,69	0,95
17	1,32	0,81	1,31	0,55	0,94	50	1,33	0,74	1,21	0,88	0,87
18	1,08	0,65	1,28	1,61	0,79	51	1,34	0,76	1,03	0,72	0,79
19	1,24	0,77	1,14	0,51	0,62	52	1,27	0,82	1,41	0,55	0,82
20	1,07	0,64	0,88	0,41	0,87	53	1,06	0,73	0,97	0,45	0,93
21	1,36	0,87	1,16	0,75	0,91	54	1,18	0,71	1,05	0,57	0,96
22	1,37	0,84	1,23	0,73	0,82	55	1,12	0,69	0,97	0,50	0,87
23	1,31	0,8	0,93	0,6	0,88	56	1,15	0,69	1,14	0,54	0,93
24	1,2	0,73	1,15	0,64	0,9	57	1,22	0,77	0,93	0,57	0,93
25	1,2	0,71	1,15	0,52	0,85	58	1,15	0,67	0,86	0,64	0,72
26	1,25	0,74	1,06	0,69	0,89	59	1,50	0,94	1,22	0,54	0,94
27	1,31	0,79	1,08	0,63	0,76	60	1,33	0,84	1,17	0,90	0,57
28	0,94	0,64	1,12	0,66	0,82	61	1,29	0,76	1,02	0,55	0,88
29	1,21	0,78	0,96	0,71	0,96	62	1,18	0,93	0,94	0,64	0,93
30	1,3	0,79	1,07	0,62	0,85	63	1,45	0,87	0,82	0,55	0,87
31	1,33	0,79	1,28	0,99	0,84	64	1,17	0,70	0,96	0,62	0,97
32	1,32	0,76	1,22	0,61	0,86	65	1,51	0,91	0,96	0,51	0,94
33	1,26	0,85	0,9	0,53	0,76	66	1,33	0,80	1,14	0,75	0,85

¹ Genótipos.

Tabela 4A. Médias dos genótipos de milho segunda safra no ano 2017 em Jaboticabal-SP, para altura de planta (AP), altura de espiga (AE), produtividade de grãos (PG), prolificidade (PRO) e planta em pé (PP), no experimento 2 com *Azospirillum brasilense*.

GEN ¹	AP (m)	AE (m)	PG (t·ha ⁻¹)	PRO	PP	GEN ¹	AP (m)	AE (m)	PG (t·ha ⁻¹)	PRO	PP
1	1,91	1,02	2,89	0,65	0,70	34	1,74	0,96	3,66	1,01	0,80
2	1,76	0,96	3,52	0,82	0,71	35	1,81	0,94	3,54	0,90	0,68
3	1,85	1,01	3,33	0,88	0,69	36	1,76	1,03	3,46	0,88	0,60
4	1,95	1,00	3,32	0,97	0,76	37	1,84	1,03	4,20	0,87	0,71
5	1,83	0,99	3,42	0,92	0,79	38	1,78	1,05	3,32	0,75	0,62
6	1,86	1,08	3,04	0,96	0,76	39	1,81	0,97	2,88	0,85	0,73
7	1,79	0,94	3,29	1,06	0,70	40	1,81	1,02	3,40	1,00	0,76
8	1,93	1,01	3,45	0,81	0,79	41	1,81	1,03	4,05	0,99	0,84
9	1,79	0,95	3,71	0,81	0,72	42	1,81	1,00	3,58	0,87	0,81
10	1,93	0,96	3,58	0,83	0,70	43	1,83	1,02	3,71	0,98	0,69
11	1,83	1,04	4,57	1,35	0,71	44	1,72	1,02	3,31	0,66	0,72
12	1,89	0,97	3,65	0,86	0,70	45	1,75	1,02	4,38	1,03	0,88
13	1,82	1,02	3,22	0,84	0,52	46	1,72	1,04	2,79	0,85	0,71
14	1,83	1,06	3,23	0,69	0,67	47	1,74	1,06	2,69	0,86	0,75
15	1,83	1,00	2,68	0,79	0,71	48	1,84	1,00	3,49	0,94	0,84
16	1,86	1,03	3,02	0,85	0,75	49	1,81	1,04	3,08	0,89	0,79
17	1,92	0,95	3,79	1,20	0,81	50	1,74	0,99	3,54	0,95	0,74
18	1,82	1,05	3,13	0,97	0,84	51	1,73	1,00	3,87	0,91	0,77
19	1,85	0,97	3,10	0,98	0,69	52	1,74	0,94	3,21	0,80	0,74
20	1,75	1,04	3,03	0,65	0,65	53	1,83	1,02	3,33	1,03	0,65
21	1,79	0,99	3,40	1,03	0,79	54	1,82	0,95	3,04	0,75	0,73
22	1,75	1,04	4,01	0,88	0,76	55	1,78	0,93	2,94	0,87	0,69
23	1,83	1,07	3,60	0,93	0,78	56	1,80	1,02	4,25	1,21	0,78
24	1,80	1,07	3,70	1,04	0,80	57	1,83	1,02	3,90	0,89	0,80
25	1,81	0,96	3,55	0,83	0,73	58	1,83	0,97	4,06	1,04	0,86
26	1,81	1,05	4,65	0,95	0,78	59	1,83	1,02	4,02	1,27	0,79
27	1,77	0,98	4,26	1,07	0,72	60	1,88	0,94	4,38	1,02	0,80
28	1,80	0,96	3,76	1,03	0,68	61	1,82	1,05	3,33	0,87	0,81
29	1,82	0,98	3,98	1,04	0,67	62	1,93	1,02	3,75	0,91	0,77
30	1,79	1,00	5,01	1,10	0,69	63	1,83	0,94	4,37	1,13	0,77
31	1,77	0,94	3,84	1,06	0,78	64	1,90	0,95	3,50	0,82	0,85
32	1,80	1,09	2,98	0,85	0,72	65	1,97	0,99	3,43	1,10	0,79
33	1,77	0,98	3,38	0,81	0,67	66	1,96	0,96	4,61	0,79	0,80

¹ Genótipos.

Tabela 5A. Médias dos genótipos de milho segunda safra no ano 2018 em Jaboticabal-SP, para altura de planta (AP), altura de espiga (AE), produtividade de grãos (PG), prolificidade (PRO) e planta em pé (PP), no experimento 2 com *Azospirillum brasilense*.

GEN ¹	AP (m)	AE (m)	PG (t·ha ⁻¹)	PRO	PP	GEN ¹	AP (m)	AE (m)	PG (t·ha ⁻¹)	PRO	PP
1	1,19	0,79	0,33	0,34	0,80	34	1,38	0,93	0,79	0,52	0,88
2	1,30	0,87	0,50	0,45	0,92	35	1,36	0,91	0,48	0,42	0,94
3	1,40	0,88	0,60	0,44	0,83	36	1,35	0,90	0,66	0,82	0,88
4	1,19	0,83	0,48	0,69	0,92	37	1,30	0,86	0,85	0,53	0,94
5	1,23	0,81	0,32	0,33	0,85	38	1,29	0,88	0,60	0,77	0,84
6	1,13	0,76	0,34	0,51	0,84	39	1,20	0,77	0,53	0,60	0,89
7	1,27	0,81	0,44	0,58	0,89	40	1,21	0,82	0,64	0,64	0,82
8	1,31	0,84	0,31	0,44	0,91	41	1,29	0,87	0,53	0,67	0,93
9	1,21	0,81	0,42	0,43	0,93	42	1,30	0,89	0,51	0,80	0,91
10	1,29	0,84	0,49	0,76	0,91	43	1,33	0,85	0,50	0,41	0,88
11	1,62	1,04	0,70	0,44	0,91	44	1,35	0,92	0,51	0,47	0,98
12	1,36	0,92	0,40	0,64	0,89	45	1,53	1,03	0,82	0,64	0,95
13	1,54	0,97	0,76	0,55	0,80	46	1,11	0,75	0,42	0,77	0,95
14	1,19	0,78	0,45	0,48	0,83	47	1,15	0,79	0,49	0,22	0,92
15	1,09	0,66	0,33	0,44	0,93	48	1,32	0,80	0,59	0,80	0,93
16	1,25	0,86	0,42	0,75	0,94	49	1,20	0,75	0,52	0,41	0,98
17	1,40	0,94	0,54	0,32	0,86	50	1,32	0,79	0,62	0,55	0,94
18	1,38	0,88	0,32	0,43	0,93	51	1,46	0,95	0,78	0,52	0,96
19	1,16	0,75	0,56	0,45	0,86	52	1,22	0,80	0,63	0,54	0,91
20	1,27	0,83	0,43	0,51	0,91	53	1,22	0,80	0,44	0,50	0,87
21	1,39	0,90	0,68	0,57	0,92	54	1,15	0,78	0,39	0,58	0,90
22	1,37	0,93	0,72	0,67	0,95	55	1,09	0,75	0,32	0,57	0,90
23	1,26	0,86	0,50	0,74	0,88	56	1,42	0,93	0,67	0,77	0,97
24	1,25	0,81	0,60	0,44	0,96	57	1,30	0,83	0,50	0,41	0,93
25	1,31	0,84	0,51	0,49	0,90	58	1,33	0,85	0,50	0,54	0,82
26	1,32	0,89	0,53	0,26	0,95	59	1,43	0,94	0,97	0,67	0,96
27	1,38	0,87	0,50	0,45	0,88	60	1,48	0,94	0,83	0,53	0,96
28	1,34	0,88	0,55	0,66	0,94	61	1,21	0,75	0,39	0,46	0,89
29	1,41	0,90	0,78	0,45	0,91	62	1,33	0,82	0,45	0,65	0,93
30	1,37	0,93	0,79	0,42	0,91	63	1,38	0,86	0,73	0,47	0,92
31	1,53	1,01	1,16	0,78	0,93	64	1,21	0,78	0,41	0,81	0,91
32	1,39	0,88	0,72	0,52	0,93	65	1,61	0,98	0,77	0,48	0,88
33	1,29	0,83	0,52	0,56	0,97	66	1,53	0,95	1,11	0,73	0,94

¹ Genótipos.