

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

Taís Slim

**BIOINSUMOS E COMPONENTES AGRONÔMICOS ÓTIMOS
VISANDO ALTAS PRODUTIVIDADES EM MILHO**

Santa Maria, RS
2022

Taís Slim

**BIOINSUMOS E COMPONENTES AGRONÔMICOS ÓTIMOS VISANDO O
POTENCIAL DE PRODUTIVIDADE EM MILHO**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Área de Concentração em Engenharia de Água e Solo da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Engenharia Agrícola**.

Orientador: Prof. Dr. Alencar Junior Zanon

Santa Maria, RS
2022

FICHA CATALOGRÁFICA

Slim, Taís
BIOINSUMOS E COMPONENTES AGRONÔMICOS ÓTIMOS VISANDO
ALTAS PRODUTIVIDADES EM MILHO / Taís Slim.- 2022.
92 p.; 30 cm

Orientador: Alencar Junior Zanen
Coorientador: Nereu Augusto Streck
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós
Graduação em Engenharia Agrícola, RS, 2022

1. Bioinsumos 2. Milho 3. Potencial de produtividade
I. Zanen, Alencar Junior II. Streck, Nereu Augusto III.
Título.

Sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFSM. Dados fornecidos pelo
autor(s). Sob supervisão da Direção da Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca
Central. Bibliotecária responsável Paula Scheenreidt Dutra CRB 10/1726.

Declaro, TAÍS SLIM, para os devidos fins e sob as penas da lei, que a pesquisa constante neste trabalho de conclusão de curso (Dissertação) foi por mim elaborada e que as informações necessárias objeto de consulta em literatura e outras fontes estão devidamente referenciadas. Declaro, ainda, que este trabalho ou parte dele não foi apresentado anteriormente para obtenção de qualquer outro grau acadêmico, estando ciente de que a inveracidade da presente declaração poderá resultar na anulação da titulação pela Universidade, entre outras consequências legais.

Taís Slim

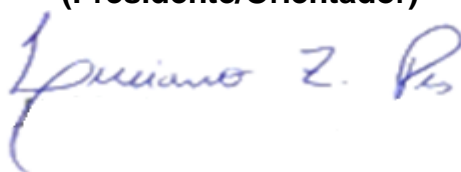
**BIOINSUMOS E COMPONENTES AGRONÔMICOS ÓTIMOS VISANDO ALTAS
PRODUTIVIDADES EM MILHO**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Área de Concentração em Engenharia de Água e Solo da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Engenharia Agrícola**.

Aprovado em 15 de março de 2022:



**Alencar Junior Zanon, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)**



**Luciano Zucuni Pes, Dr. (Colégio Politécnico da UFSM)
(videoconferência)**



**Gerusa Pauli Kist Steffen, Dr^a. (Departamento de Diagnóstico e Pesquisa
Agropecuária)
(videoconferência)**

Santa Maria, RS
2022

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus em primeiro lugar, por mais uma vitória em minha vida, e que esteve sempre iluminando meu caminho, pois Ele sabe exatamente o que você precisa para vencer os obstáculos. Uma hora a gente entende tudo.

À minha família, em especial aos meus irmãos, pelo apoio, carinho e, principalmente, compressão. Gratidão é o sentimento que posso descrever e retribuir da mesma forma.

Ao meu namorado Paulo Vinicio de Castro Cruz pelo apoio e incentivo

Às adversidades que apareceram neste período, que me ensinaram tolerância, simpatia, autocontrole e perseverança.

À Universidade Federal de Santa Maria e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola pela oportunidade de realizar o curso de mestrado.

Ao professor Alencar Junior Zanon pela orientação e dedicação, para que este e muitos outros trabalhos possam ser realizados.

Ao professor Nereu Augusto Streck pelos ensinamentos, orientação e auxílio.

Aos agricultores Rogério Cechin e Mauricio de Bortoli por terem permitido conduzirmos experimentos nas suas propriedades durante o ano agrícola 2020/2021.

Aos membros da banca avaliadora pela disponibilidade, sugestões e contribuições para melhoria deste trabalho.

Aos verdadeiros amigos, nosso conjunto de laços mais lindo, que sabem dos nossos defeitos e qualidades e que estão sempre ao lado nos momentos bons e ruins.

Aos colegas, amigos e conhecidos que fiz durante o período de trabalho na Padaria Denardin.

Um agradecimento aos colegas da Equipe FieldCrops pelo auxílio na elaboração das atividades de campo.

MUITO OBRIGADA!

“Sua determinação dita seu destino”.

Anne with an E

RESUMO

BIOINSUMOS E COMPONENTES AGRONÔMICOS ÓTIMOS VISANDO ALTAS PRODUTIVIDADES EM MILHO

AUTORA: Taís Slim

ORIENTADOR: Alencar Junior Zanon

A presente dissertação está dividida em dois capítulos com os seguintes objetivos: Capítulo 1: (i) Avaliar o potencial de uso de bioinsumos na diminuição da lacuna de produtividade da cultura do milho; (ii) Avaliar os parâmetros de crescimento e desenvolvimento da cultura do milho modificados pelo uso de bioinsumos em condição de sequeiro e irrigado, Capítulo 2: (i) Identificar os valores dos componentes agronômicos ótimos de produtividade de milho que proporcionam altas produtividades. Para alcançar os objetivos do capítulo 1, foram avaliados parâmetros de crescimento, desenvolvimento e produtividade de dois experimentos realizados em condições de sequeiro e irrigado, em dois locais durante a safra agrícola de 2020/2021. Para alcançar o objetivo do capítulo 2, foram determinados os componentes de rendimento Índice de área foliar, densidade de plantas, número de fileira por espiga, número de grãos por espiga e massa de 1000 grãos, através de dados coletados em lavouras comerciais e experimentos na condição de irrigados e sequeiro, que exploram uma ampla gama de datas de semeadura (de agosto a março), de 10 anos agrícolas (2005–2019). Os valores de componentes agronômicos ótimos foram determinados a partir da metodologia de função limite. A importância de cada componente de produtividade foi definida a partir da árvore de regressão e Diagrama de Venn. Os principais resultados deste trabalho foram: (i) os microorganismos influenciaram o crescimento e o desenvolvimento (ii) houve incremento na massa de 1000 grãos e na produtividade ($Mg \cdot ha^{-1}$) na condição de sequeiro com o uso de *Thichoderma harzianum*, *Trichoderma longibrachatum*, *Azospirillum brasillense*, Hidra Hume + Núcleo - O - Phos. Os valores dos componentes agronômicos ótimos do potencial de produtividade em milho são 5,3 de IAF (índice de área foliar), 9,3 plantas por m^2 , 605 grãos por espiga e massa de mil grãos de 369 gramas. Essas informações podem ajudar a otimizar as práticas atuais de manejo do milho para aumentar a produtividade e a eficiência no uso de recursos.

Palavras-chave: *Zea mays*. Bioinsumos. Componentes de rendimento. Sustentabilidade. Lacuna de produtividade.

ABSTRACT
OPTIMUM BIOINPUTS AND AGRONOMIC COMPONENTS AIMING FOR HIGH PRODUCTIVITIES IN MAIZE

AUTHOR: Taís Slim
ADVISOR: Alencar Junior Zanon

This dissertation is divided into two chapters with the following objectives: Chapter 1: (i) Evaluate the potential use of bioinputs in reducing the corn crop yield gap; (ii) Evaluate the growth and development parameters of the corn crop modified by the use of bioinputs in dry and irrigated conditions, Chapter 2: (i) Identify the values of the optimal agronomic components of corn productivity that provide high yields. To achieve the objectives of chapter 1, parameters of growth, development and productivity of two experiments carried out under rainfed and irrigated conditions were evaluated, in two locations during the agricultural harvest of 2020/2021. To achieve the objective of Chapter 2, the yield components Leaf area index, plant density, row number per spike, number of grains per spike and 1000 grain mass were determined through data collected in commercial crops and experiments in irrigated and rainfed condition, which exploit a wide range of sowing dates (from August to March), from 10 agricultural years (2005–2019). The optimal agronomic component values were determined using the limit function methodology. The importance of each productivity component was defined from the regression tree and Venn diagram. The main results of this work were: (i) the microorganisms influence the growth and development (ii) there was an increase in the mass of 1000 grains and in the productivity ($\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$) in the rainfed condition with the use of *Thichoderma harzianum*, *Trichoderma longibrachatum*, *Azospirillum brasillense*, Hidra Hume + Nucleus - O - Phos. The values of the optimal agronomic components of the yield potential in corn are 5.3 LAI (leaf area index), 9.3 plants per m^2 , 605 grains per ear and a thousand grain mass of 369 grams. This information can help optimize current corn management practices to increase productivity and resource efficiency.

Keywords: *Zea mays*. Microorganisms. Yield components. Sustainability. Yield gap.

LISTA DE FIGURAS

- FIGURA 1 – Estágios de desenvolvimento do milho, relações entre desenvolvimento e crescimento e efeitos dos fatores ambientais mais importantes nos estados críticos. A temperatura afeta todos os estágios de desenvolvimento e foi intencionalmente omitida da figura. Uma escala arbitrária foi usada para a duração de cada fase, as distâncias entre os estágios não indicam duração.....21
- FIGURA 2 – Fatores que definem, limitam e reduzem a produtividade.....24
- CAPÍTULO 1 – RESPOSTAS DA CULTURA DO MILHO AO USO DE BIOINSUMOS**
.....26
- FIGURA 1 – Estabelecimento inicial de plantas. A densidade de semeadura de 70 (A) e (B) 110 mil plantas.ha⁻¹, na condição de sequeiro e irrigado respectivamente. As barras indicam o erro padrão entre as repetições experimentais. Médias seguidas da mesma letra não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.....34
- FIGURA 2 – Estabelecimento final de plantas. A densidade de semeadura de 70 (A) e (B) 110 mil plantas.ha⁻¹, na condição de sequeiro e irrigado respectivamente. As barras indicam o erro padrão entre as repetições experimentais. Médias seguidas da mesma letra não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.....35
- FIGURA 3 – Evolução do índice de área foliar na condição de sequeiro (A) e irrigado (B) durante os estágios V6, R2 e R6. As barras indicam o erro padrão das repetições experimentais em cada estágio. Médias seguidas da mesma letra não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.....37
- FIGURA 4 – Evolução da massa seca total (Kg.ha⁻¹) nas condições de sequeiro (A) e irrigado (B) durante os estágios V6, R2 e R6. As barras indicam o erro padrão das repetições experimentais em cada estágio. Médias seguidas da mesma letra não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro39
- FIGURA 5 – Produtividade (ton.ha⁻¹) na condição de sequeiro (A) e irrigado (B). As barras indicam o erro padrão das repetições experimentais. Médias

	seguidas da mesma letra não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro	44
CAPÍTULO 2 – COMPONENTES AGRONÔMICOS ÓTIMOS DE MILHO VISANDO POTENCIAL DE PRODUTIVIDADE EM MILHO		56
FIGURA 1 –	Localização geográfica dos experimentos com milho no Brasil em dois estados (Rio Grande do Sul e Santa Catarina)	62
FIGURA 2 –	Representação da relação entre a produtividade de grãos de milho e o índice de área foliar de plantas cultivadas em cultivos irrigados (círculos azuis) e de sequeiro (círculos amarelos). A linha vermelha vertical tracejada e densidade de plantas por hectare que maximiza a produtividade de grãos e a linha preta sólida representa a função limite	67
FIGURA 3 –	Representação da relação entre a produtividade de grãos de milho (Mg.ha ⁻¹) no eixo Y e a densidade (A), número de fileira (B), número de grãos por espiga (C) e massa de 1000 grãos de plantas (D) no eixo X, em cultivos irrigados (círculos azuis) e de sequeiro (círculos amarelos). A linha vermelha vertical tracejada e densidade de plantas por hectare que maximiza a produtividade de grãos e a linha preta sólida representa a função limite.....	69
FIGURA 4 –	Árvore de regressão representando as fontes de variação na produtividade de grãos de milho devido a fatores de manejo. As caixas são nós de divisão, com as caixas inferiores representando os nós terminais. Os valores dentro de cada nó terminal indicam a média do rendimento de grãos (em kg.ha ⁻¹) com base no teor de umidade de 13% e a porcentagem de observações em cada nó terminal. (a) alto rendimento (tercil superior) e (b) baixo rendimento (tercil inferior) são mostrados	73
FIGURA 5 –	Relação entre valores ótimos dos componentes de rendimento de milho (número de grãos por espiga, densidade de plantas/hectare e massa de grãos) e rendimento de grãos, utilizando o método do diagrama de Venn. O rendimento médio de grãos do número total (100%) de culturas é indicado no círculo mais externo. As áreas sobrepostas indicam os valores dos experimentos que atingiram o valor ótimo dos componentes	

de produtividade. A área central de sobreposição indica o rendimento quando os três componentes do rendimento atingem valores ótimos75

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1 – RESPOSTAS DA CULTURA DO MILHO AO USO DE BIOINSUMOS	26
.....	26
TABELA 1 - Caracterização dos tratamentos utilizados nos experimentos	31
TABELA 2 - Ação dos tratamentos na condição de sequeiro e irrigado sob as características agronômicas de plantas de milho, cultivado na safra 2020/2021.	40
TABELA 3 - Ação dos tratamentos na condição de sequeiro e irrigado sob componentes de rendimento de milho, cultivado na safra 2020/2021.	41
.....	41
CAPÍTULO 2 – COMPONENTES AGRONÔMICOS ÓTIMOS DE MILHO VISANDO POTENCIAL DE PRODUTIVIDADE EM MILHO	56
.....	56
TABELA 1 - Caracterização dos experimentos com milho conduzidos em 7 safras no estado do Rio Grande do Sul e 1 safra no estado de Santa Catarina – Brasil	62

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	OBJETIVOS.....	14
1.1.1	Objetivo Geral.....	14
1.1.2	Objetivos Específicos	14
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1	O MILHO.....	15
2.2	BIOINSUMOS PROMOTORES DE CRESCIMENTO	15
2.3	<i>AZOSPIRILLUM SP.</i>	16
2.4	<i>TRICHODERMA SP.</i>	17
2.5	ÁCIDOS HÚMICOS	18
2.6	COMPONENTES DE PRODUTIVIDADE DE MILHO	20
2.7	CONDICIONANTES AGROMETEOROLÓGICAS QUE AFETAM OS COMPONENTES DE RENDIMENTO DO MILHO.....	21
2.7.1	Deficiência hídrica	21
	CAPÍTULO 1 – RESPOSTAS DA CULTURA DO MILHO AO USO DE BIOINSUMOS	26
	CAPÍTULO 2 – COMPONENTES AGRONÔMICOS ÓTIMOS DE MILHO VISANDO POTENCIAL DE PRODUTIVIDADE EM MILHO	57
	REFERÊNCIAS	85

1 INTRODUÇÃO

No cenário atual, onde a população mundial deve aumentar em 2 bilhões nos próximos 30 anos, atingindo 9,7 bilhões de pessoas até o ano de 2050, crescem também os desafios socioeconômicos, entre eles a necessidade de garantir a segurança alimentar (ONU, 2019). Com elevado valor energético, o milho está entre os cereais mais utilizados para alimentação humana e animal, tendo um importante papel socioeconômico no Brasil e na busca pela segurança alimentar mundial, estando presente desde o agronegócio até a agricultura familiar e de subsistência (FAO, 2020). O milho é o segundo grão mais produzido no Brasil, sendo superado em quantidade produzida apenas pela soja. O país é o terceiro maior produtor mundial de milho, apresentando produção inferior somente aos Estados Unidos e à China (USDA, 2020).

O consumo de milho na alimentação humana ocorre, principalmente, na composição de outros produtos, sendo matéria-prima para diversos pratos típicos da culinária brasileira, assim, estima-se que o consumo per capita desse cereal no Brasil é de 18 kg.ano⁻¹ (CRUZ et al., 2011). O aumento na produção tem uma forte relação com o uso de diferentes tecnologias, além de sistemas de produção mais sustentáveis. O Centro Oeste é a região que mais produz milho no Brasil, sendo responsável por 47% (média de 5 anos) da produção total na primeira e segunda safras. O Sul e o Sudeste são responsáveis por 71% da produção de primeira safra. Na segunda safra a produção é concentrada no Centro Oeste (64%) e no Sul (18%). Ainda, temos uma terceira safra que tem uma baixa representatividade, com 523 mil ha concentrados (97%) no Nordeste (CONAB, 2020).

Existe um déficit da produção de milho no estado do Rio Grande do Sul. Com o objetivo de incentivar e coordenar ações que aumentam a produção e a qualidade de milho, o governo do estado do Rio Grande do Sul criou o Programa chamado PRÓ-MILHO: Programa Estadual de Produção e Qualidade do Milho. A maior parte do grão que chega ao estado do Rio Grande do Sul vem do Mato Grosso, que nos últimos anos passou a destinar uma parte significativa da produção para a produção de biocombustíveis. Assim, os custos com a importação para o estado do Rio Grande do Sul aumentaram.

O aumento da produção pode ocorrer de forma horizontal, através da expansão da área cultivada com milho, ou de forma vertical, pelo aumento da produtividade da cultura, o que é mais indicado sob ponto de vista socioambiental (CASSMAN et al., 2003). Por isso, é fundamental para a soberania alimentar desses estados, bem como para a sobrevivência dos produtores de milho, que sejam realizados esforços para aumentar a produção de milho de forma sustentável.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Avaliar o uso de bioinsumos e determinar os componentes agronômicos ótimos visando o potencial de produtividade em milho.

1.1.2 Objetivos Específicos

1. Avaliar os parâmetros de crescimento e desenvolvimento da cultura do milho modificados pelo uso de bioinsumos em condição de sequeiro e irrigado;
2. Identificar os valores de componentes agronômicos ótimos de milho visando o potencial de produtividade em milho.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 O MILHO

O milho (*Zea mays* L.) pertence à família Poaceae, antiga família Gramineae, monocotiledôneas pertencentes à tribo Maydae é uma espécie anual monoica, mas que realizam fecundação cruzada (são alógamas e diploides - 2n) (MAGALHAES et al., 2002). Possui como centro de origem o México, descendente do teosinto Balsas (*Zea mays* ssp. *parviglumis*), planta nativa da América Central que possui apenas duas fileiras de grãos, estes variam de 6 a 12 por espiga, os grãos são protegidos por um rígido tegumento (MATSUOKA et al., 2002; PRASANNA, 2012).

É uma gramínea com metabolismo fotossintético do tipo C4 (EHLERINGER; CERLING; HELLIKER, 1997) e apresenta alta eficiência na taxa de assimilação líquida de gás carbônico (CO₂). Cultivado há mais de 9000 anos em muitas partes do mundo (MATSUOKA et al., 2002), possui grande importância econômica para o agronegócio, no Brasil é o segundo grão mais cultivado e exportado perdendo apenas para a soja, assim cada vez mais buscam-se técnicas para alcançar altas produtividades (SOUZA et al., 2018).

2.2 BIOINSUMOS PROMOTORES DE CRESCIMENTO

Os bioinsumos podem ser definidos como uma ampla diversidade de bioinsumos benéficos utilizados como inoculantes, que possuem capacidade de aumentar a diversidade (TEIXEIRA; WITT; SILVA FILHO, 2017) dos bioinsumos do solo (rizosféricos) e do vegetal (endofíticos). São capazes de promover o crescimento de plantas (PGPM, do inglês *Plant Growth - Promoting Microbes*) e são uma ferramenta promissora à agricultura e ao meio ambiente (MSIMBIRA; SMITH, 2020; HESHAM et al., 2020), pois contribuem com o aumento da diversidade microbiana do solo, colonizam a rizosfera ou o interior da planta, possuem ação indireta no biocontrole de patógenos e melhoram a qualidade do solo (UMESHA; SINGH; SINGH, 2018; CHOUHAN et al., 2021; REZENDE et al., 2021). Alguns gêneros como: *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Azospirillum*, *Trichoderma*, *Burkholderia*, *Enterobacter*, *Serratia*, *Flavobacterium*, *Frankia*, *Klebsiella*, *Clostridium*, *Beauveria*,

Rhizobium *Streptomyces* (LOPES et al., 2021; POSADA et al., 2021) passaram a fazer parte das estratégias de gestão agrícola mais eficientes e sustentáveis (VEJAN et al., 2016).

2.3 *Azospirillum* sp.

Os bioinsumos do gênero *Azospirillum* pertencem ao grupo de bactérias de vida livre. São diazotróficos endofítico facultativos, gram negativas fixadoras de nitrogênio (STEENHOUDT; VANDERLEYDEN, 2000), capazes de colonizar a superfície e o interior do sistema radicular das raízes (DÖBEREINER; BALDANI, 1982). Além disso, possuem habilidade de promover o crescimento vegetal e o rendimento de culturas de interesse agrônômico sob diversas condições de solo e ambientes, assim como aumentam a absorção das raízes da planta e o volume de solo explorado (OKON; VANDERLEYDEN, 1997).

A pesquisadora Dr^a. Johanna Döbereiner descobriu e classificou a espécie *Spirillum lipoferum*, e mais tarde a reclassificou subsequentemente como *Azospirillum brasilense* e *Azospirillum lipoferum*, por possuir a capacidade de fixar nitrogênio quando se encontra associada com as gramíneas (DÖBEREINER; MARRIEL; NERY, 1976). O bioinsumo *Azospirillum brasilense* é capaz de fornecer para as plantas inoculadas: aumento da densidade e do comprimento dos pelos radiculares, alongamento das raízes laterais (FALLIK; SARIG; OKON, 1994; DOBBELAERE; VANDERLEYDEN; OKON, 2003), biossíntese de hormônios como auxinas, giberelinas e citocininas, óxido nítrico e poliaminas, solubilização de fósforo e fixação biológica de nitrogênio (DOBBELAERE et al., 2002), sendo estes efeitos provenientes dos fatores morfológicos e fisiológicos (FALLIK; SARIG; OKON, 1994).

A inoculação com bioinsumos do gênero *Azospirillum* spp. pode reduzir o uso de fertilizantes químicos, especialmente nitrogênio (BASHAN; HOLGUIN; DE-BASHAN, 2004), quando associadas à rizosfera das plantas leguminosas. A associação *Azospirillum* spp com o milho poderá resultar em incrementos de produtividade, vantagens em extrair água e minerais (sistema radicular fasciculado) (FRANCHE; LINDSTRÖM; ELMERICH, 2009) e até mesmo diminuir a utilização de fertilizantes nitrogenados (OKON; VANDERLEYDEN, 1997), que são de uso intensivo na cultura do milho.

Estudos apresentam resultados positivos no incremento da produtividade de grãos de plantas de milho, quando associadas com *Azospirillum brasilense* (HUNGRIA et al., 2010; BRACCINI et al., 2012; DARTORA et al., 2013; MÜLLER et al., 2005).

2.4 *Trichoderma* sp.

Os fungos do gênero *Trichoderma* apresentam atividade como promotores de crescimento do crescimento vegetal (DRUZHININA et al., 2011) e estão entre os bioinsumos mais estudados. Grande parte dessas espécies associa-se às raízes, formando uma interação interespecífica de simbiose, por mecanismos semelhantes aos dos fungos micorrízicos (BENÍTEZ et al., 2004). O gênero *Trichoderma* spp, pertencente à subdivisão Deuteromicotina, possui muitas espécies que são geneticamente distintas (BISSET, 1991). São considerados como saprófitos, de vida livre, com reprodução assexuada, que podem viver no solo e no interior das plantas (MACHADO et al., 2011; BISSET, 1992), sendo sua importância comprovada para uso na agricultura (MACHADO et al., 2011). São considerados potentes e eficientes por atuarem como agentes de biocontrole de alguns fitopatógenos como *Colletotrichum*, *Sclerotium*, *Sclerotinia*, *Phytophthora*, *Phythium*, *Rhizoctonia*, *Fusarium* e *Verticillium* (BAE et al., 2016; CARRERO-CARRÓN et al., 2016; SARAVANAKUMAR et al., 2016; SRIVASTAVA et al., 2016).

Nas plantas, a influência destes bioinsumos sobre o crescimento e desenvolvimento é ampla, envolvendo a produção de hormônios, fatores de crescimento, solubilização e disponibilização de fósforo (RESENDE et al., 2014; OLIVEIRA et al., 2012; SILVA et al., 2012), produção de enzimas (BAUGH; ESCOBAR, 2007). A ocorrência da interação planta – *Trichoderma*, se dá na região das raízes, na qual ocorre a promoção do crescimento (LOPES et al., 2021). Esta benéfica interação resulta em assimilação de metabólito de produção de biomassa vegetal, simbiose rizosférica que beneficiam o desenvolvimento das plantas e enraizamento (KAMARUZZAMAN et al., 2016; FIORINI et al., 2016; SHAW et al., 2016).

De acordo com Chagas et al. (2018), nas culturas de milho, soja e feijão, estudos comprovaram o efeito benéfico do *Trichoderma* spp. No cultivo de petúnias,

excelentes resultados foram obtidos, com a utilização do *Trichoderma* (KOMMEDAHL; WINDELS, 1978). Trabalhos realizados por Harman, Taylor e Stask (1989), ao realizarem o tratamento de semente com *Trichoderma*, constataram que ocorreram aumentos significativos no crescimento de plantas de milho doce ao analisar as variáveis diâmetro do caule e produção de grãos.

2.5 ÁCIDOS HÚMICOS

O fósforo (P) é o segundo nutriente que mais limita o desenvolvimento das plantas, reduzindo drasticamente o rendimento de grãos. Embora os solos contenham geralmente uma grande quantidade de P total, apenas uma pequena proporção está prontamente disponível para absorção pelas plantas, principalmente como íon ortofosfato (NOVAIS; SMYTH, 1999).

Em condições tropicais, a precipitação e a fixação de P são os principais responsáveis pela baixa eficiência dos fertilizantes fosfatados solúveis, sendo que até 80% do fertilizante pode ser complexado com íons ferro, alumínio e cálcio presentes no solo, diminuindo sua absorção pelo sistema radicular (NOVAIS; SMYTH, 1999; NOVAIS et al., 2007).

Dentre algumas alternativas que possibilitam melhorar a eficiência dos fertilizantes fosfatados, está a utilização dos ácidos húmicos (DUARTE et al., 2013), que vivem livremente no solo, estabelecem relações simbióticas com algumas plantas, colonizam a rizosfera das plantas e favorecem o crescimento e desenvolvimento através da solubilização inorgânica de fósforo (TORRES, 2010).

O processo de solubilização e/ou mineralização do fosfato insolúvel, mineral ou orgânico, ocorre devido à produção de ácidos orgânicos pelas raízes das plantas (HOFFLAND; FINDENEGG; NELEMANS, 1989; RODRIGUEZ; FRAGA, 1999) e pela presença de microrganismos do solo que atuam diretamente na dissolução do fósforo ou pela ação quelante sobre os cátions, liberando fosfatos solúveis além de suas necessidades, que podem ser aproveitados pelas plantas.

O principal mecanismo microbiológico que proporciona a ocorrência da solubilização de fosfato é a diminuição do pH do meio extracelular (valores de 2.0) (LARA; AVILA; PEÑATA, 2011). Isso se deve à liberação de ácidos orgânicos (moléculas originárias do metabolismo de compostos de alto peso molecular como

carboidratos, peptídeos e lipídios), que possuem baixo peso molecular e propriedades quelantes, que proporcionam a formação de complexos insolúveis com metais e conseqüentemente a liberação de fosfato (FERNÁNDEZ et al., 2005; PAREDES-MENDOZA; ESPINOSA-VICTORIA, 2010).

A matéria orgânica do solo é originária de resíduos animais e vegetais, está sempre em processo contínuo de decomposição (CANELLAS et al., 2001) e libera naturalmente em seu último estágio de decomposição. Os compostos humificados da matéria orgânica são as substâncias húmicas (CARON; GRAÇAS; CASTRO, 2015) e o fracionamento desta resulta em ácidos húmicos através de um lento processo de decomposição biológica, oxidação e condensação. Os ácidos húmicos são compostos por polímeros, que apresentam em sua estrutura um grande número de anéis aromáticos e possuem coloração escura, cuja formação se dá pela associação entre macromoléculas heterogêneas de grupos polifuncionais (MORAES; LANDGRAF; REZENDE, 2004). Para a fabricação comercial de ácidos húmicos são as leonarditas, carvão, turfas, esterco e resíduos orgânicos humificados (ROSE et al., 2014).

Os ácidos húmicos orgânicos são produzidos no periplasma de bactérias gram negativas, através da via de oxidação direta da glicose (PÉREZ et al., 2007). Nesta via quinoproteína glicose desidrogenase (GDH) e gluconato desidrogenase (GADH) são as enzimas envolvidas, que estão presentes na face externa da membrana citoplasmática para oxidar o espaço periplasmático, por conseqüência os ácidos orgânicos se difundem para fora de células e causam a liberação de fósforo solúvel, pois os prótons e ânions dos ácidos orgânicos se ligam ao metal liberando o fosfato (PÉREZ et al., 2007).

O mecanismo de ação das substâncias húmicas nas plantas é o aumento do crescimento radicular por estimular vias metabólicas, que influenciam processos de absorção de nutrientes e a produtividade na parte aérea (CARON; GRAÇAS; CASTRO, 2015). Uma análise de frações dos ácidos húmicos em plântulas de milho, revelou que estas são capazes de estimular o metabolismo primário (NARDI et al., 2007). Estudo sobre a abundância de isoformas das proteínas de membrana de raízes de plântulas de milho tratadas com substâncias húmicas revelou que ao menos 42 proteínas tiveram a abundância modificada em função do tratamento (CARLETTI et al., 2008). Na cultura do milho, Quaggiotti et al. (2004) verificaram que o tratamento com substâncias húmicas de tamanho molecular pequeno, induziu a um maior

acúmulo de nitrato nas folhas, resultado da absorção de nitrato pelas raízes e transporte para as folhas.

Verlinden et al. (2009) quando cultivaram milho com substâncias húmicas (mistura líquida de 12% de ácido húmico e 3% de ácido fúlvico), foi observado apenas um pequeno aumento na produtividade em solo argiloso e não houve efeito das substâncias húmicas, em solo arenoso.

2.6 COMPONENTES DE PRODUTIVIDADE DE MILHO

Os componentes de produtividade podem ser divididos em primários, que afetam de forma direta a produtividade, e secundários, que possuem relação indireta com a produtividade. De acordo com Ribeiro (2012), a produtividade da cultura do milho é determinada através de uma hierarquia dos componentes primários de produtividade: número de plantas/m², número de fileiras por espiga, número de grãos por espiga e a massa de 1000 grãos, são os caracteres que estão diretamente associados à produtividade.

O primeiro componente de produtividade primário a ser definido é o número de plantas por m², o qual apresenta melhor correlação com a produtividade de grãos (SANGOI et al., 2010). A densidade de plantas varia de acordo com o ambiente de produção, aquela que não penaliza a produtividade pela competição intraespecífica, ocasionada pelo excesso de plantas e não subutilize a área com baixa densidade de plantas. Outrossim, o aumento da densidade de plantas aumenta a ocorrência de esterilidade feminina e reduz o potencial produtivo da cultura (SERPA et al., 2012).

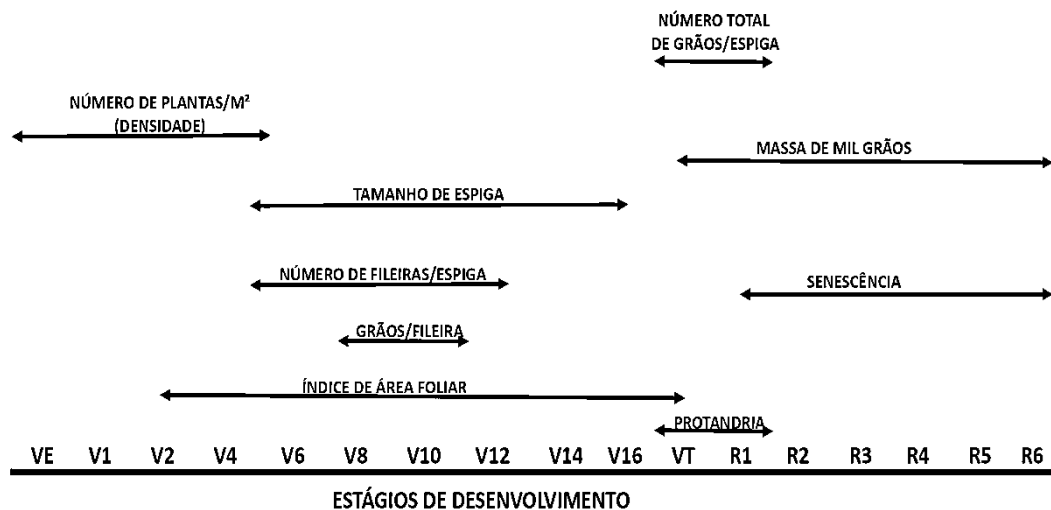
O número de fileiras por espiga está relacionado com a genética de cada cultivar (ABENDROTH et al., 2011) ou seja, é fortemente determinado pelo genótipo e não pelo ambiente (NIELSEN, 2019) e para atingir altas produtividades, o valor é de 14 fileiras. No estágio V12 começa a se definir o número de óvulos (grãos em potencial) e o tamanho das espigas, embora o número de fileiras/espiga já esteja determinado em V5 (RITCHIE; HANWAY; BENSON, 1993).

O número de grãos por espiga é o segundo componente a ser definido em uma ou duas semanas após a polinização (NIELSEN, 2019), que depende do número de fileiras por espigas e o número de grãos por fileira (determinado entre os estágios V8 e V10). O número de grãos por espiga é estabelecido e influenciado por fatores da

interação manejo X ambiente (MONTEIRO, 2009), então, o número de grãos por espiga possui uma grande variação, comparada com os demais componentes.

Dos componentes primários, a massa de mil grãos é o último a ser definido (Figura 1). Durante a fase de enchimento de grãos, é indispensável que as plantas não sofram estresses de déficit hídrico e baixa incidência de radiação solar, pois o processo de realocação da matéria seca acumulada durante a fase vegetativa para grãos depende desses fatores (ANDRADE et al., 1999).

Figura 1 – Estágios de desenvolvimento do milho, relações entre desenvolvimento e crescimento e efeitos dos fatores ambientais mais importantes nos estados críticos. A temperatura afeta todos os estágios de desenvolvimento e foi intencionalmente omitida da figura. Uma escala arbitrária foi usada para a duração de cada fase, as distâncias entre os estágios não indicam duração



Fonte: VEGA et al (2000).

2.7 CONDICIONANTES AGROMETEOROLÓGICAS QUE AFETAM OS COMPONENTES DE RENDIMENTO DO MILHO

2.7.1 Deficiência hídrica

A interação das condicionantes agrometeorológicas vai definir o sucesso da produtividade da cultura, pois os fatores que mais interferem no rendimento da cultura são o déficit hídrico, temperatura e radiação solar, podendo afetar de forma conjunta

ou individual, quando esses atuam no período crítico de desenvolvimento, ou seja, quando os componentes de rendimento de grãos de milho são definidos (ALVES et al., 2010; HANWAY, 1963; NEL; SMITH, 1978). O déficit hídrico resulta da disponibilidade insuficiente de água no solo para atender à demanda de uma planta em determinado momento, resultando em uma mudança no status da água da planta. (TARDIEU; SIMONNEAU; MULLER, 2018).

O milho é a cultura de grãos mais sensível ao déficit hídrico (BERGAMASCHI; MATZENAUER, 2014), pois é exigente em termos de disponibilidade de água (GONG et al., 2015), e as fases de maior exigência são emergência, florescimento (fase mais sensível) e a formação de grãos (BERGAMASCHI et al., 2006).

O efeito de deficiência hídrica sobre a produção de milho está vinculado ao período de ocorrência durante o desenvolvimento e a capacidade genética das plantas de responder às mudanças do ambiente, a ocorrência do déficit hídrico ocasiona a polinização incompleta e o crescimento dos grãos é reduzido (FANCELLI; DOURADO NETO, 2000).

O milho, numa estratégia de defesa, metaboliza o ABA, induzido pelo déficit hídrico, para prolongar o efeito inicial do fechamento estomático (TAIZ et al., 2017). Caso o déficit hídrico ocorra na fase mais crítica da cultura, que é entre a pré-floração e o início do enchimento de grãos, a produtividade reduz, pois a formação dos grãos e seu enchimento pode não ocorrer, resultando em espigas de tamanho menor e falhas no enchimento de grãos (parte superior da espiga, uma vez que o enchimento inicia na base (RIBEIRO et al., 2020).

O déficit hídrico é o maior responsável pela expressiva redução da produtividade de grãos (NIED et al., 2015; BERGAMASCHI et al., 2006), sendo o período mais sensível da cultura do milho ao déficit hídrico aquele entre o pendoamento (VT) e o enchimento de grãos (R2) (BERGAMASCHI et al., 2006), que afeta o número de grãos por planta (TARDIEU; SIMONNEAU; MULLER, 2018) e reduz a oferta de fotoassimilados, levando a perdas no peso dos grãos e, por consequência, redução da produtividade de grãos (ARAUS; SERRET; EDMEADES, 2012).

A produtividade de uma cultura ocorre em função da quantidade de radiação fotossinteticamente ativa (RFA) absorvida pelas folhas e da eficiência com que estas convertem a energia radiante em energia química através do processo fotossintético (BERGAMASCHI; MATZENAUER, 2014). O milho é uma das plantas que possuem

maior eficiência fotossintética devido seu metabolismo fotossintético C₄, assim, é capaz de produzir mais que outras espécies com a mesma disponibilidade de radiação solar (BERGAMASCHI; MATZENAUER, 2014; RIBEIRO et al., 2020).

O aproveitamento da radiação solar pela planta depende da sua capacidade de interceptar e utilizar a luz, ou seja, a capacidade fotossintética. Por sua vez, a taxa fotossintética de uma cultura depende da distribuição da radiação solar nas diferentes camadas de folhas e do total absorvido em cada camada (GOMES et al., 2016).

A eficiência de interceptação de um dossel vegetal corresponde à capacidade que a população de plantas possui para interceptar a radiação solar incidente, a qual se constitui no principal fator que influencia a fotossíntese e a transpiração (THORPE, 1978). A eficiência de interceptação de radiação solar aumenta rapidamente no início do ciclo do milho, devido ao aumento no índice de área foliar (IAF), que atinge um valor máximo no meio do ciclo, quando a cultura intercepta o máximo de energia. À medida em que a IAF aumenta, há sombreamento crescente no interior do dossel, resultando em acréscimos menores na eficiência de interceptação com a senescência foliar e diminuição da atividade fotossintética (MÜLLER; BERGAMASCHI, 2005; BERGAMASCHI; MATZENAUER, 2014).

O sombreamento reduz a quantidade de radiação solar à cultura como à sua área foliar, o que implica na redução do desenvolvimento das culturas (TEIXEIRA; MOTA; SILVA, 2005), por isso o melhoramento genético vem selecionando plantas com as folhas mais eretas, que permite maior interceptação de radiação solar no dossel (RIBEIRO et al., 2020).

De acordo com Ribeiro et al. (2020), a restrição de radiação solar na fase vegetativa não afetou o número de grãos por espigas, nem mesmo a produtividade final, no entanto reduziu a massa de grãos entre 6 e 10%. Conforme os autores, nessa fase, a restrição de radiação proporcionou um menor acúmulo de fotoassimilados, que são utilizados para a formação e enchimento de grãos. Durante a fase de florescimento, a restrição de radiação solar causou a redução de 4% do número de grãos por espiga, e na fase reprodutiva a restrição de radiação solar causou redução de 21% da massa de grãos. Dessa forma, por ausência de luz, ocorreu menor produção de fotoassimilados para o enchimento de grãos.

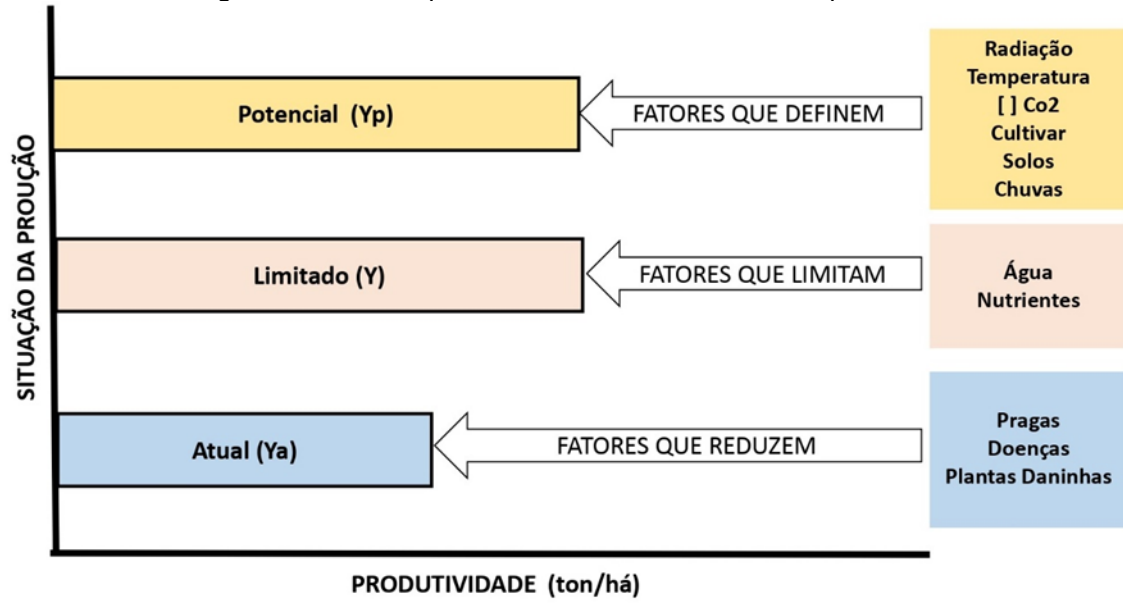
A temperatura é o principal fator determinante da emergência das plântulas e da taxa de emissão de novas folhas, realizada pelo acúmulo de graus dias, o qual

consiste no acúmulo térmico dentro dos limites nos quais a planta se desenvolve. Definidos pelas temperaturas basais inferior e superior (RITCHIE; HANWAY; BENSON, 1993), assim como, também no crescimento e desenvolvimento vegetal, possui capacidade de antecipar ou atrasar as reações e atividade biofísicas e bioquímicas das plantas.

O crescimento, desenvolvimento e a translocação de fotoassimilados apresentam relação com a disponibilidade hídrica, sendo os efeitos da deficiência hídrica mais pronunciados em condições de altas temperaturas, nas quais a evapotranspiração é alta. A fotossíntese líquida tem aumento acentuado em temperaturas amenas, ocasionado por incrementos diferenciados nos processos de fotossíntese e respiração, atingindo um máximo na chamada temperatura ótima (BERGONCI; BERGAMASCHI, 2002). Em temperaturas acima da ótima, a assimilação líquida diminui, pois os gastos com a respiração aumentam (TAIZ et al., 2017).

Quando as temperaturas permanecem abaixo de 10°C por longos períodos, o crescimento da planta é praticamente nulo, bem como, quando ocorrem dias sucessivos com temperaturas elevadas, ou seja, maiores que 34°C, que durante a fase de polinização leva à perda da viabilidade do pólen e redução da taxa de fertilidade dos óvulos, resultando em falhas na espiga (BERGAMASCHI; MATZENAUER, 2014). A baixa temperatura do solo é um fator limitante para o estabelecimento da cultura, podendo reduzir o estande de plantas, por atrasar a germinação e emergência (MONTEIRO, 2009) (Figura 2).

Figura 2 – Fatores que definem, limitam e reduzem a produtividade



Fonte: Adaptado de Van Ittersum (2013).

CAPÍTULO 1 – RESPOSTAS DA CULTURA DO MILHO AO USO DE BIOINSUMOS¹

¹ O artigo será submetido à Revista Ciência Rural

1 **Responses of maize culture to biological bioinputs use**

2 **Respostas da cultura do milho ao uso de bioinsumos**

3
4 **Taís Slim¹ Nereu Augusto Streck^{1*} Gersa Pauli Kist Steffen²**

5 **Luis Eduardo Curioletti¹ Jamilson Eliá Slim¹ Alencar Junior Zanon¹**

6
7 **ABSTRACT**

8 The cultivation of maize (*Zea mays*) has great economic importance for Brazilian agribusiness,
9 so the adoption of new technologies is increasingly sought to achieve high yields in a
10 sustainable way, in order to preserve the environment. As an example, bioinputs that promote
11 plant growth can be mentioned, which bring benefits such as: promotion of plant growth,
12 mobilization and transport of nutrients by nitrogen fixation, solubilization/mineralization of
13 phosphorus, increase in plant growth and productivity. The objectives of this work were: (i) To
14 evaluate the potential of use of bioinputs in the reduction of the productivity gap of the maize
15 crop (ii) and to determine the parameters of growth and development of the maize crop modified
16 by the use of bioinputs in cultivation conditions rainfed and irrigated. The experiment was
17 implemented in the agricultural year 2020/2021 in the municipalities of Cruz Alta - RS
18 (irrigated condition) and Júlio de Castilhos - RS (irrigated condition). The experimental design
19 used was randomized blocks with five treatments and four replications. The treatments used
20 were: Treatment 1 - control (seed treatment - 10 mL of water); treatment 2: *Trichoderma*
21 *harzianum* (seed treatment), treatment 3: *Trichoderma longibrachiatum* (seed treatment),
22 treatment 4: *Azospirillum brasilense* (seed treatment), treatment 5: Phosphorus solubilizer
23 (furrow application). The evaluations carried out in the field experiment were: corn growth and
24 development evaluations (performed in three plants of each plot), yield and productivity
25 components (determined in the useful area of 6m² of each plot, excluding the borders). The data

1 obtained for each variable were submitted to analysis of variance and to the Tukey test with a
2 5% error probability. The use of *Trichoderma harzianum*, *Azospirillum brasiliense*,
3 *Trichoderma longibrachiatum*, and Hydra-Hume + Nucleo-O-Phos provided increments of 37,
4 29, 20 and 15 bags of corn per hectare in relation to the control treatment. according to the data
5 presented, bioinputs provided significant increases in productivity under rainfed conditions,
6 which demonstrates the potential of using bioinputs as an alternative to increase the productive
7 potential of corn in the state of Rio Grande do Sul.

8

9 **Key words:** microorganisms, maize yield potential, *Trichoderma* sp., *Azospirillum* sp.,
10 sustainability.

11

12 **RESUMO**

13 O cultivo do milho (*Zea mays*) possui grande importância econômica para o
14 agronegócio brasileiro, assim cada vez mais se busca a adoção de novas tecnologias para
15 alcançar altas produtividades de forma sustentável, a fim de preservar o meio ambiente. A
16 exemplo disso citam-se os bioinsumos promotores do crescimento de plantas que trazem
17 benefícios como: promoção do crescimento das plantas, mobilização e transporte de nutrientes
18 pela fixação de nitrogênio, solubilização/mineralização do fósforo, incremento no crescimento
19 vegetal e na produtividade. Os objetivos deste trabalho foram: (i) Avaliar o potencial de uso de
20 bioinsumos na diminuição da lacuna de produtividade da cultura do milho (ii) e determinar os
21 parâmetros de crescimento e desenvolvimento da cultura do milho modificados pelo uso de
22 bioinsumos em condições de cultivo de sequeiro e irrigado. O experimento foi implantado no
23 ano agrícola 2020/2021 nos municípios de Cruz Alta - RS (condição de sequeiro) e Júlio de
24 Castilhos - RS (condição de irrigado). O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao
25 acaso com cinco tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos utilizados foram: Tratamento

1 1 - testemunha (tratamento de sementes - 10 mL de água); tratamento 2: *Trichoderma*
2 *harzianum* (tratamento de sementes), tratamento 3: *Trichoderma longibrachiatum* (tratamento
3 de sementes), tratamento 4: *Azospirillum brasilensis* (tratamento de sementes), tratamento 5:
4 Solubilizador de fósforo (aplicação no sulco). As avaliações realizadas no experimento a campo
5 foram: avaliações de crescimento e desenvolvimento do milho (efetuadas em três plantas de
6 cada parcela), componentes de rendimento e produtividade (determinados na área útil de 6m²
7 de cada parcela, excluindo-se as bordaduras). Os dados obtidos para cada variável foram
8 submetidos à análise da variância e ao teste Tukey com 5% de probabilidade de erro. O uso de
9 *Trichoderma harzianum*, *Azospirillum brasiliense*, *Trichoderma longibrachiatum*, e Hydra-
10 Hume + Nucleo-O-Phos proporcionaram incrementos de 37, 29, 20 e 15 sacas de milho por
11 hectare em relação ao tratamento testemunha. segundo os dados apresentados, os bioinsumos
12 proporcionaram incrementos significativos de produtividade em condições de sequeiro, o que
13 demonstra o potencial do uso de bioinsumos como alternativa para aumentar o potencial
14 produtivo da cultura do milho no estado do Rio Grande do Sul.

15

16 **Palavras-chave:** bioinsumos, potencial de rendimento de milho, *Trichoderma* sp., *Azospirillum*
17 sp., sustentabilidade.

18

19 **INTRODUÇÃO**

20 O milho (*Zea mays* L.) é uma das culturas produtoras de grãos mais importantes no
21 mundo, é a segunda cultura mais produzida no Brasil, se destaca no cenário das atividades
22 agropecuárias com importância econômica e social, é utilizado na alimentação humana e animal
23 e na indústria com diversas finalidades (CICILIATO; CASIMIRO, 2015).

24 No Brasil, é o segundo grão mais produzido com uma média de 96.555,63 mil Mg.ha⁻¹
25 ¹ (CONAB, 2021). O Brasil é o terceiro maior produtor mundial de milho, sendo superado pelos

1 Estados Unidos da América (358.099,20) e pela China (251.345,00), que são os maiores
2 produtores a nível mundial (USDA, 2020).

3 O crescimento da população mundial tem pressionado o aumento da demanda de
4 alimentos da produção agrícola (ONU, 2019), assim, cada vez mais se buscam técnicas e
5 alternativas para alcançar altas produtividades agrícolas em uma mesma área (REES et al.,
6 2014; CHIQUITO et al., 2012). O uso inadequado e excessivo de insumos externos como
7 fertilizantes e defensivos agrícolas para aumentar a produtividade e eliminar a ocorrência de
8 plantas daninhas, pragas e doenças é constante, no entanto essas práticas podem levar a perdas
9 da biodiversidade, contaminação da água, dos alimentos e dos lençóis freáticos, esgotamento
10 de minérios, eutrofização de águas superficiais e redução da diversidade de bioinsumos
11 (MARIN et al., 2016).

12 Com o objetivo de explorar os recursos de forma eficiente e integrada aos processos
13 naturais do solo, com viés sustentável (ALVES, 2019), rumo a uma agricultura mais sustentável
14 e com menor impacto sobre os recursos naturais, em meio à biodiversidade do solo, há
15 bioinsumos que proporcionam benefícios para o solo e a produção vegetal (PÉREZ-VELASCO
16 et al., 2019), dentre eles *Trichoderma harzianum*, *Trichoderma longibrachiatum*, *Azospirillum*
17 *brasilensis*, fungos micorrízicos, diazotróficos, solubilizadores e mineralizadores de nutrientes
18 (formulado a partir de ácidos húmicos), antagonistas de patógenos e pragas, reguladores de
19 fitormônios como auxinas e giberelinas (MARTÍNEZ-MEDINA et al., 2014) e também
20 auxiliam no aumento da tolerância contra estresses bióticos e abióticos (MARIN et al., 2016;
21 FARIAS et al., 2018; BARELLI et al., 2016, KHAN et al., 2012; TEWARI et al., 2015).
22 Estudos apontam que os ácidos húmicos e fúlvicos atuam sobre desenvolvimento de mudas de
23 tomate (BERNARDES et al., 2011) e sobre a promoção do crescimento das mudas de
24 abacaxizeiro propagadas *in vitro* (BALDOTTO et al., 2009). Assim, os objetivos específicos
25 deste trabalho foram: (i) Avaliar o potencial de uso de bioinsumos promotores do crescimento

1 de plantas na diminuição da lacuna de produtividade da cultura do milho (ii) e determinar os
 2 parâmetros de crescimento e desenvolvimento da cultura do milho modificados pelo uso de
 3 bioinsumos promotores do crescimento de plantas em condição de sequeiro e irrigado.

4 5 MATERIAL E MÉTODOS

6 Os experimentos foram conduzidos no ano agrícola 2020/2021 na Agropecuária Santa
 7 Terezinha no município de Cruz Alta (latitude 28° 48' 03,3" S, longitude 53° 35' 58,8" W) e
 8 na Agropecuária Cechim no município de Júlio de Castilhos (latitude 29° 09' 41,1"S, longitude
 9 53° 34' 32,5"W). O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é Cfa Subtropical
 10 úmido sem estação seca definida com verões quentes (KUINCHTNER; BURIOL, 2001).
 11 Foram utilizados cinco tratamentos conforme a Tabela 1.

12

13 Tabela 1 - Caracterização dos tratamentos utilizados nos experimentos

Tratamento	Produtos	Dose	Momento/Forma de Aplicação
T1	Testemunha (água)	10 MI a cada 1 Kg	Tratamento de semente
T2	<i>Trichoderm harzianum</i>	10 MI a cada 1 Kg	Tratamento de semente
T3	<i>Trichoderm longibrachiatum</i>	10 MI a cada 1 Kg	Tratamento de semente
T4	<i>Azospirillum brasilense</i>	5 MI a cada 1 Kg	Tratamento de semente
T5	Nucleo - O - Phos + Hydra Hume	5000 MI por hectare	Sulco

14

15 O processo de inoculação das sementes com os tratamentos 1, 2, 3, e 4 ambos de
 16 formulação líquida, foi realizado no período da manhã. Foi utilizado embalagens plásticas,
 17 agitado bem o produto para torná-lo homogêneo, com o auxílio de uma seringa foi inserido o
 18 inóculo dentro da embalagem, espalhando de maneira uniforme, após colocou-se a semente
 19 dentro e agitou com cuidado para ocorrer o recobrimento uniforme das mesmas, a cada
 20 tratamento foi utilizado novas seringas, luvas e embalagens plásticas para evitar a contaminação

1 dos inóculos, após foi deixado o inóculo secar na sombra e em seguida realizado a semeadura.
2 O tratamento 5, foi aplicado diretamente no sulco. A dose aplicada seguiu as recomendações
3 dos fabricantes para a cultura do milho, assim como a aplicação do tratamento 5 (cinco) no
4 sulco.

5 A semeadura do experimento instalado no município de Júlio de Castilhos (condição
6 irrigado, pelo sistema de pivô central), ocorreu no dia 27/08/2020. Utilizou-se sementes de
7 milho híbridos simples AG-9025 VT-PRO-3, ciclo super precoce. Para a instalação do
8 experimento no município de Cruz Alta (condição de sequeiro), foram utilizadas sementes de
9 milho híbrido simples DKB 230 PRO- 3, de ciclo hiper precoce, tendo como data de semeadura
10 o dia 02/09/2020. Em ambos os locais, as sementes já possuíam tratamento industrial de
11 sementes e a semeadura foi realizada com profundidade entre três e cinco cm, manualmente
12 para evitar a mistura e contaminação dos inóculos.

13 Para cada um dos cinco tratamentos combinados foram consideradas quatro repetições,
14 totalizando 20 unidades experimentais, com dimensões de 3 m x 8 m (C x L), correspondendo
15 à uma unidade experimental de 24 m², constituída de 6 linhas, espaçadas em 0,50 cm. Para a
16 condição de irrigado, a densidade de semeadura foi de 110 mil plantas/hectare, 11 plantas por
17 m², 5,5 plantas/m linear, totalizando 192 plantas por parcela. Na condição de sequeiro, a
18 densidade de semeadura foi 70 mil plantas/ hectare, 9 plantas por m², 4,05 plantas/m linear,
19 totalizando 216 plantas por parcela.

20 A avaliação do estabelecimento inicial foi realizada a partir da contagem das plantas
21 estabelecidas, nas duas linhas centrais, com quatro metros em cada parcela. A área foliar foi
22 realizada a partir da coleta de 10 folhas em toda a estrutura da planta durante os estágios
23 fenológicos: V6, R2 e R6, com medições de comprimento no sentido da nervura principal e a
24 maior largura encontrada nas folhas, com o auxílio de uma fita métrica. Após, realizou-se a

1 soma da área de todas as folhas da planta, utilizando a seguinte expressão: $A = C \times L \times 0.75$,
2 descrita e utilizada por Tollenaar (1992).

3 A coleta de massa fresca foi realizada nos estádios fenológicos: V6, R2 e R6,
4 coletando-se três plantas por parcela, as plantas foram cortadas ao nível do solo e o material
5 separado em folha, colmo, pendão e espiga e posteriormente acondicionados em sacos de papel
6 previamente identificados, levados para secagem em estufa a 65°C até o peso do material
7 estabilizar. Após, realizou-se a pesagem em balança de precisão para determinar a massa seca.

8 A colheita foi realizada de forma manual na área útil de 6 m², excluindo-se a bordadura
9 da parcela, quando todos os grãos atingiram o máximo acúmulo de matéria seca. Avaliaram-se
10 individualmente as espigas de 10 plantas para a avaliação dos componentes secundários de
11 produtividade: altura de plantas, altura de inserção da espiga e diâmetro basal do colmo com o
12 auxílio de fita métrica e paquímetro digital para a obtenção dos componentes de rendimento
13 primários, número de fileira por espiga, número de grãos por fileira e massa de grãos. Por fim,
14 determinou-se o grau de umidade. A produtividade de sementes foi estimada e convertida para
15 a unidade de toneladas/ hectare.

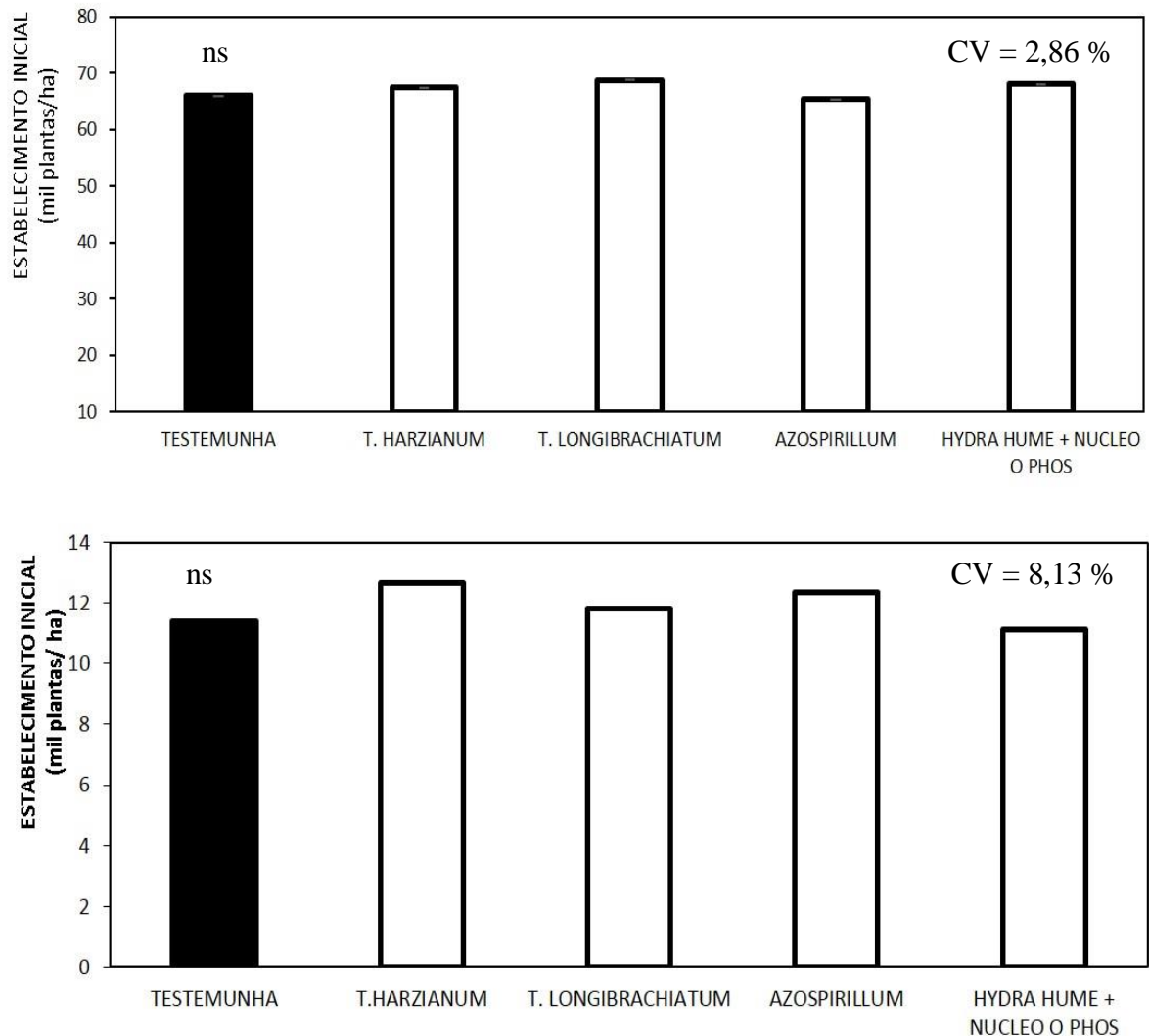
16 Os dados foram tabulados e submetidos à análise de variância, aplicou-se teste de
17 Tukey a 5% de probabilidade, com auxílio do software Statistix 9.

18

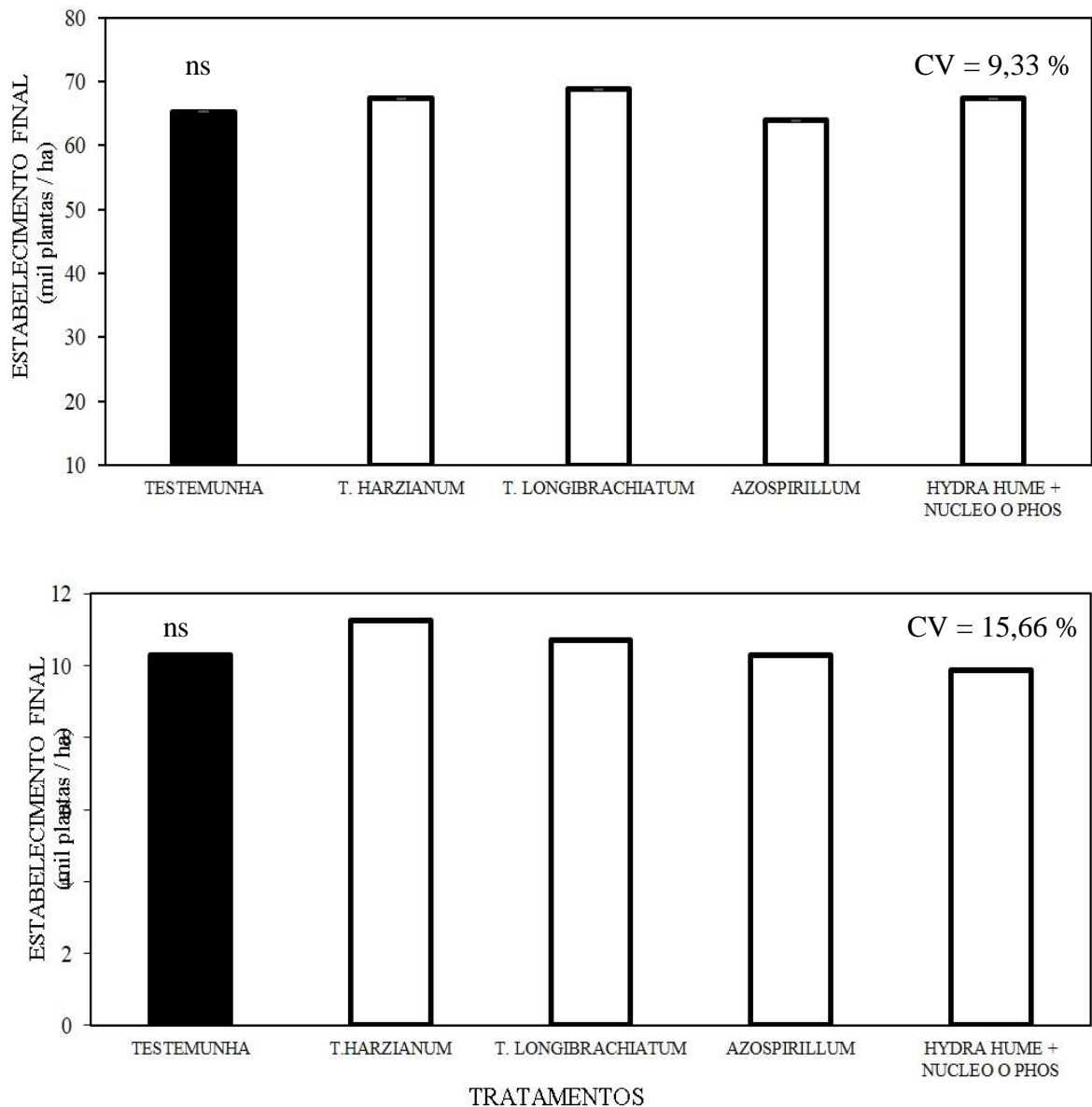
19 **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

20 De acordo com Vian et al. (2016), a obtenção de alta produtividade de grãos na cultura
21 do milho está diretamente relacionada com a população final de plantas e a distribuição espacial
22 uniforme de plantas com o mínimo de plantas dominadas na área. O estande inicial de plantas
23 foi avaliado no presente estudo, sendo as médias da população inicial de 67 mil plantas/ha
24 (Figura 1A) na condição de sequeiro e 12 mil plantas/ha (Figura 1B) na condição de irrigado.
25 O estande final de plantas também foi avaliado, sendo a população final de 67 mil plantas/ha

- 1 (Figura 2A) em condição de sequeiro e 10 mil plantas/ha (Figura 2 B) na condição irrigado.
 2 Observa-se que não houve diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos,
 3 evidenciando que T1, T2, T3, T4 e T5 (Tabela 1) apresentaram comportamento semelhante que
 4 não interferiram no estande de plantas.



- 5
 6 Figura 1 – Estabelecimento inicial de plantas. A densidade de semeadura de 70 (A) e (B) 110
 7 mil plantas.ha⁻¹, na condição de sequeiro e irrigado respectivamente. As barras indicam o erro
 8 padrão entre as repetições experimentais. Médias seguidas da mesma letra não diferem pelo
 9 teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.
 10



1

2 Figura 2 – Estabelecimento final de plantas. A densidade de semeadura de 70 (A) e (B) 110 mil
 3 plantas.ha⁻¹, na condição de sequeiro e irrigado respectivamente. As barras indicam o erro
 4 padrão entre as repetições experimentais. Médias seguidas da mesma letra não diferem pelo
 5 teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

6

7

8

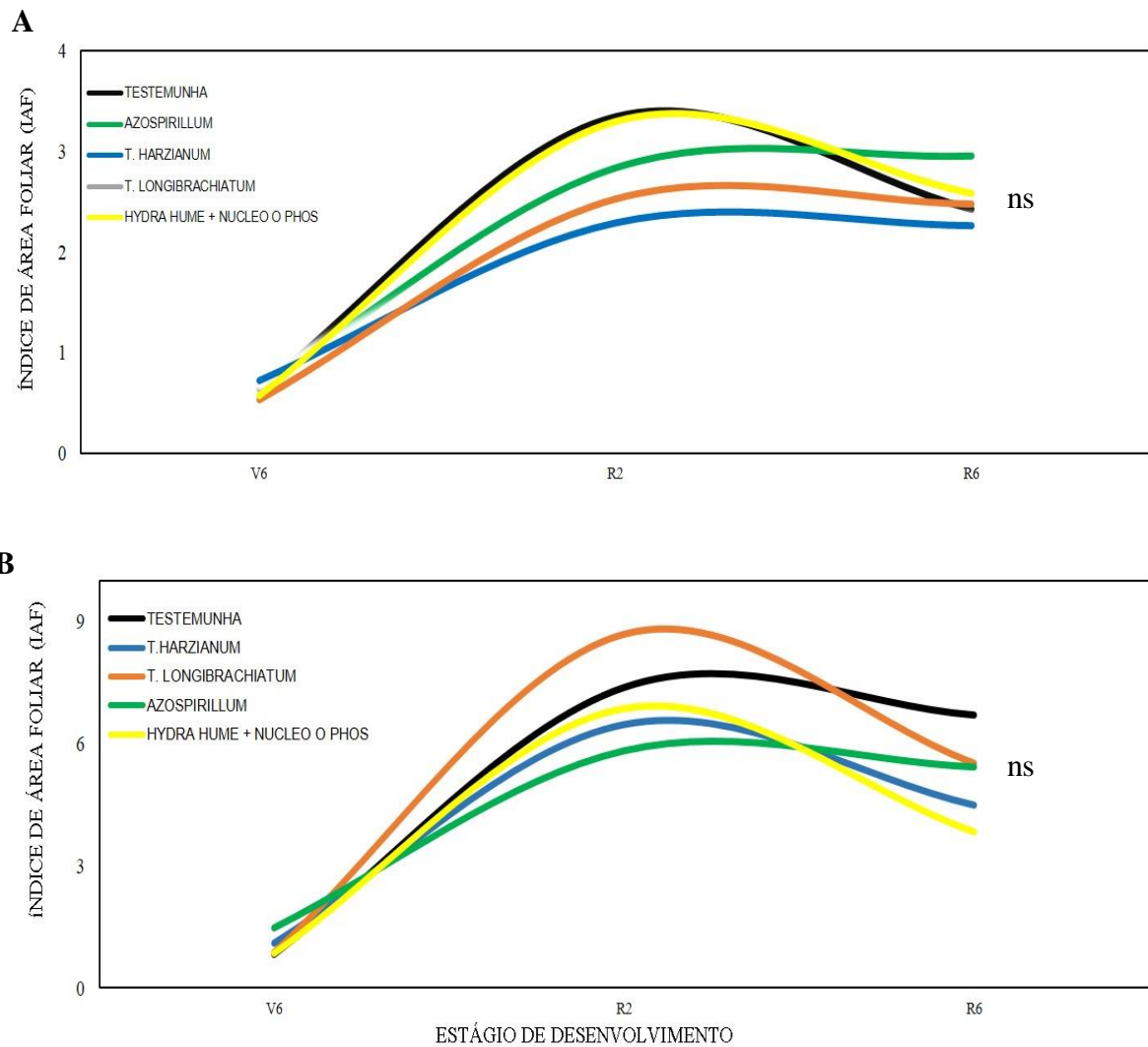
A quantidade de sementes que não germinaram e/ou de plantas perdidas durante a
 condução do estudo foi baixa em relação à densidade de semeadura (70.000 mil sementes/ha

1 na condição de sequeiro e 110 mil sementes/ha na condição de irrigado), fato atribuído à boa
2 distribuição das sementes na lavoura, contribuindo para que não tenha sido observada a
3 ocorrência de plantas dominadas e competição intraespecífica na lavoura, proporcionando
4 homogeneidade entre os tratamentos.

5 De acordo com Watson (1947), o IAF (índice de área foliar) corresponde à área de
6 folhas por unidade de terreno ($m^2.m^{-2}$), ou seja, é relação entre a área total de folhas e a área de
7 solo ocupada pela planta, e pode ser compreendido como o primeiro componente de rendimento
8 da cultura do milho. As folhas representam o principal órgão responsável pelo processo
9 fotossintético, pois são capazes de converter fotoassimilados em produtividade (TAIZ;
10 ZEIGER, 2017). Por ser uma planta C4, possui eficiência em captar CO_2 , utilizar a radiação e
11 armazenar nos órgãos de reserva e posteriormente translocar para os demais órgãos de reserva
12 (FIGUEREDO JÚNIOR et al., 2005). Porém, apresenta baixa plasticidade para compensar
13 perdas no IAF, a redução da produtividade de grãos pode ocorrer pela redução do índice de área
14 foliar e da eficiência com que a RFA interceptada é utilizada pela cultura (KUNZ et al., 2007;
15 TAIZ; ZEIGER, 2017).

16 O IAF varia de acordo com o estágio de desenvolvimento (aumenta o aparecimento de
17 folhas e o crescimento foliar e diminui a senescência das folhas) e com as condições ambientais
18 (VEGA et al., 2000). No início do desenvolvimento, o IAF evolui linearmente (estágio V6) e
19 atinge o máximo IAF próximo ao pendoamento, quando é considerado o IAF ótimo (MÜLLER;
20 BERGAMASCHI, 2005), pois nesse momento as plantas atingem o NFF (número final de
21 folhas). Na Figura 3, observa-se que os maiores valores de IAF são proporcionados no estágio
22 R2, no estágio R6 o IAF reduz devido à senescência das folhas inferiores, causadas pelo
23 sombreamento e translocação de fotoassimilados para os órgãos reprodutivos (FIGUEREDO
24 JÚNIOR et al., 2005).

25



1

2 Figura 3 – Evolução do índice de área foliar na condição de sequeiro (A) e irrigado (B) durante
 3 os estágios V6, R2 e R6. As barras indicam o erro padrão das repetições experimentais em cada
 4 estágio. Médias seguidas da mesma letra não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade
 5 de erro.

6

7 Não houve diferença estatística do IAF entre os tratamentos, independente da condição
 8 hídrica (Figuras 3A e 3B) sequeiro e irrigado, indicando uma adequada distribuição espacial
 9 das plantas na área, bom potencial de interceptação de energia radiante e grau de
 10 desenvolvimento da planta o que foi muito relevante para alcançar um bom potencial produtivo.

1 No entanto, os resultados encontrados por Müller et al. (2021), com relação ao IAF, as plantas
2 inoculadas com a estirpe de *Azospirillum brasilense* aumentaram o IAF em relação aos demais
3 tratamentos, pois as plantas inoculadas possuem maior capacidade para o seu desenvolvimento
4 e maior taxa fotossintética da cultura, conseqüentemente maior é a quantidade de radiação solar
5 interceptada (TAIZ; ZIEGLER, 2017).

6 A massa seca (MS) é o peso do material, descontada a sua umidade. A determinação
7 da matéria seca é de grande importância, uma vez que há grande variação na MS das plantas
8 nos diferentes estágios fenológicos. De acordo com Hasanah et al. (2014), a massa seca é a
9 variável ideal para medida do crescimento vegetal, porque reflete a capacidade das plantas em
10 captar a energia solar e transformar tal energia através da fotossíntese.

11 As plantas de milho acumularam diferentes quantidades de massa seca durante os
12 estágios em que as plantas foram avaliadas (V6, R2 e R6). Durante o estágio V6, nas Figuras
13 4A e 4B, o IAF variou, respectivamente, entre 2,77 a 3,63 Kg/ha e 5,07 a 6,23 Kg/ha. No estágio
14 R2, o IAF variou, respectivamente, entre 95,33 a 120,45 Kg/ha e 0 a 250,36 kg/ha. Por fim, no
15 estágio R6, o IAF variou, respectivamente, entre 104,30 a 95,79 Kg/ha e 320,70 a 414,39 Kg/ha.

16

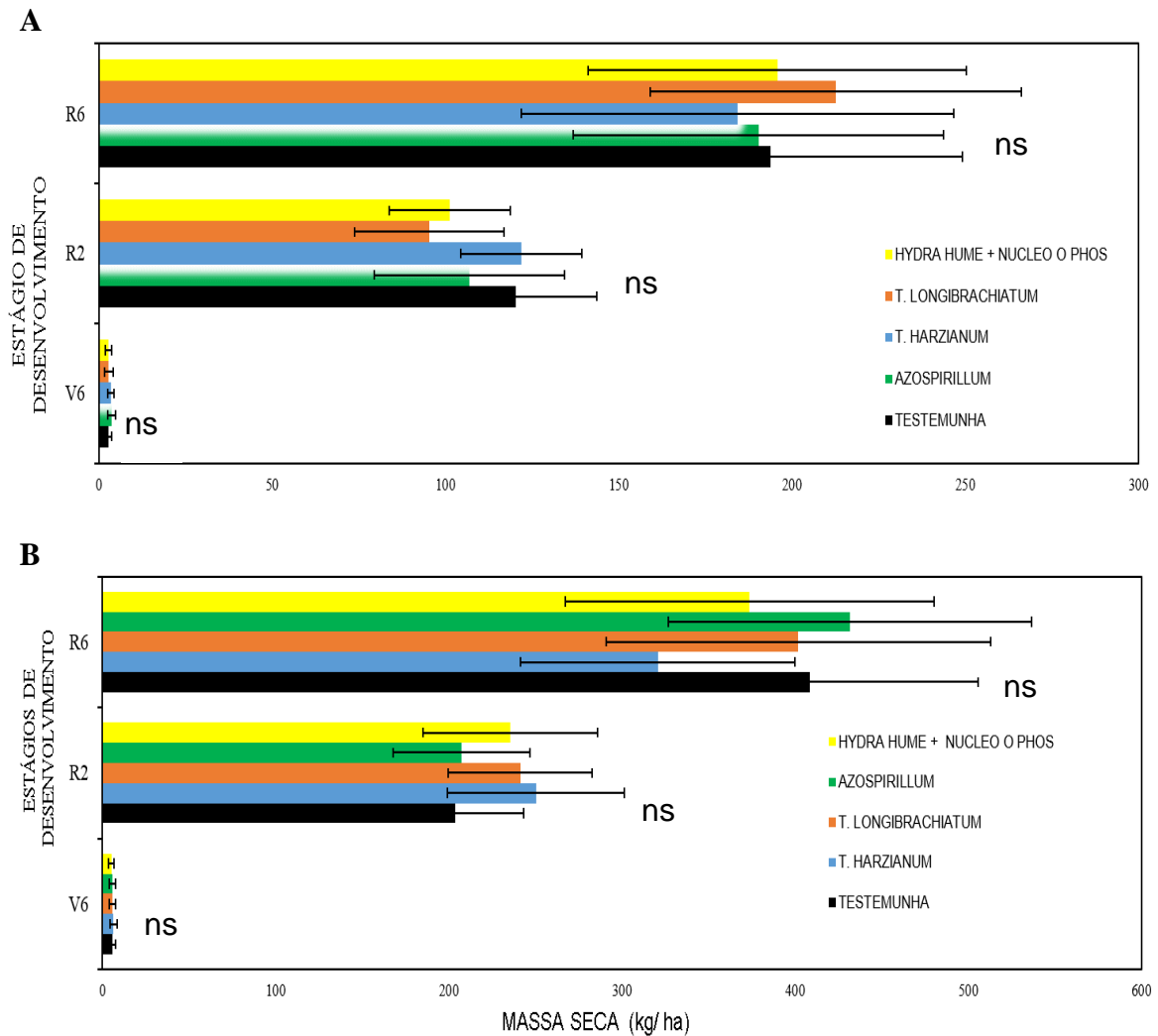


Figura 4 – Evolução da massa seca total ($\text{Kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) nas condições de sequeiro (A) e irrigado (B) durante os estágios V6, R2 e R6. As barras indicam o erro padrão das repetições experimentais em cada estágio. Médias seguidas da mesma letra não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

A massa seca total da parte aérea de plantas, incluindo as estruturas reprodutivas das plantas, não apresentou diferença acentuada na fase vegetativa, nem mesmo na reprodutiva, em função da condição hídrica do ambiente (sequeiro e irrigado). Os resultados obtidos neste trabalho são condizentes com Gressana (2018), que não encontrou diferenças significativas para a variável massa seca total com as estirpes de *Azospirillum brasilense*. Resende et al. (2004)

1 também não encontraram efeito significativo para a massa seca total da parte aérea com as
 2 estirpes de *Trichoderma* spp. Conforme Melo et al. (2018), a inoculação com ácidos húmicos
 3 também não estimulou significativamente a massa seca total da parte aérea.

4 Marini et al. (2015), Quadros et al. (2014), Braccini et al. (2012) e Picazevicz et al.
 5 (2017), com resultados divergentes, relataram que o *Azospirillum brasilense* causou aumento
 6 na matéria seca da parte aérea das plantas de milho devido à solubilização de nutrientes e
 7 produção de fitohormônios como: auxinas, giberelinas e citocininas, o que evidencia o efeito
 8 desta rizobactéria como promotora do crescimento de plantas. Durigon (2012) observou
 9 incremento de 2,8% da produção de massa seca utilizando cepas de *Trichoderma* spp., assim
 10 como Rodrigues et al. (2017), que avaliaram o efeito do tratamento de sementes de milho com
 11 produto comercial fonte de ácido húmico, que promoveu o aumento da massa seca total da parte
 12 aérea do milho, além de ter influência positiva no índice de velocidade de emergência.

13 Na Tabela 2 são apresentadas as variáveis referentes às características agronômicas
 14 das plantas de milho que sofreram ou não alterações nos tratamentos avaliados, apresentando
 15 médias.

16

17 Tabela 2 - Ação dos tratamentos na condição de sequeiro e irrigado sob as características
 18 agronômicas de plantas de milho, cultivado na safra 2020/2021.

Tratamento	Altura de plantas (cm)		Altura da inserção da espiga (cm)		Diâmetro basal do colmo (mm)	
	Irigado	Sequeiro	Irigado	Sequeiro	Irigado	Sequeiro
T1	3,09 a	1,86 a	1,62 a	80,37 a	23,76 a	21,32 a
T2	3,12 a	1,79 a	1,64 a	80,53 a	24,73 a	20,41 a
T3	3,03 a	1,76 a	1,62 a	74,98 a	23,8 a	20,86 a
T4	3,02 a	1,74 a	1,60 a	74,00 a	24,6 a	21,38 a
T5	3,07 a	1,80 a	1,58 a	79,53 a	24,61 a	21,05 a
MÉDIA	3,06	1,79	1,61	77,88	24,30	21,00
CV	16,00	5,50	8,11	8,70	5,84	5,25

1 A inoculação utilizando bioinsumos não resultou em incrementos significativos,
 2 conforme apresentado na Tabela 3, em que as variáveis referentes às características
 3 agrônômicas das plantas de milho não sofreram alterações nos tratamentos avaliados,
 4 apresentando, respectivamente médias de altura de planta de 1,79 e 3,06 cm, altura de inserção
 5 de espiga de 77,88 e 1,61 cm e diâmetro de colmo 21 e 24,30 mm. Resultados semelhantes
 6 foram encontrados por Cunha et al. (2014), Gressana, (2018), Pandolfo et al. (2015), Zemrany
 7 et al. (2006), Morais et al.(2015), em que a inoculação coma estirpe de *Azospirillum brasilense*
 8 não promoveu efeitos significativos nas variáveis, no entanto Braccini et al. (2012), Costa et al.
 9 (2015) e Hungria et al. (2010) constataram incrementos nas variáveis relacionadas ao
 10 crescimento do milho devido à inoculação de sementes de milho com esse bioinsumo.

11

12 Tabela 3 - Ação dos tratamentos na condição de sequeiro e irrigado sob componentes de
 13 rendimento de milho, cultivado na safra 2020/2021.

Tratamento	Número de fileiras/espiga (cm)		Número total de grãos (cm)		Massa de 1000 grãos (mm)	
	Irigado	Sequeiro	Irigado	Sequeiro	Irigado	Sequeiro
T1	17 a	14 a	542 a	341 a	411,44 a	327,76 B
T2	15 a	14 a	464 a	381 a	403,42 a	375,67 A
T3	15 a	14 a	500 a	408 a	406,92 a	358,74 AB
T4	15 a	14 a	473 a	378 a	390,40 a	362,33 AB
T5	15 a	14 a	475 a	397 a	401,51 a	364,47 ABA
MÉDIA	15	14	491,00	381,00	403,00	357,79
CV	13,81	4,95	-	-	3,19	7,58

14

15 Resende et al. (2004) e Silva et al. (2012) inocularam sementes de milho com
 16 *Trichoderma* spp. e chegaram a resultados que corroboram com os resultados deste trabalho,
 17 ou seja, não obtiveram diferença estatística significativa. Em contra partida, Harman et al.
 18 (1989), observaram que houve aumento na variável diâmetro do caule. Em outras culturas,

1 como o maracujá (PEREIRA, 2012) e o feijoeiro (CARVALHO et al., 2011), a inoculação
2 realizada coma estirpe *Trichoderma* spp. incrementou de forma significativa na variável altura
3 de plantas. Já, para o ácido húmico, Leite (2018) também constatou que as variáveis referentes
4 às características agronômicas das plantas de milho não sofreram alterações.

5 Constata-se, na Tabela 3, que as variáveis referentes às características agronômicas
6 das plantas de milho que sofreram ou não alterações nos tratamentos avaliados, apresentando
7 médias, as variáveis que não apresentaram diferença entre os tratamentos estudados,
8 respectivamente, apresentaram médias de número de fileiras por espiga 14 e 15 número total
9 de grãos por espiga 381 e 475 e massa de 1000 grãos 357,79 gramas.

10 No entanto, a variável massa de 1000 grãos (Tabela 3), apresentou diferenças
11 significativas entre os tratamentos analisados, sendo observadas maiores médias em T2, T5 e
12 T4, seguidos de T3 e T1 (Tabela 1), com as menores médias corroborando com os resultados
13 encontrados por Steffen et al. (2021) e Harman et al. (1989), que constataram efeitos positivos
14 do tratamento *Trichoderma* spp., assim como aumentos consistentes sobre a variável massa de
15 1000 grãos.

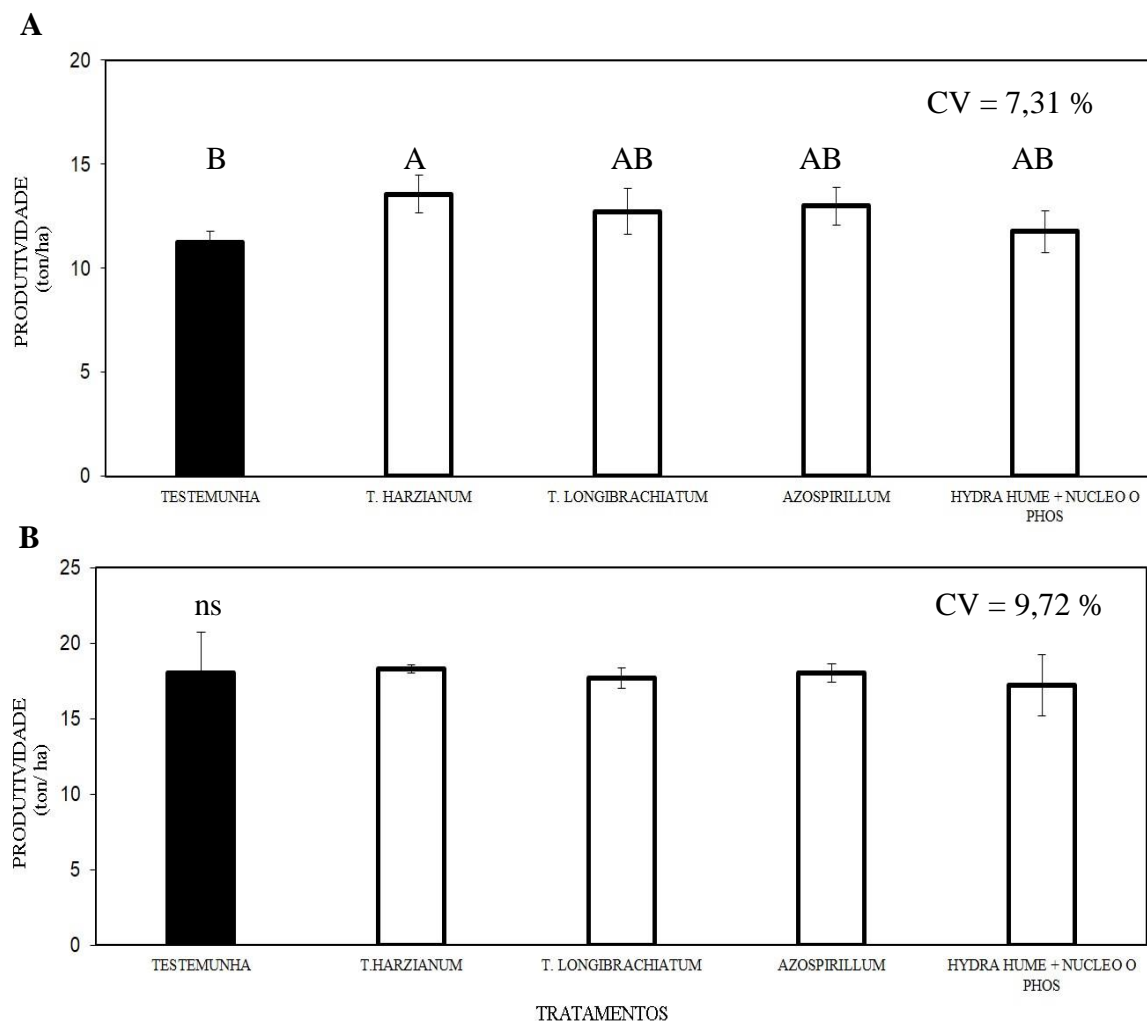
16 No entanto, Zemrany et al. (2006), Pandolfo et al. (2015), Cunha et al. (2014) e
17 Dobbelaere et al. (2002) verificaram que a inoculação com *Azospirillum brasilense* não
18 proporcionou aumento nos componentes primários de rendimento. Harman et al. (1989)
19 realizou inoculação com estirpes de *Trichoderma* spp. em cultivar de milho doce e constataram
20 aumentos consistente nos componentes de rendimento. Conforme Cunha et al. (2014), quando
21 utilizou ácidos húmicos na cultura de milho, também não encontrou diferenças significativas
22 para as variáveis de rendimento e para a massa de 1000 grãos.

23 Ao observar as Figuras 5A e 5B, é possível constatar que ocorreu diferença para a
24 variável produtividade na condição de sequeiro. A inoculação com *Trichoderma harzianum*
25 resultou na produtividade média de 224 sc/ha, seguidos de *Azospirillum* 216 sc/ha, *Trichoderma*

1 *longibrachiatum* 207 sc/ha, Hydra-Hume + Nucleo – O- Phos 202 sc/ha e a testemunha com a
 2 menor produtividade 187 sc/ha. De acordo com Quadros et al. (2014), os efeitos da inoculação
 3 com *Azospirillum brasilense* dependem do híbrido utilizado e das condições climáticas, no
 4 entanto, Brum et al. (2016) observaram que a inoculação com *A. brasilense* proporcionou efeito
 5 positivo na produtividade de grãos, independentemente do híbrido utilizado. Alguns autores
 6 (Hungria et al., 2010; Müller et al., 2016; Novakowski et al., 2011; Lana et al., 2012) relataram
 7 aumentos de 4, 6, 7, 9, 14 e 17% na produtividade de grãos de milho, respectivamente.

8

9



10

1 Figura 5 – Produtividade (ton.ha⁻¹) na condição de sequeiro (A) e irrigado (B). As barras
2 indicam o erro padrão das repetições experimentais. Médias seguidas da mesma letra não
3 diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

4

5 A inoculação realizada com a estirpe de *Trichoderma* spp. resultou em incremento de
6 produtividade de grãos de milho referente a 40,56 sacos de milho por hectare, resultados estes
7 obtidos por Steffen et al. (2021). De acordo com Harman (2011), o incremento em
8 produtividade de grãos pode chegar a 820 kg/ha⁻¹ ao utilizar sementes de milho em estudos
9 realizados no Estados Unidos da América. Ao utilizar sementes de milho comum, Harman
10 (2000) verificou que a mesma estirpe proporcionou maior produção de grãos.

11 Poucos trabalhos são encontrados na literatura sobre o efeito dos ácidos húmicos na
12 produtividade do milho. Caron et al. (2015) destacam que existem alguns estudos que
13 comprovam o benefício na produtividade, assim como alguns que são contrários a estes
14 resultados, no entanto, Cornejo e Herмосín (1996) relataram que a utilização de ácidos húmicos
15 proporciona melhoria na germinação de sementes, no desenvolvimento radicular, das plantas e
16 também na produtividade.

17 Diferentemente do que ocorreu no município de Júlio de Castilhos, que não houve
18 interferência do uso de bioinsumos para as variáveis avaliadas durante a condução do
19 experimento, as médias da produtividade dos tratamentos foram 293sc/ha. Müller et al. (2021)
20 e Mello (2012), ao realizarem estudos utilizando estirpes de *Azospirillum brasilense*,
21 observaram que não ocorreu incremento na produtividade do milho. Durigon (2012), ao utilizar
22 estirpes de *Trichoderma* spp., observou que para a variável produtividade não ocorreu
23 incremento na produtividade de grãos de milho.

24 Para a produtividade de Cruz Alta ocorreu incremento de produtividade, o qual
25 provavelmente esteja relacionado ao aumento da capacidade das plantas inoculadas em

1 absorver e translocar nutrientes e água durante o ciclo da cultura. A capacidades dos bioinsumos
2 em colonizar as raízes também pode ser atribuída às condições climáticas favoráveis ocorridas
3 durante a condução do experimento e as características de solo no local de implantação da
4 cultura, aliadas à adubação de base e de cobertura seguindo as recomendações para a cultura,
5 condições essas que também favoreceram a produtividade da testemunha como ocorreu em
6 Júlio de Castilhos. O ambiente em que foi conduzido o experimento possui baixa limitação de
7 potencial e nenhuma/pouca deficiência nutricional, adequados índices de fertilidade e que há
8 anos é cultivado em sistema de plantio direto, com rotação de culturas e elevados índices de
9 investimento em adubação química. Neste contexto, percebe-se que diversos fatores podem
10 estar interferindo na ação dos bioinsumos.

11 No município de Cruz Alta a cultura estava na condição de sequeiro e durante a safra
12 ocorreram condições de estresse hídrico (falta de chuva), no entanto, a ação dos tratamentos foi
13 capaz de proporcionar incrementos na produtividade.

14 Os resultados deste trabalho podem estar relacionados ao que pondera Hungria (2010),
15 que os efeitos da inoculação de sementes de milho sobre o rendimento de grãos dependem das
16 características genéticas das plantas, das estirpes utilizadas e fatores nutricionais, além das
17 condições edafoclimáticas específicas do ambiente em cada ano agrícola. Sugiro finalizar o
18 trabalho fazendo uma análise econômica dos benefícios do uso de bioinsumos para os
19 agricultores, demonstrando que pode ser uma alternativa rentável, considerando o custo médio
20 de produção da lavoura de milho (R\$ 4.600,00 o custo médio por hectare).

21

22 **CONCLUSÃO**

23 A disponibilidade hídrica interferiu no efeito de incremento produtivo dos insumos
24 biológicos testados na cultura do milho. Incrementos significativos de produtividade foram
25 observados somente em condições de sequeiro. O uso de *Trichoderma harzianum*, *Azospirillum*

1 *brasiliense*, *Trichoderma longibrachiatum* e Hydra-Hume + Nucleo-O-Phos proporcionaram
2 incrementos de 37, 29, 20 e 15 sacas de milho por hectare em relação ao tratamento testemunha.

3 Considerando os incrementos significativos que os insumos biológicos testados
4 apresentaram sobre a massa de 1000 grãos (g) e a produtividade total (ton/ha) da cultura em
5 condição de sequeiro, é possível afirmar que há espaço para adoção de tecnologias e manejos
6 que possibilitem o aumento da produtividade de milho no sul do Brasil.

7

8 **AGRADECIMENTOS**

9 A todos que contribuíram para a realização deste trabalho: Integrantes da Equipe Field
10 Crops, agricultores: Rogério Cechin e Mauricio de Bortoli, pesquisadores: Gerusa e Ricardo
11 Steffen e as Empresas: AGRUM, Helena Dragamas, Syngenta e Simbiose.

12

13 **REFERÊNCIAS**

14 ALVES, G.S. **Fungos promotores do crescimento do feijoeiro, micorriza arbuscular e**
15 **atributos bioquímicos do solo**. 2019. 57p. Dissertação (Mestrado em Qualidade Ambiental)
16 - Curso de Pós-Graduação em Qualidade Ambiental, Universidade Federal de Uberlândia.

17 BALDOTTO, L.E.B. et al. Desempenho do abacaxizeiro ‘Vitória’ em resposta à aplicação de
18 ácidos húmicos durante a aclimação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, n.4,
19 p.979–990, 2009. Available from:
20 <<https://www.scielo.br/j/rbcs/a/wpBBC74YxNvRvv6pr7MrdsW/?lang=pt>>. Accessed: 15 Dec.
21 2021. doi: 10.1590/S0100-06832009000400022.

22 BARELLI, L. et al. Fungi with multifunctional lifestyles: endophytic insect pathogenic fungi.
23 **Plant Molecular Biology**, v.90, n.6, p.657-664. Available from:
24 <<https://link.springer.com/article/10.1007/s11103-015-0413-z>>. Accessed: Dec. 15, 2021. doi:
25 10.1007/s11103-015-0413-z.

- 1 BERNARDES, J.M. et al. Efeito da aplicação de substância húmica em mudas de tomateiro.
2 **Global Science and Technology**, v.4, n.3, p.92-99, 2011. Available from:
3 <[https://silo.tips/download/global-science-and-technology-issn-efeito-da-aplicacao-de-](https://silo.tips/download/global-science-and-technology-issn-efeito-da-aplicacao-de-substancia-humica-em-mu)
4 [substancia-humica-em-mu](https://silo.tips/download/global-science-and-technology-issn-efeito-da-aplicacao-de-substancia-humica-em-mu)>. Accessed: Dec. 15, 2021.
- 5 BRACCINI, A.L et al. Seed inoculation with *Azospirillum brasilense*, associated with the use
6 of bioregulators in maize. **Revista Caatinga**, v.25, n.2, p.58-64, 2012. Available from:
7 <<https://periodicos.ufersa.edu.br/index.php/caatinga/article/view/2241/pdf>>. Accessed: Dec.
8 15, 2021.
- 9 BRUM, M.S. et al. Components of corn crop yield under inoculation with *Azospirillum*
10 *brasilense* using integrated crop-livestock system. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.38, n.4,
11 p.485-492, 2016. Available from: <
12 <https://www.scielo.br/j/asagr/a/kLf3HtS3krbKMGrmrVpP7Vr/?lang=en>>. Accessed: Dec. 15,
13 2021. doi: 10.4025/actasciagron.v38i4.30664.
- 14 CARON, V.C. et al. Condicionadores do solo: ácidos húmicos e fúlvicos. Piracicaba: ESALQ,
15 2015.
- 16 CARVALHO, D.D.C. et al. Controle de *Fusarium oxysporum* f. sp. Phaseoli in vitro e em
17 sementes, e promoção do crescimento inicial do feijoeiro comum por *Trichoderma harzianum*.
18 **Tropical Plant Pathology**, v.36, n.1, p.28–34, 2011. Available from:
19 <<https://www.scielo.br/j/tpp/a/K8tzvTt7fNyCQ3LKGj5wWSv/?lang=pt>>. Accessed: Dec. 15,
20 2021. doi: 10.1590/S1982-56762011000100004.
- 21 CHIQUITO, R.N. et al. Bioestimulantes e inseticidas no tratamento de sementes na cultura do
22 milho. In: ENCONTRO ANUAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 22., 2013, Foz do Iguaçu.
23 **Anais...** Foz do Iguaçu: Universidade Estadual do Oeste do Paraná, 2013. Available from:
24 <[http://files.agricultura-sustentavel6.webnode.com/200000150-](http://files.agricultura-sustentavel6.webnode.com/200000150-32e3e33dfb/BIOESTIMULANTES%20E%20INSETICIDAS%20NO%20TRATAMENTO%20)
25 [32e3e33dfb/BIOESTIMULANTES%20E%20INSETICIDAS%20NO%20TRATAMENTO%](http://files.agricultura-sustentavel6.webnode.com/200000150-32e3e33dfb/BIOESTIMULANTES%20E%20INSETICIDAS%20NO%20TRATAMENTO%20)

- 1 20DE%20SEMENTES%20NA%20CULTURA%20DO%20MILHO.pdf>. Accessed: Dec. 15,
2 2021.
- 3 CICILIATO, A.L.; CASIMIRO, E.L.N. Inoculante *Azospirillum brasilense* via foliar associado
4 a diferentes fertilizantes foliares na cultura do milho. **Cultivando o Saber**, v.14 n.25, p.1-10,
5 2017. Available from:
6 <<https://cultivandosaber.fag.edu.br/index.php/cultivando/article/view/672/590>>. Accessed:
7 Dec. 15, 2021.
- 8 COSTA, R.R.G.F. et al. Efficiency of inoculant with *Azospirillum brasilense* on the growth and
9 yield of second-harvest maize. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.45, n.3, p.304-311, 2015.
10 Available from: <<https://www.scielo.br/j/pat/a/hkpK8CmsjgdsRqX3bvndK6d/?lang=en>>.
11 Accessed: Dec. 15, 2021. doi: 10.1590/1983-40632015v4534593.
- 12 CORNEJO, J.; HERMOSÍN, M.C. Interaction of Humic Substances and Soil Clays. In:
13 PICCOLO, A. Humic substances in terrestrial ecosystems. Amsterdam : Elsevier Science B.V.,
14 1996. Cap. 15, p.595-624.
- 15 CUNHA, F.N. et al. Efeito da *Azospirillum brasilense* na produtividade de milho no sudoeste
16 goiano. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.13, n.3, p.261-272, 2014. Available from:
17 <[https://www.researchgate.net/publication/283402519_Efeito_da_Azospirillum_brasilense_n](https://www.researchgate.net/publication/283402519_Efeito_da_Azospirillum_brasilense_n_a_Produtividade_de_Milho_no_Sudoeste_Goiano)
18 [a_Produtividade_de_Milho_no_Sudoeste_Goiano](https://www.researchgate.net/publication/283402519_Efeito_da_Azospirillum_brasilense_n_a_Produtividade_de_Milho_no_Sudoeste_Goiano)>. Accessed: Dec. 15, 2021. doi:
19 10.18512/1980-6477/rbms.v13n3p261-272.
- 20 DOBBELAERE, S. et al. Effect of inoculation with wild type *Azospirillum brasilense* and *A.*
21 *irakense* strains on development and nitrogen uptake of spring wheat and grain maize. **Biology**
22 **and Fertility of Soils**, v.36, n.4, p.284-297, 2002. Available from:
23 <<https://link.springer.com/article/10.1007/s00374-002-0534-9#citeas>>. Accessed: May 22,
24 2021. doi:10.1007/s00374-002-0534-9.

- 1 DRUZHININA, I.S., Seidl-Seiboth, V., Herrera-Estrella, A., Horwitz, B. a, Kenerley, C.M.,
2 Monte, E., Mukherjee, P.K., Zeilinger, S., Grigoriev, I. V, Kubicek, C.P., 2011. *Trichoderma*:
3 the genomics of opportunistic success. *Nat. Rev. Microbiol.* 9, 749– 59.
4 <https://doi.org/10.1038/nrmicro2637>.
- 5 DURIGON, M. R. Fatores da produção de milho em função da adubação orgânica e de
6 *Trichoderma* spp. 2012. 84p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Curso de Pós-Graduação
7 em Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria.
- 8 FARIAS, C.P. et al. Consortium of five fungal isolates conditioning root growth and arbuscular
9 mycorrhiza in soybean, corn, and sugarcane. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v.90,
10 n.4, p.3649-3660, 2018. Available from:
11 <<https://www.scielo.br/j/aabc/a/VJWSMZdjGGyPFWjnKCndvss/?lang=en>>. Accessed: Dec.
12 15, 2021. doi: 10.1590/0001-3765201820180161.
- 13 FIGUEREDO JÚNIOR, L.G.M. et al. Modelo para estimativa do índice de área foliar da cultura
14 do milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.4, n.1, p.8-13, 2005. Available from:
15 <<http://rbms.cnpms.embrapa.br/index.php/ojs/article/view/123>>. Accessed: Dec. 15, 2021. doi:
16 10.18512/1980-6477/rbms.v4n01p%25p.
- 17 GRESSANA, C.L. **Efeitos de doses crescentes de níquel (Ni²⁺) sobre a inoculação de**
18 ***Azospirillum brasilense* na cultura do milho (*Zea mays* L.)**. 2018. 26p. Trabalho de
19 Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Curso de Graduação em Agronomia,
20 Universidade Federal da Fronteira Sul.
- 21 HARMAN, G.E. et al. Combining effective strains of *Trichoderma harzianum* and soil matrix
22 priming to improve biological seed treatment. **Plant Disease**, v.73, n.8, p.631-637, 1989.
23 Available from: <<https://pubag.nal.usda.gov/catalog/1954395>>. Accessed: Dec. 15, 2021. doi:
24 10.1094/PD-73-0631.

- 1 HARMAN, G.E. Myth and dogmas of biocontrol changes in perceptions derived from research
2 on *Trichoderma harzianum* T-22. **Plant Disease**, v.84, n.4, p.377-393, 2000. Available from:
3 <<https://apsjournals.apsnet.org/doi/abs/10.1094/PDIS.2000.84.4.377>>. Accessed: Dec. 15,
4 2021. doi: 10.1094/PDIS.2000.84.4.377.
- 5 HARMAN, G. E. *Trichoderma*—not just for biocontrol anymore. **Phytoparasitica**, v.39, p.103-
6 108, 2011. Available from: <<https://core.ac.uk/download/pdf/159155221.pdf>>. Accessed: Dec.
7 15, 2021. doi: 10.1007/s12600-011-0151-y.
- 8 HASANAH, Y. et al. Growth Analysis of Soybean Varieties at Dry Land With Application of
9 Nitrogen Sources. **International Journal of Scientific & Technology Research**, v.3, n.6,
10 p.123-126, 2014. Available from: <[https://issuu.com/ijstr.org/docs/growth-analysis-of-](https://issuu.com/ijstr.org/docs/growth-analysis-of-soybean-varietie)
11 [soybean-varietie](https://issuu.com/ijstr.org/docs/growth-analysis-of-soybean-varietie)>. Accessed: Dec. 15, 2021.
- 12 HUNGRIA, M. et al. Inoculation with selected strains of *Azospirillum brasilense* and *A.*
13 *lipoferum* improves yields of maize and wheat in Brazil. **Plant and Soil**, v.331, n.1-2, p.413-
14 425, 2010. Available from: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s11104-009-0262-0>>.
15 Accessed: Dec. 15, 2021. doi: 10.1007/s11104-009-0262-0.
- 16 KHAN, A.L. et al. Endophytic fungal association via gibberellins and indole acetic acid can
17 improve plant growth under abiotic stress: An example of *Paecilomyces formosus* LHL10.
18 **BMC Microbiology**, v.12, n.3, p.1-14, 2012. Available from:
19 <<https://bmcmicrobiol.biomedcentral.com/articles/10.1186/1471-2180-12-3>>. Accessed: Dec.
20 15, 2021. doi: 10.1186/1471-2180-12-3.
- 21 KUNZ, J.H et al. Uso da radiação solar pelo milho sob diferentes preparos do solo, espaçamento
22 e disponibilidade hídrica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, n.11, p.1511-1520, 2007.
23 Available from: <[https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/823088/uso-da-](https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/823088/uso-da-radiacao-solar-pelo-milho-sob-diferentes-preparos-do-solo-espacamento-e-disponibilidade-hidrica)
24 [radiacao-solar-pelo-milho-sob-diferentes-preparos-do-solo-espacamento-e-disponibilidade-](https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/823088/uso-da-radiacao-solar-pelo-milho-sob-diferentes-preparos-do-solo-espacamento-e-disponibilidade-hidrica)
25 [hidrica](https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/823088/uso-da-radiacao-solar-pelo-milho-sob-diferentes-preparos-do-solo-espacamento-e-disponibilidade-hidrica)>. Accessed: Dec. 15, 2021. doi: 10183/107294.

- 1 LANA, M.C. et al. Inoculation with *Azospirillum*, associated with nitrogen fertilization in
2 maize. **Revista Ceres**, v.59, n.3, p.399-405, 2012. Available from:
3 <<https://www.scielo.br/j/rceres/a/hmG9QWByL55RLqCvsj6vmrp/?lang=en>>. Accessed: Dec.
4 15, 2021. doi: 10.1590/S0034-737X2012000300016.
- 5 LEITE, E.A. **Efeito de ácidos húmicos/fúlvicos associados com nitrogênio no rendimento**
6 **do milho**. 2018. 31p. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Manejo de Culturas
7 Anuais) – Programa de Especialização de Manejo de Culturas Anuais, Universidade
8 Tecnológica Federal do Paraná.
- 9 MARIN, F.R. et al. Intensificação sustentável da agricultura brasileira: cenários para 2050.
10 **Revista de Política Agrícola**, v.25, n.3, p.108-124, 2016. Available from:
11 <<https://seer.sede.embrapa.br/index.php/RPA/article/view/1160>>. Accessed: Apr. 21, 2022.
- 12 MARINI, D. et al. Growth and yield of corn hybrids in response to association with
13 *Azospirillum brasilense* and nitrogen fertilization. **Revista Ceres**, v.62, n.1, p.117-123, 2015.
14 Available from:
15 <<https://www.scielo.br/j/rceres/a/9JJW4N8LLn8B3P57sVCHsVj/?lang=en&format=pdf>>.
16 Accessed: Dec. 15, 2021. doi: 10.1590/0034-737X201562010015.
- 17 MARTÍNEZ-MEDINA, A. et al. Phytohormone Profiles Induced by Trichoderma Isolates
18 Correspond with Their Biocontrol and Plant Growth-Promoting Activity on Melon Plants.
19 **Journal of Chemical Ecology**, v.40, n.7, p.804-815, 2014. Available from:
20 <<https://link.springer.com/article/10.1007/s10886-014-0478-1>>. Accessed: Dec. 15, 2021. doi:
21 10.1007/s10886-014-0478-1.
- 22 MELLO, N. **Inoculação de *Azospirillum brasilense* nas culturas de milho e trigo**. 2021. 98p.
23 Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Faculdade
24 de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Passo Fundo.

- 1 MELO, R.O. et al. Initial performance of maize in response to humic acids and plant growth-
2 promoting bacterial. **Revista Ceres**, v.65, n.3, p.271-277, 2018. Available from:
3 <<https://www.scielo.br/j/rceres/a/JcW9xfxMhSxZq88pbRshSMF/?lang=en>>. Accessed: Dec.
4 15, 2021. doi: 10.1590/0034-737X201865030007.
- 5 MORAIS, T.P. et al. Aspectos morfofisiológicos de plantas de milho e bioquímica do solo em
6 resposta à adubação nitrogenada e à inoculação com *Azospirillum brasilense*. **Revista Ceres**,
7 v.62, n.6, p.589–596, 2015. Available from:
8 <<https://www.scielo.br/j/rceres/a/jLf8tx7WzkKWSHrg9p6CvZF/abstract/?lang=pt>>.
9 Accessed: Dec. 15, 2021. doi: 10.1590/0034-737X201562060012.
- 10 MÜLLER, A.G.; BERGAMASCHI, H. Eficiências de interceptação, absorção e de uso da
11 radiação fotossinteticamente ativa pelo milho (*Zea mays* L.), em diferentes disponibilidades
12 hídricas e verificação do modelo energético de estimativa da massa seca acumulada. **Revista**
13 **Brasileira de Agrometeorologia**, v.13, n.1, p.27-33, 2005. Available from:
14 <https://www.researchgate.net/publication/269036905_Eficiencias_de_interceptacao_absorcao_o_e_uso_da_radiacao_fotossinteticamente_ativa_pelo_milho_Zea_mays_L_em_diferentes_disponibilidades_hidricas_e_verificacao_do_modelo_energetico_de_estimativa_da_massa>.
15
16
17 Accessed: Dec. 15, 2021.
- 18 MÜLLER, T.M. et al. Combination of inoculation methods of *Azospirillum brasilense* with
19 broadcasting of nitrogen fertilizer increases corn yield. **Ciência Rural**, v.46, n.2, 2016.
20 Available from: <[https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-](https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-84782015005031283&script=sci_abstract&tlng=en)
21 [84782015005031283&script=sci_abstract&tlng=en](https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-84782015005031283&script=sci_abstract&tlng=en)>. Accessed: Dec. 15, 2021. doi:
22 10.1590/0103-8478cr20131283.
- 23 MÜLLER, T.M. et al. Genetic bases of corn inoculated with *Azospirillum brasilense* via seed
24 and foliar application. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.43, p.1-10, 2021. Available from:

- 1 <<https://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciAgron/article/view/48130/751375151069>>.
- 2 Accessed: Dec. 15, 2021. doi: 10.4025/actasciagron.v43i1.48130.
- 3 NOVAKOWISKI, J.H. et al. Efeito residual da adubação nitrogenada e inoculação de
- 4 *Azospirillum brasilense* na cultura do milho. **Semina: Ciências Agrárias**, v.32, n.4, p.1687-
- 5 1698, 2011. Available from:
- 6 <<https://www.uel.br/revistas/uel/index.php/semagrarias/article/download/4400/9128>>.
- 7 Accessed: Dec. 15, 2021. doi: 10.5433/1679-0359.2011v32Suplp1687.
- 8 ONU. **World Population Prospects 2019**. EUA: Population Division of the Department of
- 9 Economic and Social Affairs, 2019.
- 10 PANDOLFO, C.A. et al. Desempenho de milho inoculado com *Azospirillum brasilense*
- 11 associado a doses de nitrogênio em cobertura. **Agropecuária Catarinense**, v.27, n.3, p.94-99,
- 12 2014. Available from: <<https://publicacoes.epagri.sc.gov.br/RAC/article/view/567/471>>.
- 13 Accessed: Nov. 20, 2021.
- 14 PEREIRA, G.V.N. **Promoção do crescimento de mudas de maracujazeiro inoculadas com**
- 15 ***Trichoderma* spp.** 2012. 68f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Curso de Pós-
- 16 Graduação em Agronomia, Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia.
- 17 PÉREZ-VELASCO, E.A. et al. Evaluación del uso de endomicorrizas y *Azospirillum* sp. en la
- 18 productividad y calidad nutracéutica de chile morrón (*Capsicum annuum*) en invernadero.
- 19 **Información Técnica Económica Agraria**, v.115, n.1, p.18–30, 2019. Available from:
- 20 <<https://www.aida-itea.org/index.php/revista/contenidos?idArt=619&lang=esp>>. Accessed:
- 21 Dec. 15, 2021. doi: 10.12706/itea.2018.029.
- 22 PICAZEVICZ, A.A.C. et al. Maize growth in response to *Azospirillum brasilense*, *Rhizobium*
- 23 *tropici*, molybdenum and nitrogen. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**,
- 24 v.21, n.9, p.623–627, 2017. Available from:

- 1 <<https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/XnbvkSQvFf8Dc5Rx4wj3q5x/abstract/?lang=en>>. Accessed:
2 Dec. 15, 2021. doi: 10.1590/1807-1929/agriambi.v21n9p623-627.
- 3 QUADROS, P.D. et al. Desempenho agrônômico em campo de híbridos de milho inoculados
4 com *Azospirillum*. **Revista Ceres**, v.61, n.2, p.209-218, 2014. Available from:
5 <<http://www.ceres.ufv.br/ojs/index.php/ceres/article/view/4097>>. Accessed: Dec. 15, 2021.
- 6 REES, H.V. et al. Farmers in South East Australia have closed the exploitable wheat yield gap:
7 Prospects for further improvement. **Field Crops Research Leading**, v.164, p.1-11, 2014.
8 Available from:
9 <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378429014001191>>. Accessed: Jun.
10 24, 2020. doi: 10.1016/j.fcr.2014.04.018.
- 11 RESENDE, M.L. et al. Inoculação de sementes de milho utilizando o *Trichoderma harzianum*
12 como promotor de crescimento. **Ciência e Agrotecnologia**, v.28, n.4, p.793–798, 2004.
13 Available from:
14 <<https://www.scielo.br/j/cagro/a/dKtddPMhX6BMxc6VLDJLXgP/abstract/?lang=pt>>.
15 Accessed: Dec. 15, 2021. doi: 10.1590/S1413-70542004000400010.
- 16 RODRIGUES, L.A. et al. Humic acid on germination and vigor of corn SEEDS1. **Revista**
17 **Caatinga**, v.30, n.1, p.149–154, 2017. Available from:
18 <<https://www.scielo.br/j/rcaat/a/VX5nJWNtzRx5FyF5NVDgDNm/?lang=en>>. Accessed:
19 Dec. 15, 2021. doi: 10.1590/1983-21252017v30n116rc.
- 20 SILVA, J.C. et al. Rice sheath blight biocontrol and growth promotion by *Trichoderma* isolates
21 from the Amazon. **Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v.55,
22 n.4, p.243-250, 2012. Available from: <<http://doi.editoracubo.com.br/10.4322/rca.2012.078>>.
23 Accessed: Dec. 15, 2021.
- 24 STEFFEN, G.P.K. et al. Incremento da produtividade de milho pela inoculação de *Trichoderma*
25 *Harzianum*. **Brazilian Journal of Development**, v.7, n.1, p.4455-4468, 2021. Available from:

- 1 <<https://www.brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/23029>>. Accessed: Dec. 15,
2 2021. doi: 10.34117/bjdv7n1-301.
- 3 TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. Porto Alegre : ArtMed, 2017. 6v.
- 4 TEWARI, S. et al. Plant Physiology and Biochemistry. Uttarakhand: Department of Botany
5 School of Sciences Uttarakhand Open University, 2015. Available from:
6 <<https://www.uou.ac.in/sites/default/files/slm/BSCBO-303.pdf>>. Accessed: Oct. 20, 2021.
- 7 TOLLENAAR, M. Is low density a stress in maize? **Maydica**, v.37, n.2, p.305-311, 1992.
- 8 USDA. **PSD online**, 2020. Available from: <<http://www.fas.usda.gov/psdonline/>>. Accessed:
9 May 22, 2020.
- 10 VEGA, C.R.C. et al. Reproductive Allometry in Soybean, Maize and Sunflower. **Annals of**
11 **Botany**, v.85, n.4, p.461-468, Apr. 2000. Available from:
12 <<http://www.fas.usda.gov/psdonline/>>. Accessed: May 22, 2020.
- 13 VIAN, A.L. et al. Variabilidade espacial da produtividade de milho irrigado e sua correlação
14 com variáveis explicativas de planta. **Ciência Rural**, v.46, n.3, p.464–471, 2015. Available
15 from: <<https://www.scielo.br/j/cr/a/RXv36T9zXWjrx78jtHY4B4v/?lang=pt&format=pdf>>.
16 Accessed: Dec. 15, 2021. doi: 10.1590/0103-8478cr20150539.
- 17 WATSON, D.J.; WATSON, M.A. Comparative physiological studies on growth of field crops:
18 I. Variation in net assimilation rate and leaf area between species and varieties, and within and
19 between years. **Annals of Botany**, v.11, p.41-76, 1947. Available from:
20 <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1744-7348.1953.tb02364.x>>. Accessed:
21 Dec. 15, 2021. doi: 10.1111/j.1744-7348.1953.tb02364.x.
- 22 ZEMRANY, H. et al. Field survival of the phytostimulator *Azospirillum lipoferum* CRT1 and
23 functional impact on maize crop, biodegradation of crop residues, and soil faunal indicators in
24 a context of decreasing nitrogen fertilization. **Soil Biology and Biochemistry**, v.38, n.7,
25 p.1712–1726, 2006. Available from:

- 1 <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S003807170600037X>>. Accessed:
- 2 Dec. 15, 2021. doi: 10.1016/j.soilbio.2005.11.025.

**CAPÍTULO 2 – COMPONENTES AGRONÔMICOS ÓTIMOS DE MILHO VISANDO
POTENCIAL DE PRODUTIVIDADE EM MILHO²**

² O artigo será submetido à Revista Ciência Rural

Componentes agronômicos ótimos visando o potencial de produtividade em milho

Taís Slim⁽¹⁾, Alvaro Carnellosso⁽¹⁾, Victória Brites⁽¹⁾, Isabela Bulegon Pillecco⁽¹⁾, Bruna San Martin Rolim Ribeiro⁽¹⁾, Eduardo Lago Tagliapietra⁽¹⁾, Nereu Augusto Streck⁽¹⁾ e Alencar Junior Zanon⁽¹⁾

⁽¹⁾ Universidade Federal de Santa Maria, Departamento de Fitotecnia, Prédio 77, Avenida Roraima, n° 1000, CEP 97105-900, Santa Maria, RS, Brasil.

Endereço eletrônico: tais.slim@hotmail.com, alvarocarnellosso@gmail.com, victoriabrites2@gmail.com, isabelabpilecco@gmail.com, brunasanmartinrolim@gmail.com, eduardotagliapietra@hotmail.com, nstreck2@yahoo.com.br, alencarzanon@hotmail.com.

Resumo - Para atingir elevadas produtividades de grãos, é necessário compreender os estádios fenológicos da cultura, o momento em que os componentes de rendimento são definidos e a interação genótipo X ambiente. O objetivo do trabalho foi identificar os valores de componentes agronômicos ótimos de milho visando o potencial de produtividade do milho. A área de estudo correspondeu a 11 municípios (Santa Maria, Tupanciretã, Júlio de Castilhos, Cruz Alta, Jóia, Cachoeira do Sul, Palmeira das Missões, São Nicolau, Quatro Irmãos, São Luiz Gonzaga e Silveira Martins), do estado do Rio Grande do Sul (RS) e um município (Chapecó) do estado de Santa Catarina (SC). O clima é classificado como subtropical úmido com verão quente (Cfa) com base no regime climático de Köppen. Os componentes de rendimento foram obtidos através de dados de coletas de lavouras comerciais e experimentos na condição de irrigados e sequeiro, que exploram uma ampla gama de datas de semeadura (de agosto a março), de 10 anos agrícolas (2005–2019). A produtividade foi estimada pela colheita da área útil de cada

1 parcela. Posteriormente, determinaram-se os componentes da produtividade de sementes:
2 Número de plantas/m²; número de fileira por espiga; número de grãos por espiga, massa de
3 1000 grãos e o índice de área foliar (IAF). A produtividade de sementes estimada foi convertida
4 para a unidade de Mg/hectare. Para a construção da Função Limite, elaborou-se figuras
5 relacionando a produtividade com os componentes primários da cultura do milho e o IAF, após
6 realizou-se a normalização dos dados e a construção da Árvore de Regressão para determinar
7 quais os fatores influenciaram na produtividade do milho posteriormente o Diagrama de Venn
8 que possibilita a visualização de propriedades e de relações entre um número finito de
9 conjuntos. A partir desses estudos conclui-se que partir dos valores médios das “faixas ótimas”
10 para os componentes primários de milho que visam a maximização da produtividade, uma
11 lavoura com 9,3 plantas por m², 605 grãos por espiga e massa de mil grãos de 369 gramas, tem
12 potencial para produzir 20,7 toneladas pro hectare, o que corresponde a 436 sacas por hectare.

13

14 **Termos para indexação:** Componentes de rendimento, Faixas ótimas, Milho.

15

16 **Abstract** – To achieve high grain yields, it is necessary to understand the phenological stages
17 of the crop, the moment when the yield components are defined and the genotype X
18 environment interaction. The objective of this work was to identify the values of optimal
19 agronomic components of corn aiming at the potential of corn productivity. The study area
20 corresponded to 11 municipalities (Santa Maria, Tupanciretã, Júlio de Castilhos, Cruz Alta,
21 Jóia, Cachoeira do Sul, Palmeira das Missões, São Nicolau, Quatro Irmãos, São Luiz Gonzaga
22 and Silveira Martins), in the state of Rio Grande do Sul (RS) and a municipality (Chapecó) in
23 the state of Santa Catarina (SC). The climate is classified as humid subtropical with hot summer
24 (Cfa) based on the Köppen climate regime. Yield components were obtained from data from
25 commercial crop collections and experiments under irrigated and rainfed conditions, which

1 explore a wide range of sowing dates (August to March), over 10 agricultural years (2005-
2 2019). Productivity was estimated by harvesting the useful area of each plot. Subsequently, the
3 components of seed productivity were determined: Number of plants/m²; number of rows per
4 spike; number of grains per ear, mass of 1000 grains and leaf area index (LAI). The estimated
5 seed yield was converted to the unit of Mg/hectare. For the construction of the Limit Function,
6 figures were drawn up relating productivity with the primary components of the maize crop and
7 the LAI, after data normalization and the construction of the Regression Tree were carried out
8 to determine which factors influenced the productivity of the corn later the Venn Diagram that
9 allows the visualization of properties and relationships between a finite number of sets. Based
10 on these studies, it is concluded that from the average values of the "optimal ranges" for the
11 primary components of corn that aim to maximize productivity, a crop with 9.3 plants per m²,
12 605 grains per ear and a thousand grain mass of 369 grams, has the potential to produce 20.7
13 tons per hectare, which corresponds to 436 bags per hectare.

14

15 **Index terms:** Yield components, Greats tracks, Corn.

16

17

Introdução

18

19

20

21

22

23

24

25

A cultura do milho possui extrema importância econômica no cenário mundial e várias formas de utilização, desde a alimentação animal (maior parte do consumo), alimentação humana e produção de biocombustíveis (Alves et al., 2015). O milho é o cereal mais produzido no mundo e cultivado em praticamente todas as regiões agrícolas, no Brasil é o segundo grão mais produzido com uma média de 96.555, 63 mil Mg.ha⁻¹ (CONAB, 2021). O país é o terceiro maior produtor mundial de milho, sendo superado pelo Estados Unidos da América (358.099,20) e China (251.345,00), que são os maiores produtores a nível mundial (USDA, 2020).

1 No cenário atual, onde a população mundial deve chegar a 2 bilhões nos próximos 30
2 anos, atingindo 9,7 bilhões de pessoas até o ano de 2050, crescem também os desafios
3 socioeconômicos de garantir a segurança alimentar mundial (ONU, 2019), estando presente
4 desde o agronegócio até a agricultura familiar e de subsistência (FAO, 2020).

5 A produção de milho deve aumentar substancialmente para atender a demanda em
6 escala global (Cassman et al., 2003; Cassman & Liska, 2007). Pouco aumento no potencial
7 produtivo (YP) de milho foi observado durante os últimos 30 anos (Duvick & Cassman, 1999;
8 Tollenaar & Lee, 2002). A produção de milho pode ser aumentada por meio de mudanças no
9 manejo da cultura, existem outras opções, mas estas são operacionalmente difíceis ou
10 economicamente arriscadas de adotar com a atual taxa de preço de grãos para insumos (Grassini
11 et al., 2011).

12 O potencial produtivo é o máximo de rendimento que a planta consegue obter quando
13 não há nenhuma limitação por nutrientes, estresse e pragas, doenças e plantas daninhas (Lobbel
14 et al., 2009). O potencial de produtividade é definido pela radiação solar, temperatura, CO₂ e
15 cultivar, e são limitadas pela água e nutrientes, reduzidas por plantas daninhas, doenças e pragas
16 (Grassini et al., 2014). Dentre os fatores que definem potencial, a radiação solar e a genética
17 são os fatores que o produtor tem controle, com isso é necessário entender a interação para ser
18 mais eficiente no uso de recursos, suprindo a demanda de alimentação e sustentabilidade com
19 investimentos em tecnologias (Van Ittersum et al., 2013).

20 Para a compreensão dos processos que constroem o potencial de rendimento, é
21 necessário compreender que o índice de área foliar é a relação entre a área das folhas e a
22 superfície do solo por ela ocupada (m².m⁻²) para o seu desenvolvimento (Watson & Watson,
23 1947) e também possui relação com a produtividade e o potencial fotossintético das culturas,
24 que depende da eficiência de interceptação, absorção de radiação solar incidente (Müller &

1 Bergamaschi, 2005) e afeta o rendimento da cultura em virtude dos fatores que influenciam a
2 fase de desenvolvimento vegetativo e o ambiente que a planta se desenvolve (Ying et al., 2006).

3 Os componentes de rendimento também influenciam diretamente a produtividade da
4 cultura do milho sendo eles: densidade de plantas, número de fileiras por espiga, número de
5 grãos por espiga e massa de grãos. Assim, para atingir elevadas produtividades de grãos, é
6 necessário compreender o momento da definição do Índice de Área Foliar (ótimo) e os valores
7 ótimos dos componentes de rendimento a partir da interação genótipo X ambiente (Cantarelli
8 et al., 2015), pois as diferenças ambientais influenciam essa o rendimento da cultura do milho:

9 O objetivo é identificar os valores ótimos do IAF e dos componentes agronômicos
10 visando o potencial de produtividade em milho.

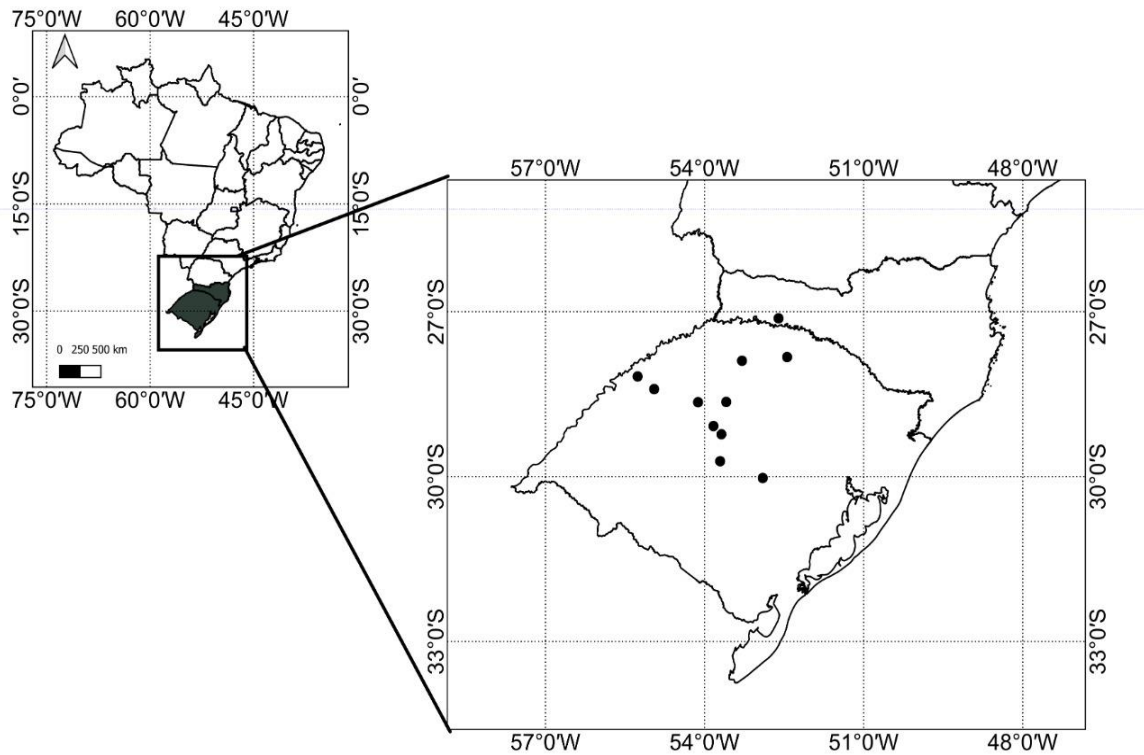
11

12

Material e Métodos

13 A área de estudo corresponde ao estado do Rio Grande do Sul (RS) e Santa Catarina
14 (SC), conforme a Figura 1 e Tabela 1. O clima é classificado como subtropical úmido com
15 verões quentes (Cfa), com base no regime climático de Köppen. Os componentes de rendimento
16 foram obtidos através da coleta de dados de lavouras comerciais e de experimentos, ambos na
17 condição de irrigados e sequeiro, campos bem manejados que exploraram uma ampla gama de
18 datas de semeadura (de agosto a março), de sete safras agrícolas (2005–2019).

19



1

2 Figura 1. Localização geográfica dos experimentos com milho no Brasil em dois estados (Rio
3 Grande do Sul e Santa Catarina).

4

5 Tabela 1. Caracterização dos experimentos com milho conduzidos em 7 safras no estado do Rio
6 Grande do Sul e 1 safra no estado de Santa Catarina – Brasil.

Estado	Localização (Lat.;Long.;Alt.)	Safra Agrícola	Densida de de Plantas (1000 plha ⁻¹)	Número de Cultivar es	Regim e Hídric o	Tipo de Solo
Rio Grande do Sul	Cachoeira do Sul (30°14` 09";52°18`07";68m)	(2020 – 21)	-	17	Sequeir o	Planosso lo
	Cruz Alta (28°39` 20";53°36`33"452m)	(2017 – 18)	60 – 70	5	Irrigad o	Latossol o
	Jóia (28°44` 28";54°09`20"345m)	(2019 – 20)	60 – 70 – 80 – 90	25	Irrigad o	Latossol o

	Júlio de Castilhos (29°12'35";53°39'47"513 m)	(2017 – 18; 2018 – 19)	60 – 80 – 100 – 116 – 120	2	Irrigad o e Sequeir o	Latossol o
	Pinhal Grande (29°18'11";53°20'18"394 m)	(2019 – 20)	60	10	Sequeir o	-
	Palmeira das Missões (27°54'46";53°17'34"639 m)	(2020 – 21)	80 – 90	21	Irrigad o	Latossol o
	Quatro Irmãos (27°46' 12";52°49'28"699m)	(2019 – 20)	60 – 70 – 80 – 100	18	Sequeir o	Latossol o
	Santa Maria (29°46'39";53°49'28"113 m)	(2005 – 06; 2007 – 08; 2013 – 14 à 2020 – 21)	60 – 56 – 110 – 110	8	Irrigad o e Sequeir o	Argissol o
	São Luiz Gonzaga (28°24'07";54°57'10"231 m)	(2019 – 20)	50 – 60 – 70 – 80	19	Irrigad o	Argissol o
	São Nicolau (28°04'18";55°34'35"130 4m)	(2020 – 21)	60 – 70 – 80	20	Sequeir o	-
	Silveira Martins (29°38'13";53°34'35"431 m)	(2020 – 21)	-	3	Sequeir o	Neossolo
	Tupanciretã (29°04'50";53°49'03"465 m)	(2019 – 20)	-	1	Sequeir o	Latossol o
	Santa Chapecó Catari (27°04'32";52°32'44"674 na m)	(2020 – 21)	-	6	Irrigad o	Latosolo

1 *Linhas identificadas com hífen representam dados não obtidos.

2

3 A avaliação da produtividade foi realizada pela colheita da área útil de cada parcela,
4 quando todos os grãos atingiram o máximo acúmulo de matéria seca e formação de uma camada
5 de abscisão preta sobre os grãos da ponta da espiga (Ritchie et al., 1993). Posteriormente,

1 avaliou-se o índice da área foliar, número de plantas/m² (densidade de plantas), número de
2 fileira por espiga, número de grãos por espiga e massa de 1000 grãos. A produtividade de
3 sementes estimada foi convertida para a unidade de Mg/hectare.

4 Para determinar a faixa agrônômica ótima dos componentes de rendimento da cultura
5 do milho, foram elaboradas figuras relacionando a produtividade com o índice de área foliar,
6 densidade (o número de plantas/m²), número de fileira por espiga, número de grãos por espiga
7 e a massa de 1000 grãos. Para determinar a Função Limite ou Bondary Function realizou-se a
8 normalização dos componentes de rendimento para equivaler/validar os dados. A normalização
9 é feita a partir de seleção dos pontos do eixo X (representados pelos componentes) e os pontos
10 do eixo Y (representados pela produtividade), para formar a Função Limite ou Bondary
11 Function, após seleciona-se a maior grandeza do componente de rendimento número de grãos
12 por espiga (637) e divide-se pelo maior valor dos demais componentes (116,66 densidade de
13 plantas, 19 n° de fileiras por espiga e 475,2 massa de grãos) e assim resultará um fator de
14 correção, ou seja, uma constante. Em seguida selecionam-se novamente os valores de X de cada
15 componente e multiplica-se pelo fator de correção obtido para cada componente de rendimento,
16 assim surgem novos valores de X (ajusta-se a linha vermelha tracejada do gráfico que indica o
17 componente que maximiza a produtividade) e um novo gráfico é formado com as grandezas
18 corrigidas na mesma proporção.

19 A construção da Árvore de Regressão determina quais os fatores influenciaram na
20 produtividade do milho utilizando o pacote "circunflexo" em R e posteriormente o Diagrama
21 de Venn, que possibilitou a visualização de propriedades e de relações entre as variáveis.

22

23 **Função Limite ou Bondary Function**

24 A Função Limite ou Bondary Function foi o modelo estabelecido por French & Shultz
25 (1984), que traça linhas de fronteira ao longo do limite superior dos dados, para limitar as

1 respostas em função de fatores biológicos e fisiológicos sobre o rendimento da colheita
2 (Casanova et al., 2002 French & Shultz, 1984), ou seja, quantifica a influência de um fator
3 isolado sobre outro fator, através dos melhores valores (mínimo 10%) de cada variável. O valor
4 ótimo para cada variável avaliada é definido quando a função limite mostra um incremento de
5 produtividade não significativo (French & Shultz, 1984; Hochman et al., 2009).

6 A equação assume uma forma geral:

7

8 $YIELD = A + B \cdot X$;

9 A: onde intercepta X;

10 B: inclinação.

11

12 Para derivar o limite máximo para o rendimento da função limite no percentil 99,90
13 será aplicado a metodologia objetiva com finalidade de identificar os valores de rendimento
14 máximo atingível (Grassini et al., 2009; Mueller et al., 2014; Long et al., 2017).

15

16 **Árvore de Regressão**

17 A análise da árvore de regressão é um método não paramétrico, similar a uma árvore
18 de decisão, que foi realizada para determinar quais os fatores influenciam na produtividade
19 usando o pacote "circunflexo" em R, que particiona um conjunto de dados em grupo menores,
20 com divisões binárias sucessivas (Breiman et al., 1984), baseada em prever se os valores médios
21 das variáveis observadas que se enquadram nesse grupo. Além disso, classifica os dados em
22 subgrupos sucessivamente menores, em que cada ramificação contém um fator que influencia
23 para a maior ou para a menor produtividade .

24

25 **Diagrama de Venn**

1 De acordo com Shin (1994), Diagrama de Venn é uma ferramenta lógica diagramática
2 robusta, que permite identificar os componentes de rendimento que possuem relação (Álvarez
3 & Lleras, 2015), e representa a variável desejada dentro de uma circunferência, que nos
4 diagramas de Venn é representada por conjuntos e as combinações sobrepostas das
5 circunferências representam as combinações entre conjuntos (Shin, 1994).

6

7

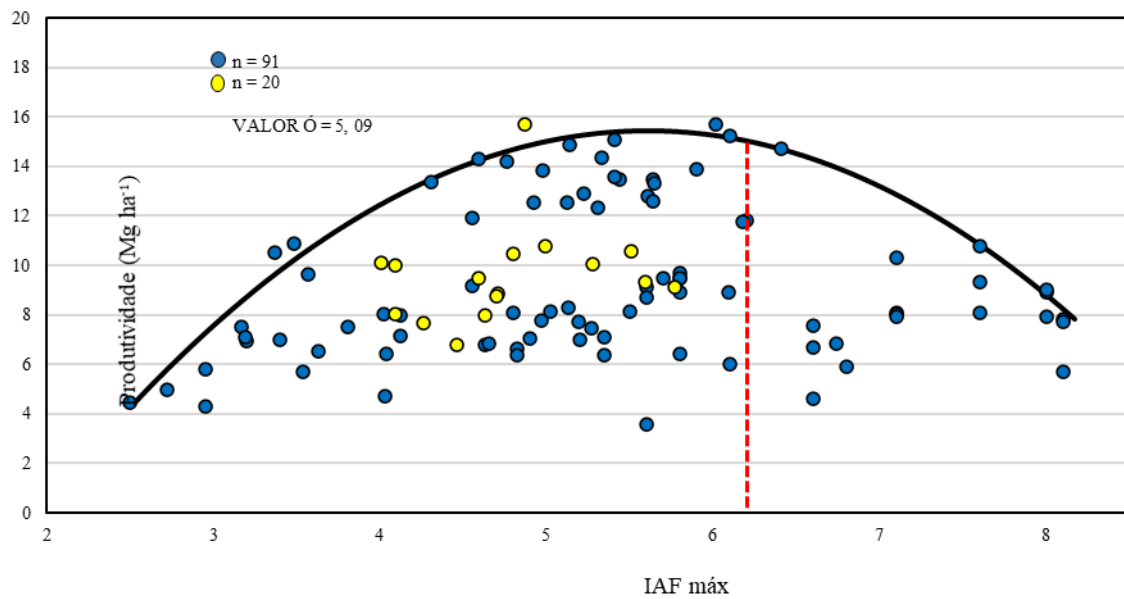
8

Resultados e Discussão

9 As folhas representam o principal órgão responsável pelo processo fotossintético, pois
10 são capazes de converter fotoassimilados em produtividade (Taiz & Zeiger, 2017). O IAF
11 (Índice de Área Foliar) é relação entre a área total de folhas e a área de solo ocupada pela planta,
12 e pode ser compreendido como o primeiro componente de rendimento da cultura do milho. Por
13 ser uma planta C4, possui eficiência em captar CO₂, utilizar a radiação e armazenar nos órgãos
14 de reserva e posteriormente translocar para os demais órgãos de reserva (Figueredo Júnior et
15 al., 2005), porém apresenta baixa plasticidade para compensar perdas no IAF, a redução da
16 produtividade de grãos pode ocorrer pela redução do índice de área foliar e da eficiência com
17 que a RFA interceptada é utilizada pela cultura (Kunz et al., 2007; Taiz & Zeiger, 2017).

18 O IAF varia de acordo com o estágio de desenvolvimento (aumenta o aparecimento de
19 folhas e o crescimento foliar e diminui a senescência das folhas) e com as condições ambientais
20 Vega et al. (2000).

21



1

2 Figura 2. Representação da relação entre a produtividade de grãos de milho e o índice de área
 3 foliar de plantas cultivadas em cultivos irrigados (círculos azuis) e de sequeiro (círculos
 4 amarelos). A linha vermelha vertical tracejada e densidade de plantas por hectare que maximiza
 5 a produtividade de grãos e a linha preta sólida representa a função limite.

6

7 No início do desenvolvimento, o IAF evolui linearmente e atinge valor máximo
 8 próximo a fase de pendoamento (estágio VT), quando é considerado ótimo. Nesse momento, as
 9 plantas atingem o número final de folhas (Müller & Bergamaschi, 2005) e o IAF reduz
 10 significativamente em função da senescência das folhas inferiores, causada pelo sombreamento
 11 e translocação dos fotoassimilados para os órgãos reprodutivos (Figueredo Júnior et al., 2005).

12

13 Visualiza-se na Figura 2 a influência do IAF_{máx} sobre a produtividade de grãos, que
 14 proporciona a maior produtividade de grãos é denominada IAF_{ótimo}. Assim, observa-se que
 15 maiores que 6, ocorre redução da produtividade de grãos, pois à medida que IAF aumenta,

1 ocorre sombreamento no interior do dossel e reduz-se a taxa fotossintética (Bergamaschi &
2 Matzenauer, 2014; Müller & Bergamaschi, 2005; Strieder et al., 2008).

3 Os resultados obtidos no presente estudo (IAF entre 5,6 e 6,3), conforme a Figura 2,
4 foram maiores do que o IAF (6,1) relatado anteriormente por Ribeiro et al. (2020) para atingir
5 alta produtividade de grãos. Por outro lado, os IAF máx/ótimo diferem dos relatados por
6 Tagliapietra et al. (2018) para atingir o Potencial de Rendimento (Y_p) na cultura da soja (IAF
7 entre 6 e 7).

8 No caso da soja, a arquitetura do dossel é planófila, que resulta em atingir um IAF
9 mais rápido e maior armazenamento de carboidrato, devido a maior área de exposição folhar
10 para o sol. Já o arroz e o milho possuem arquitetura de folha erectófila, ou seja, apresentam
11 ângulos agudos na inserção das folhas no caule (Aguiar, 2011), onde parte da radiação fica
12 aprisionada no dossel, ocasionando menor quantidade de energia captada (Lemos, 2016) e
13 resultando em menores IAF. Do ponto de vista fisiológico, quanto maior o YP, maior o IAFmáx
14 para sustentar o enchimento do grão.

15 Vega et al. (2000) afirmam que o coeficiente de extinção varia dependendo das
16 propriedades geométricas e ótimas da marquise, entre os quais se destaca o ângulo que as folhas
17 apresentam com respeito à vertical. Este coeficiente pode tomar valores entre 0,3 em marquises
18 erectófilas com folhas quase verticais e 1,5 em marquises planófilas com folhas quase
19 horizontais. Quanto maior o coeficiente de extinção, maior a proporção de luz que intercepta
20 cada unidade de área foliar.

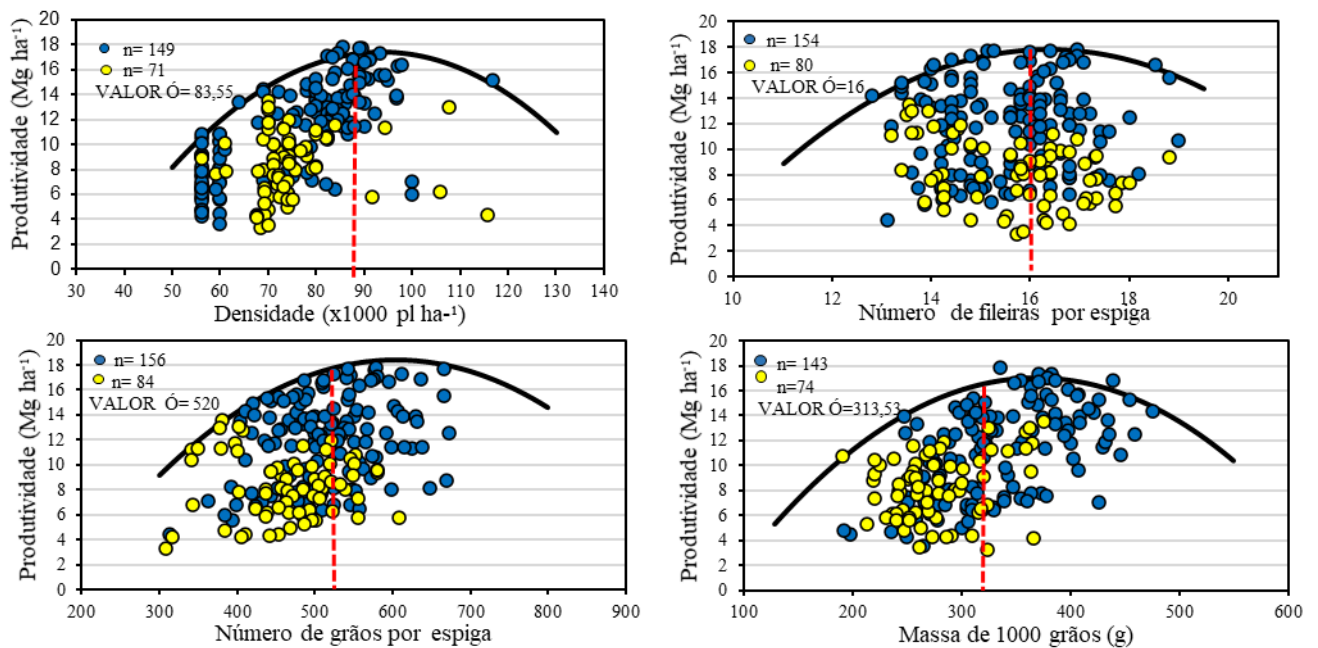
21 A produtividade diminui após atingir o IAF máx/ótimo em função de uma área foliar
22 excessiva, que resulta em maior sombreamento entre as plantas, dificultando a interceptação de
23 radiação na parte inferior do dossel. Assim, as plantas gastam mais fotoassimilados para o
24 crescimento vegetativo, que por ventura favorece a proliferação de doenças e insetos
25 (Salvagiotti et al., 2008; Taiz & Zeiger, 2017). A produtividade das culturas é baseada na

1 eficiência de interceptação, absorção da radiação solar incidente e da transformação da energia
2 em matéria seca acumulada na parte aérea (Müller & Bergamaschi, 2005).

3 O primeiro componente de produtividade primário a ser definido é o número de planta
4 por m² e/ou densidade de plantas (Figura 3A) o qual apresenta melhor correlação e interfere na
5 produtividade de grãos (Sangoi, 2010; Piana et al., 2008; Melo et al., 2011).

6 A densidade de plantas varia de acordo com o ambiente de produção, aquela que não
7 penaliza a produtividade pela competição intraespecífica, ocasionada pelo excesso de plantas e
8 não subtilize a área com baixa densidade de plantas, é o fator elementar para otimizar a
9 exploração do ambiente, pois permite ajustar a cultura à disponibilidade de radiação solar da
10 região, condição hídrica e época de cultivo (Sangoi et al., 2006).

11



12

13 Figura 3. Representação da relação entre a produtividade de grãos de milho (Mg.ha⁻¹) no eixo
14 Y e a densidade (A), número de fileira (B), número de grãos por espiga (C) e massa de 1000
15 grãos de plantas (D) no eixo X, em cultivos irrigados (círculos azuis) e de sequeiro (círculos

1 amarelos). A linha vermelha vertical tracejada e densidade de plantas por hectare que maximiza
2 a produtividade de grãos e a linha preta sólida representa a função limite.

3
4 A faixa ótima da variável densidade de plantas variou entre 83,55 a 102,79 mil
5 plantas/ha, pois a densidade variou entre os locais e genótipos, indicando que houve adequada
6 germinação para todos os genótipos e obtendo uma produtividade de 17 Mg.ha⁻¹. Logo,
7 observa-se que a produtividade aumenta com o incremento da densidade de plantas até atingir
8 um nível ótimo (Figura 3A), que é dependente do genótipo e das condições ambientais:
9 disponibilidade hídrica, fertilidade do solo, ciclo da cultivar, época de semeadura e
10 espaçamento entrelinhas (Farinelli et al., 2012; Mugo et al., 2003; Cruz et al., 2007).

11 A semeadura realizada com baixa densidade de plantas pode ser mais produtiva, ou
12 seja, podem produzir mais de uma espiga, de acordo com o genótipo (Bergamaschi &
13 Matzenauer, 2014). Ambientes que não possuem alta precipitação pluvial ou irrigação com alto
14 nível de manejo, deve-se diminuir a densidade de planta para que o solo seja capaz de suprir as
15 plantas com as suas necessidades hídricas (Sangoi et al., 2006).

16 No entanto, o aumento da densidade de plantas aumenta a ocorrência de esterilidade
17 feminina e reduz o potencial produtivo da cultura (Serpa et al., 2012), pode reduzir a atividade
18 fotossintética da cultura e sua eficiência de conversão dos fotoassimilados, aumentar o intervalo
19 entre os estágios VT (pendoamento) e R1 (espigamento), reduzindo o número de grãos por
20 espiga. Assim, ocorre menor circulação de ar no interior do dossel, prolongando a deposição de
21 orvalho nas folhas e estimulando a ocorrência de doenças foliares (Sangoi et al., 2003).

22 Contudo, os programas de melhoramento genético visam genótipos que se adaptam à
23 altas densidades populacionais para maximizar o uso e a interceptação da radiação solar, tolerar
24 o estresse hídrico e incrementar na produtividade da cultura (Bergamaschi & Matzenauer,
25 2014).

1 O número de fileiras/espiga está relacionado com a genética de cada cultivar
2 (Abendroth et al., 2011), ou seja, é fortemente determinado pelo genótipo e não pelo ambiente
3 (Nielsen, 2019). Para atingir altas produtividades, a faixa ótima é de 15 a 17 fileiras entre as
4 espigas avaliadas, sendo o valor ótimo 16 fileiras/espiga, o que permite obter uma produtividade
5 de 17 Mg.ha⁻¹.

6 O número de grãos por espiga é o segundo componente a ser definido em uma ou duas
7 semanas após a polinização, que depende do agrupamento do número de fileiras por espigas e
8 o número de grãos por fileira (determinado entre os estágios V8 e V10) (Nielsen, 2019). O
9 número de grãos por espiga na Figura 3C é estabelecido e influenciado por fatores da interação
10 manejo X ambiente (Monteiro, 2009), assim possuindo uma grande variação, comparada com
11 os demais componentes. Nessas circunstâncias, a faixa ótima do número total de grãos por
12 espiga é 520 a 600 grãos, que permite garantir produtividade em torno de 19 Mg.ha⁻¹.

13 O último componente a ser definido é a massa/peso de grãos, que é definido ao longo
14 dos estágios de enchimento, no período entre a emissão dos estigmas e a maturação fisiológica
15 (Nielsen, 2007; Emygdio et al., 2013). De acordo com a Figura 3D, a faixa ótima da variável
16 massa de mil grãos é entre 313,5 a 424,36 gramas, que visa explorar uma produtividade de 17
17 ton/ha, das cultivares de milho, sendo o valor ótimo 370 gramas. Os resultados obtidos indicam
18 que durante a fase de enchimento de grãos é indispensável que as plantas não sofram estresse
19 de déficit hídrico e baixa incidência de radiação solar, pois o processo de realocação da matéria
20 seca acumulada durante a fase vegetativa para grãos depende desses fatores (Andrade et al.,
21 1999).

22 De acordo com Shin (1994), Diagrama de Venn é uma ferramenta lógica diagramática
23 robusta que permite identificar os componentes de rendimento que possuem relação (Álvarez
24 & Lleras, 2015) e representa a variável desejada dentro de uma circunferência, que nos
25 diagramas de Venn é representada por conjuntos e as combinações sobrepostas das

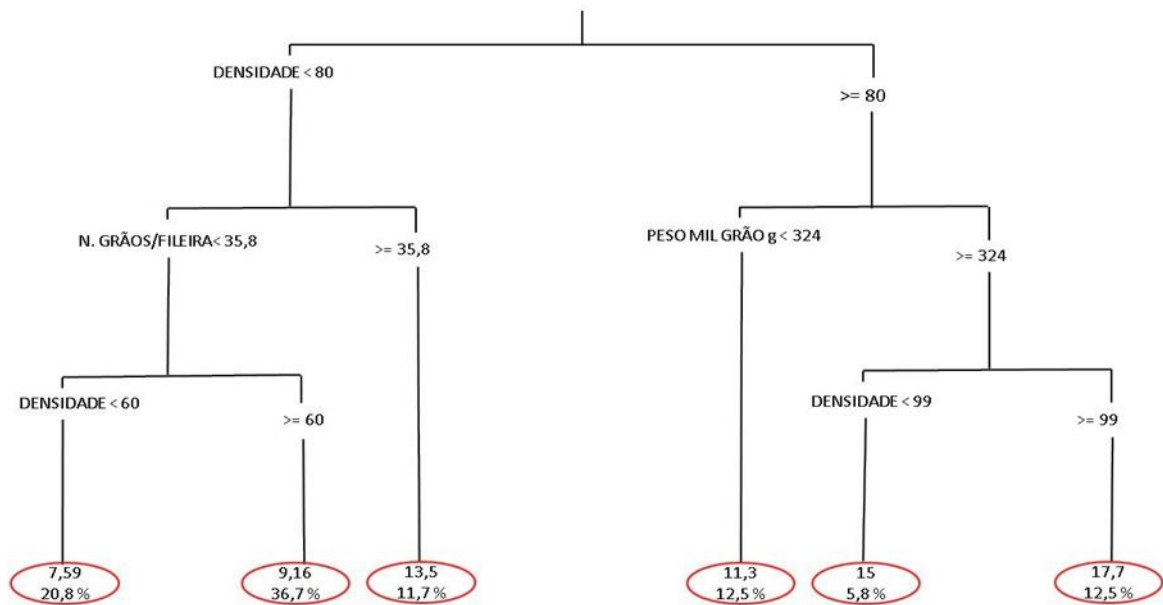
1 circunferências representam as combinações entre conjuntos (Shin, 1994). A ferramenta
2 Diagrama de Venn foi utilizada para a representação gráfica da produtividade e os componentes
3 de rendimento, possibilitando ao agricultor/técnico/leitor a visualização e compreensão
4 dinâmica da produtividade com informações quantitativas e suas relações casuais (Campolin &
5 Feiden, 2011). Os resultados mostram as variações significativas entre as variáveis e a
6 produtividade.

7

8 **Árvore de Regressão**

9 O pacote circunflexo em R foi utilizado para criar a árvore de regressão, que possui
10 ramificações e nos terminais contêm a resposta média determinada pelas regras de divisão e o
11 número de observações dentro de cada nó terminal (Venables & Ripley, 2003).
12 Preliminarmente, tem-se o número de ramificações na árvore, após aplica-se a metodologia de
13 validação cruzada, que tem por objetivo podá-la e deixá-la no tamanho adequado (Therneau &
14 Atkinson, 1997). O pacote circunflexo em R foi utilizado para criar as divisões de equilíbrio do
15 conjunto de dados foram feitas em 80 e 20% para validar e calibrar a análise de árvore de
16 regressão (Figura 4).

17



1

2 Figura 4. Árvore de regressão representando as fontes de variação na produtividade de grãos de
 3 milho devido a fatores de manejo. As caixas são nós de divisão, com as caixas inferiores
 4 representando os nós terminais. Os valores dentro de cada nó terminal indicam a média do
 5 rendimento de grãos (em $kg \cdot ha^{-1}$) com base no teor de umidade de 13% e a porcentagem de
 6 observações em cada nó terminal. (a) alto rendimento (tercil superior) e (b) baixo rendimento
 7 (tercil inferior) são mostrados.

8

9 Cada ramificação dela possui variáveis que influenciam na produtividade. Para altas
 10 produtividades, por exemplo: 17 $Mg \cdot ha^{-1}$ e 15 $Mg \cdot ha^{-1}$, precisa ter uma densidade de plantas
 11 maior ou igual que 99 mil plantas/ha e peso de 1000 grãos maior ou igual que 324 gramas e
 12 para produtividade de 11,3 mil $Mg \cdot ha^{-1}$ é preciso uma densidade maior ou igual a 88 mil
 13 plantas/ha e peso de mil grãos menor que 324 gramas. No entanto, a obtenção de menores
 14 produtividades, entre 7,59 mil e 13,5 mil plantas/há, e densidade de plantas menor que 80 mil
 15 plantas e menor ou igual 35,8 grãos por fileiras, proporciona uma produtividade de 13,5 $Mg \cdot ha^{-1}$

1 ¹. Para produtividades entre 7,59 e 9,16 Mg.ha⁻¹, é necessário uma densidade menor ou igual
2 60 mil plantas/ha e número de grãos/fileira menor que 35,8.

3 A árvore de regressão mostrou que fatores como: densidade final das plantas (número
4 de plantas/m², número de grãos e peso de mil grãos foram limitantes e influenciam na obtenção
5 de maiores ou menores produtividades (Corassa et al., 2018).

6 Cargnelutti Filho et al. (2007) relatam que o potencial produtivo da cultura é função
7 da interação entre genótipo (cultivares para altas produtividades) ambiente (solo, clima) e
8 sistemas de produção, as cultivares representam 40% e o ambiente é responsável por 60% da
9 produção total.

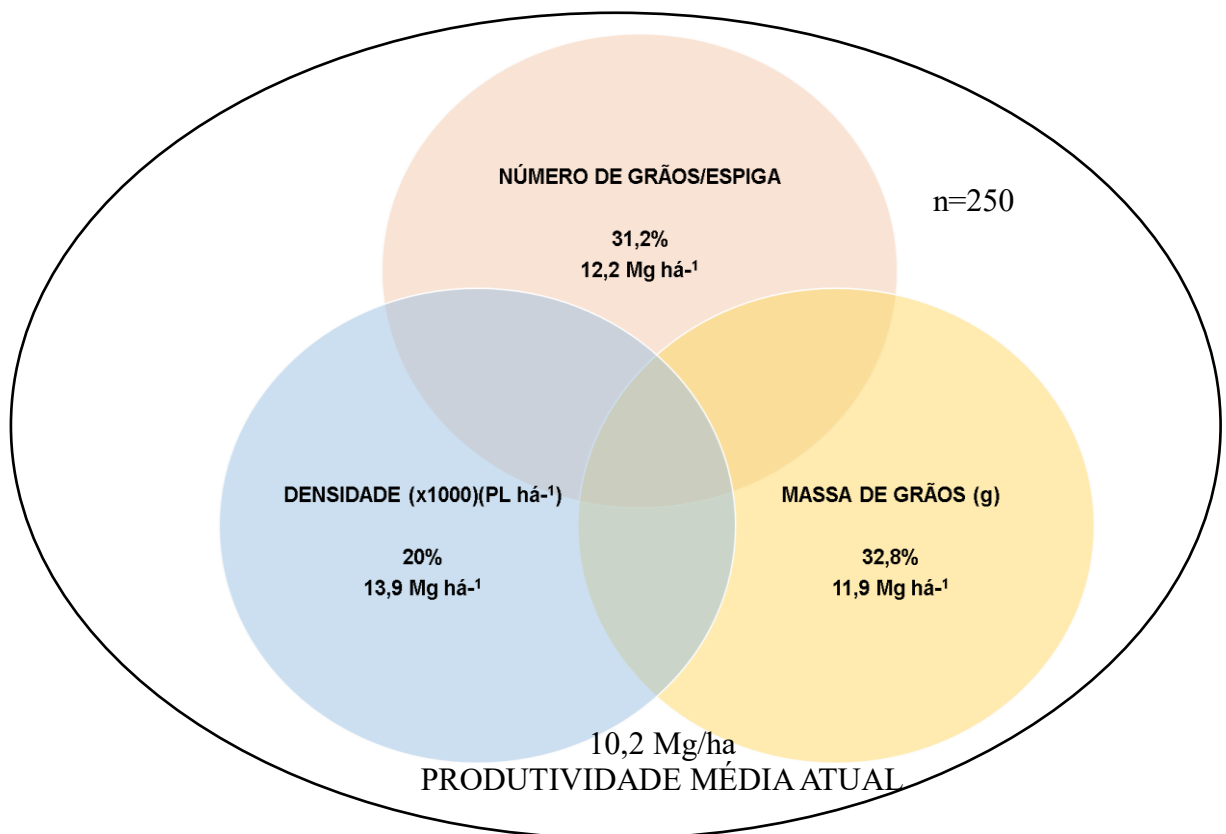
10 Vian. et al. (2015) descreveram que “O potencial de produtividade de grãos de milho
11 é determinado pela densidade de semeadura, população final de plantas, número de espigas por
12 planta, comprimento de espigas, número de fileiras de grãos por espiga, número de grãos por
13 fileira, massa média do grão e pelo genótipo utilizado [...]”. Um dos principais manejos para
14 obter alta produtividades são as folhas interceptarem a maior parte de radiação solar incidente,
15 já que a mesma é fonte de energia utilizada na produção da matéria seca das plantas (Vega et
16 al., 2000).

17

18 **Diagrama de Venn**

19 Foram analisadas 250 lavouras, com produtividade média atual de 10,2 Mg/ha (Figura
20 5). Destas, 20% atingiram a faixa ótima e possuem densidade adequada, proporcionando um
21 incremento de 13,25 Mg.ha⁻¹ (o fator que limita é água, pois a maioria das lavouras são de
22 sequeiros), e 31,2% atingiram a faixa ótima adequada para a variável número de grãos/espiga,
23 proporcionando um incremento na produtividade de 12,1 Mg.ha⁻¹. Além disso, 32,8% das
24 lavouras em estudo atingiram a faixa ótima adequada da variável massa de 1000 grãos (g),
25 proporcionando o incremento na produtividade de 11,9 Mg.ha⁻¹.

- 1 • A x B: A interação entre as variáveis Densidade e N° grãos/espiga de 8,4% da faixa ótima
 2 proporcionou o incremento de 14,75 Mg.ha⁻¹ na produtividade.
- 3 • A x C: A interação entre as variáveis Densidade e Massa de 1000 grãos de 10,4% de faixa
 4 ótima proporcionou o incremento de 14,4 Mg.ha⁻¹ na produtividade.
- 5 • C X B: A interação entre as variáveis Massa de 1000 grãos e número de grãos/espiga de
 6 11,6% da faixa ótima incrementou 13,9 Mg.ha⁻¹ na produtividade.
- 7 • A x B x C: É possível perceber que na intersecção que as combinações entre as variáveis
 8 Densidade, Número de grãos/espiga e Massa de 1000 grãos, 6,4% atingiu a faixa ótima
 9 incrementando em 14,3 % na produtividade das lavouras avaliadas neste estudo.
- 10



11
 12
 13 Figura 5. Relação entre valores ótimos dos componentes de rendimento de milho (número de
 14 grãos por espiga, densidade de plantas/hectare e massa de grãos) e rendimento de grãos,
 15 utilizando o método do diagrama de Venn. O rendimento médio de grãos do número total

1 (100%) de culturas é indicado no círculo mais externo. As áreas sobrepostas indicam os valores
2 dos experimentos que atingiram o valor ótimo dos componentes de produtividade. A área
3 central de sobreposição indica o rendimento quando os três componentes do rendimento
4 atingem valores ótimos.

5

6

Conclusão

7 A partir dos valores médios das “faixas ótimas” para os componentes primários de
8 milho que visam a maximização da produtividade, pode-se concluir que uma lavoura com 9,3
9 plantas por m², 605 grãos por espiga e massa de mil grãos de 369 gramas, tem potencial para
10 produzir 20,7 toneladas para o hectare, o que corresponde a 436 sacas por hectare.

11 A partir deste estudo, agrônomos, consultores técnicos e agricultores poderão definir
12 o manejo com base nas informações sobre a cultura do milho e trabalhar os fatores mais
13 importantes que estão afetando para alcançar as faixas ótimas dos componentes de rendimento
14 primário do milho, que impedem a maximização da produtividade. Pode-se concluir que a
15 utilização de práticas de manejo favorece o incremento no rendimento de grãos do milho no
16 Brasil.

17

18

Agradecimentos

19 A todos que contribuíram para a realização deste trabalho: Integrantes da Equipe Field
20 Crops, Grupo AGROS e os agricultores.

21

22

Referências

23 ABENDROTH, L.J.; ELMORE, R.W.; MATTHEW, J.B.; MARLAY, S.K. **Corn growth and**
24 **development**. Ames: Iowa State University Extension, 2011. 50p.

- 1 AGUIAR, L.J.G. **Fluxos de massa e energia para a cultura de milho (*Zea mays* L.) no Rio**
2 **Grande do Sul**. 2011. 112p. Tese (Doutorado em Meteorologia Agrícola) - Universidade
3 Federal de Viçosa, Viçosa.
- 4 ÁLVAREZ, N.L.A.; LLERAS, S. **Para el salón: Herramientas para el diseño centrado en el**
5 **usuário**. Bogotá: Universidad de los Andes, 2015. 120p.
- 6 ALVES, B.M.; CARGNELUTTI FILHO, A.; BURIN, C.; TOEBE, M.; SILVA, L.P. da.
7 Divergência genética de milho transgênico em relação à produtividade de grãos e da qualidade
8 nutricional. **Ciência Rural**, v.45, n.5, p.884-891, 2015. DOI: 10.1590/0103-8478cr20140471.
- 9 ANDRADE, F.H.; VEGA, C.; UHART, S.; CIRILO, A.; CANTARERO, M.; VALENTINUZ,
10 O. Kernel number determination in maize. **Crop Science**, v.39, n.2, p.453-459, 1999.
- 11 BERGAMASCHI, H; MATZENAUER, R. **O milho e o clima**. Porto Alegre: Emater/RS-
12 Ascar, 2014.
- 13 BREIMAN, L.; FRIEDMAN, J.H.; OLSHEN, R.A.; STONE, C.J **Classification and**
14 **Regression Trees**. 1.ed. New York: Routledge, 1984.
- 15 CAMPOLIN, A.I.; FEIDEN, A. **Metodologias participativas em agroecologia**. Corumbá:
16 Embrapa Pantanal, 2011. 14p.
- 17 CANELLAS, L.P.; SANTOS, G.A.; RUMJANEK, V.M.; MORAES, A.A.; GURIDI, F. (2001)
18 Distribuição da matéria orgânica e características de ácidos húmicos em solos com adição de
19 resíduos de origem urbana. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 12, p. 1529-1538
- 20 CANTARELLI, L.D.; SCHUCH, L.O.B.; RUFINO, C.A.; TAVARES, L.C.; VIEIRA, J.F.
21 Physiological seeds quality: spatial distribution and variability among soybean plant
22 population. **Bioscience Journal**, v.31, n.2, p.344-351, 2015. DOI: 10.14393/BJ-v31n2a2015-
23 22274.
- 24 CARGNELUTTI FILHO, A.; PERECIN, D.; MALHEIROS, E.B.; GUADAGNIN, J.P.
25 Comparação de métodos de adaptabilidade e estabilidade relacionados à produtividade de grãos

- 1 de cultivares de milho. **Bragantia**, v.66, p.571-578, 2007. DOI: 10.1590/S0006-
2 87052007000400006.
- 3 CASANOVA, D.; GOUDRIAAN, J.; FORMER, M.M.C.; WITHAGEN, J.C.M. Rice yield
4 prediction from yield components and limiting factors. **European Journal of Agronomy**, v.17,
5 p.41-61, 2002. DOI:10.1016/S1161-0301(01)00137-X.
- 6 CASSMAN, K.G.; DOBERMANN, A.; WALTERS, D.T.; YANG, H. Meeting cereal demand
7 while protecting natural resources and improving environmental quality. Annual **Review of**
8 **Environment and Resources**, v.28, p.315-358, 2003. DOI:
9 10.1146/annurev.energy.28.040202.122858.
- 10 CASSMAN, K.G.; LISKA, A.J. Food and fuel for all: realistic or foolish? **Biofuels, Bio**
11 **products and Biorefining**, v.1, n.1, p.18–23, 2007. DOI: 10.1002/bbb.3.
- 12 CONAB. **Página inicial**. Brasília: Companhia Nacional de Abastecimento, 2020.
- 13 CORASSA, G.M.; AMADO, T.J.C.; STRIEDER, M.L.; SCHWALBERT, R.; PIRES, J. L. F.;
14 CARTER, P.R.; CIAMPITTI, I.A. Optimum soybean seeding rates by yield environment in
15 southern Brazil. **Agronomy Journal**, v.110, n.6, p.2430-2438, 2018. DOI:
16 10.2134/agronj2018.04.0239.
- 17 CRUZ, J.C.; PEREIRA, F.T.F.; PEREIRA FILHO, I.A.P.; OLIVEIRA, A.C.; MAGALHÃES,
18 P.C. Resposta de cultivares de milho à variação em espaçamento e densidade. **Revista**
19 **Brasileira de Milho e Sorgo**, v.6, n.1, p.60-73, 2007. DOI: 10.18512/1980-
20 6477/rbms.v6n1p60-73.
- 21 DUVICK, D.N.; CASSMAN, K.G. Post–Green Revolution Trends in Yield Potential of
22 Temperate Post–Green Revolution Trends in Yield Potential of Temperate Maize in the North-
23 Central United States Maize in the North-Central United States. **Crop Science**, v.39, p.1622-
24 1630, 1999.

- 1 EMYGDIO, M.B.; ROSA, A.P.A. da; TEIXEIRA, M.C.C. **Indicações técnicas para o cultivo**
2 **de milho e de sorgo no Rio Grande do Sul safras 2013/2014 e 2014/2015**. Brasília: Embrapa,
3 2013. 58p.
- 4 FAO. **Agricultural production**. Rome: Food and Agriculture Organization of the United
5 Nations, 2020.
- 6 FARINELLI, R.; PENARIOL, F.G.; FORNASIERI FILHO, D. Características agronômicas e
7 produtividade de cultivares de milho em diferentes espaçamentos entre linhas e densidades
8 populacionais. **Científica**, v.40, n.1, p.21–27, 2012. DOI: 10.15361/1984-
9 5529.2012v40n1p21%20-%2027.
- 10 FIGUEREDO JÚNIOR, L.G.M. de; DOURADO NETO, D.; OLIVEIRA, R.F. de;
11 MANFRON, P.A.; MARTIN, T.N. Modelo para estimativa do índice de área foliar da cultura
12 do milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.4, n.2, p.8-13, 2005. DOI: 10.18512/1980-
13 6477/rbms.v4n1p8-13.
- 14 FRENCH, R.J.; SCHULTZ, J.E. Water use efficiency of wheat in a Mediterranean-type
15 environment. I. The relation between yield, water use and climate. **Australian Journal of**
16 **Agricultural Research**, v. 35, n.6, p. 743-764, 1984. DOI: 10.1071/AR9840743.
- 17 GRASSINI, P.; THORBURN, J.; BURR, C.; CASSMAN, K. High-yield irrigated maize in the
18 Western U.S. Corn Belt: I. On-farm High-yield irrigated maize in the Western U.S. Corn Belt:
19 I. On-farm yield, yield potential, and impact of agronomic practices. **Field Crops Research**,
20 v.120, p.142-150, 2011. DOI: 10.1016/j.fcr.2010.09.012.
- 21 GRASSINI, P.; TORRION, J.A.; CASSMAN, K.G.; SPECHT, J.E. Drivers of spatial and
22 temporal variation in soybean yield and irrigation requirements in the western US Corn Belt.
23 **Field Crops Research**, v.163, p.32–46, 2014. DOI: 10.1016/j.fcr.2014.04.005.

- 1 GRASSINI, P.; YANG, H.; CASSMAN, K.G. Limits to maize productivity in Western Corn-
2 Belt: A simulation analysis for fully irrigated and rainfed conditions. **Agricultural and Forest**
3 **Meteorology**, v.149, n.8, p.1254-1265, 2009. DOI: 10.1016/j.agrformet.2009.02.012.
- 4 HOCHMAN, Z.; VAN REES, H.; CARBERRY, P.S.; HUNT, J.R.; MCCOWN, R.L.;
5 GARTMANN, A.; HOLZWORTH, D.; VAN REES, S.; DALGLIESH, N.P.; LONG, W.;
6 PEAKE, A.L.; POULTON, P.L. Re-inventing model-based decision support with Australian
7 dryland farmers. 4. Yield Prophet® helps farmers monitor and manage crops in a variable
8 climate. **Crop and Pasture Science**, v.60, p.1057-1070, 2009. DOI:10.1071/CP09020.
- 9 KUNZ, J.H.; BERGONCI, J.I.; BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G.A.; HECKLER,
10 B.M.M.; COMIRAN, F. Uso da radiação solar pelo milho sob diferentes preparos do solo,
11 espaçamento e disponibilidade hídrica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, n.11, p.1511-
12 1520, 2007. DOI: 10183/107294.
- 13 LEMOS, G. da S. **Mapeamento de áreas de soja em municípios da metade sul do estado do**
14 **Rio Grande do Sul a partir de imagens de satélite**. 2016. 82f. Dissertação (Mestrado em
15 Ciências) - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
- 16 LOBELL, D.B.; CASSMAN, K.G.; FIELD, C.B. Crop Yield Gaps: Their Importance,
17 Magnitudes, and Causes. **Annual Review of Environment and Resources**, v.34, p.179-204,
18 2009. DOI: 10.1146/annurev.environ.041008.093740.
- 19 LONG, N.V.; ASSEFA, Y.; SCHWALBERT, R.; CIAMPITTI, I.A. Maize Yield and Planting
20 Date Relationship: A Synthesis-Analysis for US High-Yielding Contest-Winner and Field
21 Research Data. **Frontiers in Plant Science**, v.8, n.2106, p.1-9, 2017.
22 DOI:10.3389/fpls.2017.02106.
- 23 MELO, F. de B.; CORÁ, J.E.; CARDOSO, M.J. Fertilização nitrogenada, densidade de plantas
24 e rendimento de milho cultivado no sistema plantio direto. **Ciência Agrônômica**, v.42, n.1,
25 p.27-31, 2011. DOI: 10.1590/S1806-66902011000100004.

- 1 MONTEIRO, J.E. **Agrometeorologia dos cultivos**: o fator meteorológico na produção
2 agrícola. Brasília, DF: INMET, 2009. 530p.
- 3 MUELLER, N.D.; WEST, P.C.; GERBER, J.S.; MACDONALD, G.K.; POLASKY, S.;
4 FOLEY, J.A. A tradeoff frontier for global nitrogen use and cereal production. **Environmental**
5 **Research Letters**, v. 9, n.3, p.1-8, 2014. DOI: 10.1088/1748-9326/9/5/054002.
- 6 MUGO, S.N.; EDMEADES, G.O.; KIRUBI, D.T. Genetic improvement for drought tolerance
7 increases tolerance to high plant density in tropical maize under low input levels. In:
8 HALLAUER, A.R. **International Symposium on Plant Breeding**. Mexico City: CIMMYT,
9 2003. p.50-55.
- 10 MÜLLER, A.G.; BERGAMASCHI, H. Eficiências de interceptação, absorção e de uso da
11 radiação fotossinteticamente ativa pelo milho (*Zea mays* L.), em diferentes disponibilidades
12 hídricas e verificação do modelo energético de estimativa da massa seca acumulada. **Revista**
13 **Brasileira de Agrometeorologia**, v.13, n.1, p.27-33, 2005.
- 14 NIELSEN, R.L. **Ear size determination in corn**. West Lafayette: Purdue University
15 Department of Agronomy, 2007.
- 16 NIELSEN, R.L. **Grain Fill Stages in Corn**. West Lafayette: Purdue University Department of
17 Agronomy, 2019.
- 18 ONU. **World Population Prospects 2019**. EUA: Population Division of the Department of
19 Economic and Social Affairs, 2019.
- 20 PIANA, A.T.; SILVA, P.R.F.; BREDEMEIERI, C.; SANGOI, L.; VIEIRA, V.M.; SERPA,
21 M.S.; JANDREY, D.B. Plant density of hybrid maize at early sowing date in Southern Brazil.
22 **Ciência Rural**, v.38, n.9, p.2608-2612, 2008. DOI: 10.1590/S0103-84782008005000023.
- 23 RIBEIRO, B.S.M.R.; ZANON, A.J. **Ecofisiologia do milho**: visando altas produtividades.
24 Santa Maria: Palloti/SM, 2020.

- 1 RITCHIE, S.W.; HANWAY, J. J.; BENSON, G. O. **How a corn plant develops**. Ames,
2 Iowa/EUA: Iowa State University of Science and Technology Cooperative Extension Service,
3 1993.
- 4 SALVAGIOTTI, F.; CASSMAN, K.G.; SPECHT, J.E.; WALTERS, D.T.; WEISS, A.;
5 DOBERMANN, A. Absorção de nitrogênio, fixação e resposta ao fertilizante N na soja: uma
6 revisão. **Field Crops Research**, v.108, n.1, p.1-13, 2008. DOI: 10.1016/j.fcr.2008.03.001.
- 7 SANGOI, D.L. **Ecofisiologia da cultura do milho para altos rendimentos**. Lages: UDESC,
8 2010. 52p.
- 9 SANGOI, L.; SILVA, P. R. F.; SILVA, A. A.; ERNANI, P. R.; HORN, D.; STRIEDER, M. L.;
10 SCHMITT, A.; SCHWEITZER, C. Desempenho agrônômico de cultivares de milho em quatro
11 sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.5, n.2, p.218-231, 2006. DOI:
12 10.18512/1980-6477/rbms.v5n02p%25p.
- 13 SERPA, M. da S.; SILVA, P.R.F. da; SANGOI, L.; VIEIRA, V.M.; MARCHESI, D.R.
14 Densidade de plantas em híbridos de milho semeados no final do inverno em ambientes
15 irrigados e de sequeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.47, n.4, p.541-549, 2012.
16 DOI:10.1590/S0100-204X2012000400010.
- 17 SHIN, S. **O status lógico dos diagramas**. Cambridge: Cambridge University Press, 1994.
- 18 STRIEDER, M.L.; SILVA, P.R.F. da; RAMBO, L.; BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G.A.;
19 ENDRIGO, P.C.; JANDREY, D.B. Características do dossel e rendimento de milho em
20 diferentes espaçamentos e sistema de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, n.3,
21 p.309-317, 2008. DOI: 10.1590/S0100-204X2008000300004.
- 22 TAGLIAPIETRA, E.L.; STRECK, N.A.; ROCHA, T.S.M. da; RICHTER, G.L.; SILVA, M.R.
23 da; CERA, J.C.; GUEDES, J.V.C.; ZANON, A.J. Optimum leaf area index to reach soybean
24 yield potential in subtropical environment. **Agronomy Journal**, v.110, n.3, p.932-938, 2018.
25 DOI: 10.2134/agronj2017.09.0523.

- 1 TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 6.ed. Porto Alegre: ArtMed, 2017.
- 2 THERNEAU, T.M.; ATKINSON, E.J. **An introduction to recursive partitioning using the**
3 **RPART routines**. Rochester: Mayo Foundation, 1997.
- 4 TOLLENAAR, M.; LEE, E.A. **Dissection of physiological processes underlying grain yield**
5 **in maize by examining genetic improvement and heterosis [*Zea mays* L.]**. Italy: Maydica,
6 2002.
- 7 USDA. **PSD online**. Available at: <<http://www.fas.usda.gov/psdonline/>>. Accessed on: May 22
8 2020.
- 9 VAN ITTERSUM, M.K; CASSMAN, K.G.; GRASSINI, P.; WOLF, J.; TITTONELL, P.;
10 HOCHMAN, Z. Yield gap analysis with local to global relevance—A review. **Field Crops**
11 **Research**, v.143, p.4-17, 2013. DOI: 10.1016/j.fcr.2012.09.009.
- 12 VEGA, C.R.C.; SADRAS, V.O.; ANDRADE, F.H.; UHART, S.A. Reproductive Allometry in
13 Soybean, Maize and Sunflower. **Annals of Botany**, v.85, n.4, p.461-468, 2000. DOI:
14 10.1006/anbo.1999.1084.
- 15 VENABLES, W.N.; RIPLEY, B.D. **Modern applied statistics with S**. 4.ed. New York:
16 Springer-Verlag, 2003. 498p.
- 17 WATSON, D.J.; WATSON, M. A. Comparative physiological studies on growth of field crops:
18 I. Variation in net assimilation rate and leaf area between species and varieties, and within and
19 between years. **Annals of Botany**, v.11, p.41-76, 1947. DOI: 10.1111/j.1744-
20 7348.1953.tb02364.x.
- 21 YING, X.; MINGYAO, Z.; YAFENG, X. Spatial variability and relationships of rice leaf area
22 index and yield. **Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering**, v22, n.5,
23 p.10-14, 2006.

REFERÊNCIAS

- ABENDROTH, Lori J. *et al.* **Corn growth and development**. Ames, Iowa: Iowa State University Extension, 2011.
- ALVES, Francielly Q. G. *et al.* Qualidade fisiológica de híbridos de milho submetidos a diferentes temperaturas. *In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO*, 28., 2010, Goiânia. **Anais** [...]. Goiânia: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2010.
- ANDRADE, Fernando H. *et al.* Kernel number determination in maize. **Crop Science**, v. 39, n. 2, p. 453-459, Mar./Apr. 1999.
- ARAUS, Jose L.; SERRET, María D.; EDMEADES, Gregory O. Phenotyping maize for adaptation to drought. **Frontiers in physiology**, v. 3, n. 305, p. 1-20, Ago. 2012.
- BAE, Soo-Jung *et al.* *Trichoderma* metabolites as biological control agents against *Phytophthora* pathogens. **Biological Control**, v. 92, p. 128-138, Jan. 2016.
- BASHAN, Yoav; HOLGUIN, Gina; DE-BASHAN, Luz E. *Azospirillum*-plant relationships: physiological, molecular, agricultural, and environmental advances. **Canadian Journal of Microbiology**, v. 50, n. 8, p. 521- 577, Aug. 2004.
- BAUGH, C. L.; ESCOBAR, B. The genus *Bacillus* and genus *Trichoderma* for agricultural bioaugmentation. **Rice Farm Magazine**, v. 1, n. 4, p. 1-4, 2007.
- BENÍTEZ, Tahia *et al.* Biocontrol, Mechanisms of *Trichoderma* Strains. **International Microbiology**, v. 7, n. 4, p. 249-260, Dec. 2004.
- BERGAMASCHI, Homero *et al.* Déficit hídrico e produtividade na cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 2, p. 243-249, fev. 2006.
- BERGAMASCHI, Homero; MATZENAUER, Ronaldo. **O milho e o clima**. Porto Alegre: Emater/RS-Ascar, 2014.
- BERGONCI, J. I.; BERGAMASCHI, Homero. Ecofisiologia do milho. *In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO*, 24., 2002, Florianópolis. **Anais** [...]. Florianópolis: ABMS/EMBRAPA/EPAGRI, 2002. CD-ROM.
- BISSET, John. A revision of the genus *Trichoderma*. II. Infrageneric classification. **Canadian Journal of Botany**, v. 69, n. 11, p. 2357-2372, Nov. 1991.
- BISSET, John. *Trichoderma atroviride*. **Canadian Journal of Botany**, v. 70, p. 639-641, Mar. 1992.
- BRACCINI, Alessandro de Luca e *et al.* Seed inoculation with *Azospirillum brasilense*, associated with the use of bioregulators in maize. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 25, n. 2, p. 58-64, Apr./June 2012.

CARLETTI, Paolo *et al.* Protein expression changes in maize roots in response to humic substances. **Journal of Chemical Ecology**, v. 34, n. 6, p. 804-818, June 2008.

CARON, Vanessa Cristina; GRAÇAS, Jonathas Pereira; CASTRO, Paulo Roberto de Camargo e. **Condicionadores do solo: ácidos húmicos e fúlvicos**. Piracicaba: ESALQ – Divisão de Biblioteca, 2015.

CARRERO-CARRÓN, Irene *et al.* *Trichoderma asperellum* is effective for biocontrol of Verticillium wilt in olive caused by the defoliating pathotype of *Verticillium dahliae*. **Crop Protection**, v. 88, p. 45-52, Oct. 2016.

CASSMAN, K. G. *et al.* Meeting cereal demand while protecting natural resources and improving environmental quality. **Annual Review of Environment and Resources**, v. 28, p. 315-358, 2003.

CHAGAS, Lillian França Borges *et al.* *Bacillus subtilis* e *Trichoderma* sp. no incremento da biomassa em plantas de soja, feijão-caupi, milho e arroz. **Agri-Environmental Sciences**, v. 3, n. 2, p. 10-18, mar. 2018.

CHOUHAN, Gowardhan Kumar *et al.* PGPM as a potential bioinoculant for enhancing crop productivity under sustainable agriculture. *In*: RAKSHIT, Amitava *et al.* **Biofertilizers: Advances in Bio-Inoculants**. 1.ed. [S.l.]: Woodhead Publishing, 2021. p.221-237.

CONAB. **Página inicial**. Brasília: Companhia Nacional de Abastecimento, 2020. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/>. Acesso em: 21 abr. 2022.

CRUZ, José C. *et al.* Resposta de cultivares de milho a variação em espaçamento e densidade. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 6, n. 1, p. 60-73, 2007.

CRUZ, J. C. *et al.* **Árvore do conhecimento milho: cultivares**. Brasília: Agência Embrapa de Informação Tecnológica, 2011. Disponível em: https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/milho/arvore/CONTAG01_28_168200511158.html#. Acesso em: 21 abr. 2021.

DARTORA, Janaína *et al.* Adubação nitrogenada associada à inoculação com *Azospirillum brasilense* e *Herbaspirillum seropedicae* na cultura do milho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 10, p. 1023-1029, Out. 2013.

DOBBELAERE, Sofie; VANDERLEYDEN, Jos; OKON, Yaacov. Plant growth-promoting effects of diazotrophs in the rhizosphere. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v. 22, n. 2, p. 107-149, 2003.

DOBBELAERE, Sofie *et al.* Effect of inoculation with wild type *Azospirillum brasilense* and *A. irakense* strains on development and nitrogen uptake of spring wheat and grain maize. **Biology and Fertility of Soils**, v. 36, n. 4, p. 284-297, Oct. 2002.

DÖBEREINER, J.; BALDANI, I. J. Bases científicas para uma agricultura biológica. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v. 34, n. 37, p. 869-881, 1982.

DÖBEREINER, J.; MARRIEL, I. E.; NERY, M. Ecological distribution of *Spirillum lipoferum* Beijerinck. **Canadian Journal of Microbiology**, v. 22, n. 10, p. 1464-1473, Oct. 1976.

DUARTE, Ivaniele *et al.* Utilização de ácidos húmicos no revestimento do MAP. **Enciclopédia Biosfera**, v. 9, n. 16, p. 2084-2091, 2013.

EHLERINGER, James. R.; CERLING, Thure C.; HELLIKER, Brent R. C₄ photosynthesis, atmospheric CO₂, and climate. **Oecologia, Berlin**, v. 112, p. 285-299, 1997.

FALLIK, E.; SARIG, S.; OKON, Y. Morphology and physiology of plant roots associated with *Azospirillum*. In: OKON, Y. **Azospirillum/plant associations**. Boca Raton: CRC Press, 1994. p. 77-86.

FANCELLI, Antônio Luiz; DOURADO NETO, Durval. **Produção de milho**. 1. ed. Guaíba: Agropecuária, 2000.

FAO. **Agricultural production**. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2020. Disponível em: <http://faostat.fao.org/>. Acesso em 21 mar. 2020.

FERNÁNDEZ, Leticia Andrea *et al.* Bacterias solubilizadoras de fosfato inorgánico aisladas de suelos de la región sojera. **Ciencia del Suelo**, v. 23, n. 1, p. 31-37, ene./jul. 2005.

FIORINI, Lisa *et al.* *Trichoderma harzianum* T6776 modulates a complex metabolic network to stimulate tomato cv. Micro-Tom growth. **Plant and Soil**, v. 400, p. 351-366, Mar. 2016.

FRANCHE, Claudine; LINDSTRÖM, Kristina; ELMERICH, Claudine. Nitrogen-fixing bacteria associated with leguminous and non-leguminous plants. **Plant and Soil**, v. 321, n. 1, p. 35-59, Aug. 2009.

GOMES, Eliane Aparecida *et al.* **Microrganismos Promotores do Crescimento de Plantas**. Sete Lagoas: EMBRAPA, 2016.

GONG, Fangping *et al.* Making better maize plants for sustainable grain production in a changing climate. **Frontiers in Plant Science**, v. 6, n. 835, p. 1-6, Out. 2015.

HANWAY, J. J. Growth stages of corn (*Zea mays* L.). **Agronomy Journal**, v. 55, n. 5, p. 487-492, set. 1963.

HARMAN, G. E.; TAYLOR, A. G.; STASK, T. E. Combining effective strains of *Trichoderma harzianum* and soil matrix priming to improve biological seed treatment. **Plant Disease**, v. 73, n. 8, p. 631-637, Aug. 1989.

HESHAM, Abd El-Latif *et al.* Current Trends in Microbial Biotechnology for Agricultural Sustainability: Conclusion and Future Challenges. *In: YADAV, Ajar Nath et al. Current Trends in Microbial Biotechnology for Sustainable Agriculture*. [S.l.]: Springer, 2020. p. 555-572.

HOFFLAND, Elis; FINDENEGG, Günter R.; NELEMANS, Jacob A. Solubilization of rock phosphate by rape: I. Evaluation of the role of the nutrient uptake pattern. **Plant and Soil**, v. 113, n. 2, p. 155-160, Jan. 1989.

HUNGRIA, Mariangela *et al.* Inoculation with selected strains of *Azospirillum brasilense* and *A. lipoferum* improves yields of maize and wheat in Brazil. **Plant and Soil**, v. 331, p. 413-425, Jan. 2010.

KAMARUZZAMAN, M. *et al.* Efficacy of four selective *Trichoderma* isolates as plant growth promoters in two peanut varieties. **International Journal of Biological Research**, v. 4, n. 2, p. 152-156, Aug. 2016.

KOMMEDAHL, Thor; WINDELS, Carol E. Evaluation of biological seed treatment for controlling root diseases of pea. **Phytopathology**, v. 68, n. 7, p. 1087-1095, July 1978.

LARA, Cecilia; AVILA, Lina M. Esquivel; PEÑATA, Jorge L. Negrete. Bacterias nativas solubilizadoras de fosfato para incrementar los cultivos en el departamento de Córdoba-Colombia. **Biología en el sector agropecuario y agroindustrial**, v. 9, n. 2, p. 114-120, jul. 2011.

LOPES, Monyck Jeane dos Santos *et al.* Biotecnologia microbiana: inoculação, mecanismos de ação e benefícios às plantas. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 12, p. 1-13, set. 2021.

LOPES, Sidinei José *et al.* Relações de causa e efeito em espigas de milho relacionadas aos tipos de híbridos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 6, p. 1536-1542, 2007.

MACHADO, Rafael Goulart *et al.* Promoção de crescimento de *Lotus corniculatus* L. e *Avena strigosa* Schreb pela inoculação conjunta de *Trichoderma harzianum* e rizóbio. **Ciência e Natura**, Santa Maria, v. 33, n. 2, p. 111-126, dez. 2011.

MAGALHAES, Paulo C. *et al.* **Fisiologia da produção de milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2002. Disponível em: <http://docsagencia.cnptia.embrapa.br/milho/circul22.pdf>. Acesso em: 21 abr. 2021.

MATSUOKA, Yoshihiro *et al.* A single domestication for maize shown by multilocus microsatellite genotyping. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 99, n. 9, p. 6080-6084, 2002.

MONTEIRO, José Eduardo (org.). **Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola**. 1. ed. Brasília: INMET, 2009.

MORAES, S. L. de; LANDGRAF, M. D.; REZENDE, M. O. O. Caracterização de ácidos húmicos de diferentes origens por eletroforese capilar de zona. **Eclética Química**, São Paulo, v. 29, n. 2, p. 47-52, 2004.

MSIMBIRA, Levini A.; SMITH, Donald L. The Roles of Plant Growth Promoting Microbes in Enhancing Plant Tolerance to Acidity and Alkalinity Stresses. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 4, n. 106, p. 1-14, July 2020.

MÜLLER, Artur Gustavo; BERGAMASCHI, Homero. Eficiências de interceptação, absorção e de uso da radiação fotossinteticamente ativa pelo milho (*Zea mays* L.), em diferentes disponibilidades hídricas e verificação do modelo energético de estimativa da massa seca acumulada. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 13, n. 1, p. 27-33, abr. 2005.

NARDI, Serenella *et al.* Relationship between molecular characteristics of soil humic fractions and glycolytic pathway and krebs cycle in mayze seedling. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 39, n. 12, p. 3138-3146, Dec. 2007.

NEL, P. C.; SMITH, N. S. H. Growth and development stages in the growing maize plant. **Farming in South Africa**, v. 2, p. 1-7, 1978.

NIED, Astor Henrique *et al.* Épocas de semeadura do milho com menor risco de ocorrência de deficiência hídrica no município de Santa Maria, RS, Brasil. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 5, p. 995-1002, out. 2015.

NIELSEN, R. L. Grainfill Stages in Corn. Corny News Network Articles. West Lafayette, Indiana/EUA: Purdue University, 2019. Disponível em: <https://www.agry.purdue.edu/ext/corn/news/timeless/GrainFill.html>. Acesso em: 21 out. 2021.

NOVAIS, Roberto Ferreira de *et al.* **Fertilidade do solo**. 1. ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007.

NOVAIS, Roberto Ferreira de; SMYTH, T. Jot. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa: UFV, 1999.

OKON, Y.; VANDERLEYDEN, J. Root-associated Azospirillum species can stimulate plants. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 63, n. 7, p. 366-370, 1997.

OLIVEIRA, Ariádila Gonçalves de *et al.* Potencial de solubilização de fosfato e produção de AIA por *Trichoderma* spp. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Pombal, v. 7, n. 3, p. 149-155, nov. 2012.

ONU. **World Population Prospects 2019**. EUA: Population Division of the Department of Economic and Social Affairs, 2019. Disponível em: <https://population.un.org/wpp/publications/>. Acesso em: 21 abr. 2020.

PAREDES-MENDOZA, Marianela; ESPINOSA-VICTORIA, David. Ácidos orgánicos producidos por rizobacterias que solubilizan fosfatos: una revisión crítica. **Terra Latinoamericana**, v. 28, n. 1, p. 61-70, ene./mar. 2010.

PÉREZ, Elizabeth *et al.* Isolation and characterization of mineral phosphate-solubilizing bacteria naturally colonizing a limonitic crust in the south-eastern Venezuelan region. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 39, p. 2905-2914, Nov. 2007.

PRASANNA, B. M. Diversity in global maize germplasm: Characterization and utilization. **Journal of Biosciences**, v. 37, n. 5, p. 843-855, Nov. 2012.

QUAGGIOTTI, Silvia *et al.* Effect of low molecular size humic substances on nitrate uptake and expression of genes involved in nitrate transport in maize (*Zea mays* L.). **Journal of Experimental Botany**, v. 55, n. 398, p. 803-813, Apr. 2004.

RESENDE, Máira Paixão *et al.* Phosphate solubilization and phytohormone production by endophytic and rhizosphere *Trichoderma* isolates of guanandi (*Calophyllum brasiliense* Cambess). **African Journal of Microbiology Research**, v. 8, n. 27, p. 2616-2623, July 2014.

REZENDE, Cássia Cristina *et al.* Microrganismos multifuncionais: utilização na agricultura. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 2, p. 1-15, fev. 2021.

RIBEIRO, Bruna San Martin Rolim *et al.* **Ecofisiologia do milho**: visando altas produtividades. 1. ed. Santa Maria: Palloti/SM, 2020.

RIBEIRO, Camila Bastos. **Caracteres que explicam a heterose na produtividade de grãos de milho**. 2012. Dissertação (Mestrado em Melhoramento Genético de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012.

RITCHIE, S. W.; HANWAY, J. J.; BENSON, G. O. **How a corn plant develops**. Ames, Iowa/EUA: Iowa State University of Science and Technology Cooperative Extension Service, 1993.

RODRIGUEZ, Hilda; FRAGA, Reynaldo. Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion. **Biotechnology Advances**, v. 17, n. 4-5, p. 319-339, Oct. 1999.

ROSE, Michael T. *et al.* Chapter Two - A meta-analysis and review of plant growth response to humic substances: practical implications for agriculture. **Advances in Agronomy**, v. 124, p. 37-89, 2014.

SARAVANAKUMAR, Kandasamy *et al.* Synergistic effect of *Trichoderma*-derived antifungal metabolites and cell wall degrading enzymes on enhanced biocontrol of

Fusarium oxysporum f. sp. *cucumerinum*. **Biological Control**, v. 94, p. 37-46, Mar. 2016.

SANGOI, L. *et al.* **Ecofisiologia da cultura do milho para altos rendimentos**. Lages: GRAPHEL, 2010.

SERPA, Michael da Silva *et al.* Densidade de plantas em híbridos de milho semeados no final do inverno em ambientes irrigados e de sequeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 47, n. 4, p. 541-549, abr. 2012.

SHAW, Sophie *et al.* Transcriptional reprogramming underpins enhanced plant growth promotion by the biocontrol fungus *Trichoderma hamatum* GD12 during antagonistic interactions with *Sclerotinia sclerotiorum* in soil. **Molecular Plant Pathology**, v. 17, n. 9, p. 1425-1441, Dec. 2016.

SILVA, Joseani Castro da *et al.* Rice sheath blight biocontrol and growth promotion by *Trichoderma* isolates from the Amazon. **Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, Belém, v. 55, n. 4, p. 243-250, Oct./Dec. 2012.

SOUZA, Aguinaldo Eduardo de *et al.* Estudo da produção do milho no Brasil. **South American Development Society Journal**, v. 4, n. 11, p. 182-194, Ago. 2018.

SRIVASTAVA, Mukesh *et al.* *Trichoderma* – a potential and effective bio fungicide and alternative source against notable phytopathogens: A review. **African Journal of Agricultural Research**, v. 11, n. 5, p. 310-316, Feb. 2016.

STEENHOUDT, Oda; VANDERLEYDEN, Jos. *Azospirillum*, a free-living nitrogen-fixing bacterium closely associated with grasses: genetic, biochemical and ecological aspects. **FEMS Microbiology Reviews**, v. 24, n. 4, p. 487-506, Oct. 2000.

TAIZ, Lincoln *et al.* **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. 6. ed. [S.l.]: Artmed Editora, 2017.

TARDIEU, François; SIMONNEAU, Thierry; MULLER, Bertrand. The physiological basis of drought tolerance in crop plants: a scenario-dependent probabilistic approach. **Annual review of plant biology**, v. 69, p. 487–506, Apr. 2018.

TEIXEIRA, Itamar Rosa; MOTA, José Hortêncio; SILVA, Alessandro Guerra da. Consórcio de hortaliças. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 26, n. 4, p. 507-514, out./dez. 2005.

TEIXEIRA, Nilva Teresinha; WITT, Lucas de; SILVA FILHO, Paulo Roberto Ribeiro da. Microrganismos de regeneração nas propriedades químicas do solo, desenvolvimento e produção de milho. **Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v. 14, n. 2, p. 72-80, jul./dez. 2017.

THORPE, M. R. Net radiation and transpiration of apple trees in rows. **Agricultural Meteorology**, v. 19, n. 1, p. 41-57, Jan. 1978.

TORRES, Carlos Omar Patiño. **Solubilización de fosfatos por poblaciones bacterianas aisladas de un suelo del Valle del Cauca** : estudio de biodiversidad y eficiencia. 2010. 133p. Tese (Doutorado em Ciências Agropecuárias) – Faculdade de Ciências Agrícolas da Universidade Nacional da Colômbia, Palmira, Colômbia, 2010.

UMESHA, Sharanaiah; SINGH, Pradeep K.; SINGH, Rajat P. Microbial Biotechnology and Sustainable Agriculture. *In*: SINGH, Ram Lakhan; MONDAL, Sukanta. **Biotechnology for Sustainable Agriculture: Emerging Approaches and Strategies**. [S.l.]: Woodhead Publishing, 2018. p. 185-205.

USDA. **PSD online**. EUA: United States Department Agriculture, 2020. Disponível em: <http://www.fas.usda.gov/psdonline/>>. Acesso em: 22 maio 2020.

VAN ITTERSUM, Martin K. et al. Yield gap analysis with local to global relevance - A review. **Field Crops Research**, v. 143, p. 4–17, Mar. 2013.

VEGA, C. R. C. *et al.* Reproductive Allometry in Soybean, Maize and Sunflower. **Annals of Botany**, v. 85, n. 4, p. 461-468, Apr. 2000.

VEJAN, Pravin *et al.* Role of Plant Growth Promoting Rhizobacteria in Agruculture Sustainability – A Review. **Molecules**, v. 21, n. 573, p. 1-17, Apr. 2016.

VERLINDEN, G *et al.* Application of humic substances results in consistent increases in crop yield and nutrient uptake. **Journal of Plant Nutrition**, v. 32, p. 1407-1426, Aug. 2009.

WANDER, Alcido Elenor; SILVA, Osmora Fátima da. Cultivo do Feijão Irrigado na Região Noroeste de Minas Gerais. **Embrapa Arroz e Feijão - Sistemas de Produção**, Santo Antônio de Goiás, n. 5, p.1-6, dez. 2005.