UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL

BIOESTIMULANTE COMO ESTRATÉGIA AO DÉFICIT HÍDRICO EM FEIJOEIRO COMUM

Maria Albertina Monteiro dos Reis
Engenheira Agrônoma

2021

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL

BIOESTIMULANTE COMO ESTRATÉGIA AO DÉFICIT HÍDRICO EM FEIJOEIRO COMUM

Eng. Agrônoma Maria Albertina Monteiro dos Reis
Orientador: Prof. Dr. Luiz Fabiano Palaretti

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

2021

R375b

Reis, Maria Albertina Monteiro dos
Bioestimulante como estratégia ao déficit hídrico em feijoeiro comum / Maria Albertina Monteiro dos Reis. -- Jaboticabal, 2021
69 p. : il., tabs.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal
Orientador: Luiz Fabiano Palaretti

1. Cultivares. 2. Fitormônios. 3. Phaseolus vulgaris L.. 4. regime hídrico. I. Título.

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

Essa ficha não pode ser modificada.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Jaboticabal

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: BIOESTIMULANTE COMO ESTRATÉGIA AO DÉFICIT HÍDRICO EM FEIJOEIRO COMUM

AUTORA: MARIA ALBERTINA MONTEIRO DOS REIS
ORIENTADOR: LUIZ FABIANO PALARETTI

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em AGRONOMIA (CIÊNCIA DO SOLO), pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. LUIZ FABIANO PALARETTI (Participaçao Virtual)
Departamento de Engenharia e Ciências Exatas (DECEx) / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Prof. Dr. ALEXSANDRO OLIVEIRA DA SILVA (Participaçao Virtual)
Engenharia Agrícola / Universidade Federal do Ceará

Prof. Dr. ROGÉRIO FALLEIROS CARVALHO (Participaçao Virtual)
Departamento de Biologia Aplicada a Agropecuaria / FCAV UNESP Jaboticabal

Prof. Dr. ORIVALDO ARF (Participaçao Virtual)
Departamento de Fitotecnia, Tecnologia de Alimentos e Sócio Economia / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP

Prof. Dr. ALAN RODRIGO PANOSSO (Participaçao Virtual)
Departamento de Engenharia e Ciências Exatas / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal - UNESP

Jaboticabal, 16 de novembro de 2021

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

Maria Albertina Monteiro dos Reis nasceu em 23 de julho de 1993, na cidade de Fortaleza – CE, filha de Marta Maria Dias Monteiro dos Reis e José Edson Borges dos Reis. Ingressou em 2011 no curso de Agronomia da Universidade Federal do Ceará – Campus Pici, com obtenção do título de Engenheira Agrônoma em 2016. Durante a graduação participou do Núcleo Integrado de Mecanização e Projetos Agrícolas (NIMPA), orientada pelo Prof. Dr. Carlos Alessandro Chioderoli, no qual trabalhou com Engenharia de Sistemas Agrícolas, Relação Solo-Máquina-Planta, Análise Energética e Operacional e Ensaios de Máquinas. Foi bolsista de Iniciação Científica da FUNCAP (Federação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico) no período de 2013 a 2014. Participou da Empresa Júnior do Curso de Agronomia (Agronômica) no período de 2013 a 2015. Ingressou no mestrado em 2016 no programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará – Campus Pici com bolsa CNPq, atuando na área de concentração de Engenharia de Sistemas Agrícolas e linha de pesquisa Máquinas e Mecanização Agrícola, trabalhando juntamente ao Grupo de Pesquisa em Engenharia de Água e Solo (GPEAS), com a temática preparo do solo x irrigação na cultura do milho, e obteve título de mestra em 2018. Em novembro de 2021 obeteve o título de doutora pelo Programa de Pós-graduação em Agronomia (Ciência do Solo) da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Câmpus Jaboticabal, com bolsa CAPES, trabalhando com pesquisas na área de Engenharia de Água e Solo e Fertirrigação.

AGRADECIMENTOS

A Deus. Aos meus pais Marta e Edson Reis, principais responsáveis por minha formação e princípios de vida. Ao meu irmão Francisco pelo apoio.

À toda minha família meus tios e primos.

Ao Edgard Henrique Costa Silva pelo carinho, cuidado, apoio, parceria e paciência.

Ao Prof. Dr. Luiz Fabiano Palaretti, pelos conselhos, orientações profissionais, sabedoria e exemplo profissional.

À Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias pela oportunidade de realização do curso.

Ao Programa de Pós-graduação em Agronomia (Ciência do Solo), pela formação e pela valiosa oportunidade proporcionada para a realização desse curso.

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

À Profa. Dra. Durvalina Maria Mathias dos Santos pelo tempo disponibilizado e pelos inúmeros ensinamentos proporcionados.

Ao Prof. Dr. Afonso Lopes pelo acolhimento no início do curso de doutorado e os ensinamentos proporcionados.

Aos integrantes do Grupo de Pesquisa em Irrigação e Meio Ambiente (GPIMA) pela colaboração. Em especial ao Anderson Prates Coelho por todo o acompanhamento durante a condução dos experimentos.

Aos funcionários Luis e João pela valorosa contribuição e colaboração durante a implantação e condução do experimento em campo.

Aos componentes da banca de qualificação Prof. Dr. Alan Rodrigo Panosso e Prof. Dr. Victor Peçanha de Miranda Coelho pelas valiosas sugestões.

Às minhas amigas de vida pela paciência durante todos esses anos: Amandinha, Claudia, Giovanna, Fernanda, Ivna, Marina, Sarah e Thaís.

Aos amigos Ítalo, Marina, Moisés e Rhayane que me acompanham durante toda a jornada acadêmica.

Aos que me acolheram em Jaboticabal, Edcarla, Renata e Gabi por me incentivar e acompanhar na realização de mais uma etapa.

Aos amigos de Jaboticabal Adão Felipe, Everton Carvalho, Larissa Nogueira, Stefany Souza e Taynara Valeriano. Em especial à Karita Almeida, Thaise Mota e Thayse Michelain.

E a todos aqueles que de alguma forma me incentivaram ou me ajudaram a lutar pelo meu objetivo.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 1
2 REVISÃO DE LITERATURA 2
2.1 A cultura do feijão 2
2.2 Água na agricultura 4
2.3 Bioestimulante 6
3 MATERIAL E MÉTODOS 8
3.1 Descrição da área experimental 8
3.2 Delineamento experimental 12
3.2.1 Irrigação 12
3.3 Condução do experimento 15
3.4 Avaliações fitotécnicas e componentes de produção da cultura 16
3.4.1 Área foliar (AF) 16
3.4.2 Massa seca (MS) 16
3.4.3 População final de plantas (PF) 16
3.4.4 Produtividade e componentes de produção 16
3.5 Produtividade da água 17
3.6 Análise estatística dos dados 17
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO 18
4.1 IAC Imperador 19
4.2 IPR Campos Gerais 33
4.3 Considerações finais 42
5 CONCLUSÕES 42
6 REFERÊNCIAS 43
APÊNDICES 57
APÊNDICE A. Descrição dos tratamentos 58
APÊNDICE B. Estatística descritiva 59
APÊNDICE C. Análise de regressão. 60
APÊNDICE D. Matriz de correlação 61

BIOIESTIMULANTE COMO ESTRATÉGIA AO DEFICIT HÍDRICO EM FEIJOEIRO COMUM

RESUMO – O feijoeiro comum possui importância socioeconômica por compor a base da alimentação humana. E como todo cultivo agrícola, têm sofrido com a escassez hídrica devido a irregularidade no regime pluviométrico. O objetivo do presente estudo foi verificar o crescimento e os componentes de produção das cultivares de feijão comum, IAC Imperador e IPR Campos Gerais sob regimes hídricos e presença e ausência do bioestimulante Stimulate® em dois anos consecutivos. O experimento foi delineado em blocos ao acaso, em esquema fatorial (2x2x5), com quatro repetições. Os tratamentos consistiram em dois anos agrícolas (2019 e 2020), presença e ausência de bioestimulante (Stimulate®) e cinco regimes hídricos (63,3, 73,8, 84, 108,8 e 133,9% da evapotranspiração). Foram avaliados a massa seca, área foliar, população final de plantas, altura final, componentes de produção (número de vagens por planta, número de grãos por planta, número de grãos por vagem, massa de cem grãos e produtividade) e produtividade da água. A hipótese da diferença entre os tratamentos foi testada por meio do teste F e quando significativos utilizou-se o teste de Tukey ao nível de 5% para variáveis qualitativas e análise de regressão para variáveis quantitativas. A relação entre as variáveis estudadas foi caracterizada por meio de análise multivariada (análise de agrupamento e análise de componentes principais). Não houve diferença quanto a utilização do bioestimulante para minimizar os efeitos do déficit hídrico nas duas cultivares de feijão comum. O aumento do volume hídrico disponível para o IAC Imperador acarreta maior desenvolvimento vegetativo e incremento de 35% de produtividade. Ainda, para o IAC Imperador, em 2020 houve condições climáticas mais favoráveis ao desenvolvimento. Os regimes hídricos não interferiram na produtividade do IPR Campos Gerais. Para a cultivar IPR Campos Gerais, condições climáticas com menores variações de temperaturas e maior evapotranspiração proporciona incremento de 24% no desenvolvimento vegetativo com a utilização do bioestimulante.

Palavras-chave: cultivares, fitormônios, *Phaseolus vulgaris* L., regime hídrico

BIOSTIMULANT AS A STRATEGY TO WATER DEFICIT IN COMMON BEANS

ABSTRACT – The common beans have socioeconomic importance because it is the basis of human nutrition. As all agricultural crops, they have suffered from water scarcity due to irregular rainfall. The aim of this study was verifying the growth, and yield components of two common bean cultivars, IAC Imperador and IPR Campos Gerais under water depths and biostimulant Stimulate® adoption in two consecutive years. The experiment was designed in randomized blocks, in a factorial scheme (2x2x5), with four replications. The treatments consisted of two crop years (2019 and 2020), presence and absence of biostimulant (Stimulate®) and five water depths (63.3, 73.8, 84, 108.8 and 133.9% of evapotranspiration). The shoot dry mass, leaf area, final plant population, final height, yield components (number of pods per plant, number of grains per plant, number of grains per pod) and water productivity were evaluated. The hypothesis of difference between treatments was tested using the F test and, when significant, the Tukey test was used at the 5% level for qualitative variables and regression analysis for quantitative variables. The relationship between the variables was characterized using multivariate analysis (cluster analysis and principal component analysis). There was no difference regarding the biostimulant use to minimize the effects of water deficit in the two common bean cultivars. Higher water volume available for the IAC Imperador, improve vegetative and a 35% increase in yield. Also, for the IAC Imperador, in 2020 there were climatic conditions more favorable to development. The water regimes did not interfere in IPR Campos Gerais yield. For the cultivar IPR Campos Gerais, climatic conditions with lower temperature variations and higher evapotranspiration provide 24% increase in vegetative development with the biostimulant application.

Keywords: cultivars, phytohormones, *Phaseolus vulgaris* L., water depth

1 INTRODUÇÃO

O feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é uma cultura de importância socioeconômica mundial. Ademais, é a principal fonte de proteína vegetal na alimentação humana (Mondo e Nascente, 2018; Souza et al., 2016), além de fornecimento de fibras, vitaminas e minerais (Bitocchi et al., 2017).

O Brasil possui três safras de cultivo do feijoeiro. A semeadura da primeira safra ocorre nos meses de agosto a dezembro, também chamada de safra “das águas”. A segunda safra é semeada de janeiro a abril ou safra “da seca”. A terceira safra semeada de maio a julho, também conhecida como feijão “de inverno”. As duas últimas são caracterizadas por períodos de escassez chuvosa, necessitando de irrigação. Porém, um grande empecilho para o cultivo do feijoeiro ao longo do ano é a escassez hídrica, pois em leguminosas a ocorrência frequente de déficit hídrico tem efeito significativo na produtividade (Nemeskéri et al., 2018).

O déficit hídrico tem se tornado cada vez mais frequente (Flörke et al., 2018; Nikolaou et al., 2020) e seus efeitos, nas plantas, variam de acordo com a duração, intensidade, frequência, características da cultivar e adaptabilidade das plantas à essa adversidade (Emam et al., 2010; Rosales et al., 2012). Nesse sentido, torna-se necessário o estudo de técnicas que amenizem os efeitos da deficiência hídrica no feijoeiro.

A principal estratégia para mitigação dos efeitos de déficit hídrico é o desenvolvimento de cultivares tolerantes. No entanto, o uso de bioestimulantes tem se tornado promissor (Galvão et al., 2019). Os bioestimulantes visam estimular o crescimento da planta de modo que os efeitos de estresse hídrico sejam minimizados. Nesse sentido, os reguladores de crescimento, os quais irão atuar no crescimento das plantas, podem ser utilizados como bioestimulantes.

É consagrado os efeitos benéficos de cultivos de milho (Oliveira et., 2016), soja (Martynenko et al., 2016), laranja (Spann e Little, 2011) e feijão (Petropoulos et al., 2019) com o uso de bioestimulantes, que atuam modulando as respostas fisiológicas da planta a estresses abióticos (Bulgari et al., 2015; De Pascale et al., 2017; Mataffo et al., 2020; Rouphael e Colla, 2020; Yakhin et

al., 2017). Dentre os efeitos benéficos dos bioestimulantes, pode-se citar aumento da capacidade de retenção de água do solo, do crescimento radicular, da absorção de água e nutrientes (Bulgari et al., 2015; Van Oosten et al., 2017; Ziosi et al., 2012).

Baseando-se na hipótese que bioestimulantes vegetais podem atenuar os efeitos da deficiência hídrica nas plantas, o objetivo do presente estudo foi verificar o crescimento e os componentes de produção de duas cultivares de feijão comum, IAC Imperador e IPR Campos Gerais (tolerante à seca), sob regimes hídricos e presença e ausência do bioestimulante Stimulate® em dois anos consecutivos.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A cultura do feijão

O feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) pertence à família Fabaceae. Entre as leguminosas, o feijão comum desempenha importante papel na dieta humana (Yonts et al., 2018). Seus grãos apresentam elevadas quantidades de proteína, lisina (Pedó et al., 2018), fibras, carboidratos e minerais (Hummel et al., 2018; Ramirez-Cabral et al., 2016). A importância socioeconômica para a cultura em diversos países se dá como principal fonte de proteína vegetal na alimentação humana (Mondo e Nascente, 2018; Souza et al., 2016).

O feijão comum é uma das leguminosas de maior importância no sistema alimentar da África e da América Latina (Hummel et al., 2018; Ramirez-Cabral et al., 2016), devido ao seu cultivo nos trópicos e possibilidade de consumo das folhas verdes, vagens verdes, sementes maduras ou imaturas, além da palha para forragem para consumo animal (Broughton et al., 2003; De Luque e Creamer, 2014). Ainda, essa leguminosa é base da alimentação em países da Ásia e América Latina (Souza e Wander, 2014).

O feijoeiro é uma cultura considerada versátil devido à sua adaptação à diversos ambientes (Magalhães et al., 2017) e possui grande potencial para garantir a segurança alimentar (Wafula et al., 2020). O Mianmar é o maior

produtor mundial de feijão seguido pela índia e Brasil (FAO, 2019). A estimativa de produtividade para o Brasil na safra 2020/21 é em média de 1.465 kg ha^{-1} (CONAB, 2021).

A produção de feijão no Brasil é realizada em três épocas. A semeadura da primeira safra ocorre nos meses de agosto a dezembro, chamada de “safra das águas”, devido à semeadura ser realizada no período chuvoso. A segunda safra é semeada de janeiro a abril ou “safra da seca”. A terceira safra semeada de maio a julho, também conhecida como “feijão de inverno”. A produção da primeira safra em 2020/21 foi de 1.012 mil toneladas. Para a segunda e terceira safra a produção estimada é de 1.153 e 775 mil toneladas, respectivamente (CONAB, 2021).

O ciclo do feijoeiro pode variar de 70 a 110 dias a depender de características da cultivar e da região. As cultivares de feijão comum apresentam hábitos de crescimento distintos, conforme Vilhordo et al. (1996) e Singh (1981) (Tabela 1).

Tabela 1. Hábitos de crescimento do feijoeiro.

Hábito de crescimento	Descrição
Tipo I	Porte ereto e crescimento determinado
Tipo II	Crescimento indeterminado, com ramificação ereta e fechada
Tipo III	Crescimento indeterminado, com ramificação aberta
Tipo IV	Trepador

Condições ambientais não favoráveis ao desenvolvimento do feijoeiro, como déficit hídrico, altas temperaturas e baixa luminosidade, são limitantes à divisão e alongamento celular, além de causar decréscimo do acúmulo de matéria seca nos grãos (Fageria et al., 2006) e decréscimo na produtividade (Beebe et al., 2013; Ramirez-Cabral et al., 2016).

O melhor desenvolvimento do feijoeiro ocorre em temperaturas entre 20 a 35°C (Asfaw et al., 2017). Além disso, a produtividade do feijão comum é influenciada por luz, fotossíntese, doenças, pragas, plantas daninhas, nutrição mineral, condições ambientais e sementes (Mondo e Nascente, 2018).

O feijoeiro necessita de 300 a 600 mm de aporte hídrico durante seu ciclo de desenvolvimento (Asfaw et al., 2017) e a deficiência hídrica pode causar perdas de 10 a 90% na produtividade (Ambachew et al., 2015; Manjeru et al., 2007; Polania et al., 2016b). Estimativas indicam que mais de 50% da área de produção do feijoeiro comum é afetada por problemas de seca devido sua produção ser predominantemente em sequeiro (Beebe et al., 2013; Ramirez-Cabral et al., 2016).

Os efeitos do déficit hídrico são mais acentuados e danosos quando coincide com a fase de florescimento e enchimento das vagens (Mathobo et al., 2017). O estímulo floral excessivo, ocasionado pela seca, é controlado pela planta com o abortamento de grande parte das flores emitidas, afetando negativamente o número de vagens e o crescimento de grãos, diminuindo a produtividade (Nascimento et al., 2016).

Dessa forma, ressalta-se a importância de estudos em condições de déficit hídrico a fim de determinar a magnitude de estresse o qual o feijoeiro pode suportar sem que haja redução significativa de produtividade (Yonts et al., 2018).

2.2 Água na agricultura

É primordial o incremento da produção agrícola para atender à crescente demanda devido ao aumento progressivo da população global, com estimativa de 9,2 bilhões de habitantes em 2050 (FAO, 2009). O abastecimento hídrico é essencial para a agricultura e produção sustentável de alimentos. Mais de um bilhão da população mundial vivem em regiões de escassez hídrica, estimando-se uma população de 3,5 bilhões de pessoas em vulnerabilidade hídrica até o ano de 2025 (WRI, 2015).

A água é fator limitante para o melhor desempenho da produção agrícola. Para incremento da produtividade agrícola em climas quentes, necessita-se de estratégias e melhoria das práticas de irrigação (Lima et al., 2020). A agricultura irrigada é responsável por 40% da produção global de alimentos, com 20% das terras cultivadas (Kadiresan e Khanal, 2018). De acordo com a Agência Nacional de Águas (2021), a área total irrigada no Brasil

corresponde a 6,7 milhões de hectares, sendo 39,8% dessas áreas localizadas na região sudeste do país.

Desafios à agricultura irrigada são relatados, dentre eles a competição com o uso doméstico, indústria e geração de energia térmica, estimando-se redução de 14% na água de superfície disponível para irrigação em 2050 (OECD, 2012). Ainda, o consumo de água na irrigação é influenciado por diversos fatores, como condições climáticas. Nesse sentido, os recursos hídricos utilizados para a agricultura têm se tornado mais restritos mundialmente, necessitando de uso mais eficiente da água para produção agrícola (Yonts et al., 2018).

Segundo Frizzone (2007) existem duas estratégias para o planejamento da irrigação: suprir totalmente a necessidade hídrica da cultura; ou suprir parcialmente a demanda. O manejo inadequado dos recursos hídricos para irrigação é um atenuante na escassez hídrica de lavouras. Dessa forma, o uso racional dos recursos hídricos destinados à irrigação acarreta redução de perdas por escoamento, percolação, entre outros (Souza et al., 2016).

A adoção de técnicas racionais de manejo conservacionista da água é de fundamental importância para a sustentabilidade, de tal forma que se possa, economicamente, manter ao longo do tempo esses recursos com quantidade e qualidade suficientes para a manutenção de níveis satisfatórios de produtividade (Wutke et al., 2000).

A irrigação inadequada causa desperdício dos recursos hídricos e pode prejudicar a produtividade. Portanto, é necessário o estudo de parâmetros que indiquem a eficiência do uso da água e a produtividade da água de irrigação. A eficiência do uso da água pode ser definida pela razão entre a evapotranspiração da cultura e a quantidade de água fornecida pela irrigação e precipitação (Heydari, 2014), podendo indicar a melhoria da produtividade em condições de escassez hídrica (Mashilo et al., 2017). Já a produtividade da água de irrigação é a relação entre a produção e o volume de irrigação aplicado (Fernández et al., 2020; Zhao et al., 2020).

O auxílio da irrigação é essencial para o desenvolvimento dos cultivos agrícolas, principalmente, quando cultivados em períodos de escassez chuvosa, permitindo à planta expressar seu potencial produtivo (Costa et al., 2016). A água corresponde a cerca de 70% da massa verde e atua no

transporte de solutos e gases, na penetração do sistema radicular, na abertura e fechamento dos estômatos, além de ser responsável pela estrutura das folhas (Silva Júnior, 2015). A falta ou excesso de água pode acarretar situações de estresse para a planta.

A ocorrência frequente de secas tem efeitos na produtividade das leguminosas (Nemeskéri et al., 2018), causando efeitos de redução de biomassa da parte aérea, da vagem (Wakrim et al., 2005) e do índice de área foliar (Tangolar et al., 2015). Estima-se que a escassez hídrica afete cerca de 60% das áreas de produção de feijão comum no mundo (Beebe et al., 2013).

Além do mais, o cultivo agrícola associado à irrigação permite a absorção de todos os nutrientes necessários para o melhor desenvolvimento da planta (Dalri et al., 2008).

2.3 Bioestimulante

O bioestimulante é um produto composto por substância natural podendo ser aplicado diretamente nas plantas, sementes e solo. Tem como finalidade o incremento na produção, melhora na qualidade das sementes, estímulo ao desenvolvimento radicular. Atua no equilíbrio hormonal da planta, promove rapidez e uniformidade na germinação, atua no desenvolvimento vegetal e estímulo da divisão celular (MAPA, 2020).

Substâncias húmicas, produtos com hormônios e produtos com aminoácidos (Kauffman et al., 2007) são considerados bioestimulantes.

Não há uma definição legal a respeito de bioestimulantes no mundo (Du Jardin, 2015). O termo bioestimulantes tem sido utilizado para descrever substâncias promotoras do crescimento em plantas (Du Jardin, 2015). Du Jardin (2015) cita que a definição de bioestimulante deve ter como foco suas funções agrícolas e não a natureza da sua composição nem o modo de ação. Yakhin et al. (2017) atribui essa discrepância com relação à definição de bioestimulantes à composição de bioestimulantes não ser apenas de um componente, mas de muitos componentes em um produto, indicando que a resposta ao bioestimulante resulta de uma interação desses componentes.

Os bioestimulantes atuam na regulação e/ou modificação dos processos fisiológicos das plantas visando estímulo do crescimento, minimizar as limitações de efeitos de estresses e aumento de produtividade da cultura (Yakhin et al., 2017). Nesse sentido, os reguladores de crescimento vegetal são compostos sintéticos ou biorreguladores aplicados em baixas concentrações que podem ter efeitos benéficos ao crescimento e desenvolvimento da planta (Rademacher, 2015). Os mesmos são utilizados em escala comercial como estratégia no incremento da produtividade de diversas culturas, como algodão (Mao et al., 2015), milho (Gao et al., 2017) e trigo (Wang et al., 2015).

Os reguladores de crescimento desempenham papel importante no desenvolvimento das plantas, podendo regular respostas das plantas aos estresses abióticos (Khan et al., 2020). Pesquisas mostram que a utilização de reguladores de crescimento em plantas pode regular de forma positiva as enzimas que atuam na biossíntese da clorofila e melhorar o sistema antioxidante a fim de retardar a degradação dos pigmentos fotossintéticos, aumentando o teor de clorofila na folha e, por fim, incremento da taxa fotossintética da planta (Zhang et al., 2016; Zhang et al., 2018).

A aplicação de hormônios vegetais (auxina, citocinina, giberelina, etileno e ácido abscísico) pode promover efeitos na uniformização da germinação, controle do desenvolvimento vegetativo, fixação de flores e frutos, antecipar ou atrasar a frutificação, auxiliar na absorção de água e nutrientes (Rodrigues et al., 2015) e em estádios iniciais do desenvolvimento da planta podem contribuir para maior resistência a pragas, doenças e nematoides (Frasca et al., 2020).

Segundo Cassilas (1986), a utilização de fitormônios é eficiente quando aplicados em baixas doses, pois favorecem o bom desempenho dos processos vitais da planta, possibilitando melhores colheitas e, em condições ambientais adversas, garantem rendimentos satisfatórios.

Dentre os principais hormônios constituintes dos bioestimulantes comerciais, encontram-se as auxinas, citocininas e giberelinas (Bontempo et al., 2016). As auxinas atuam na regulação do crescimento, promovem enraizamento dos primórdios radiculares (Almeida e Rodrigues, 2016), estimulam a mobilização de carboidratos das folhas e ápice do caule e promovem a translocação de assimilados para órgãos de drenagem (Chu et al.,

2010; Scarpella, 2017). O principal representante dessa classe de hormônio é o ácido indol-3-acético (AIA), porém o ácido 4-indol-3-ilbutírico (IBA) é uma auxina mais estável (Coles e Toit, 2020; Rout, 2006).

A citocinina é fundamental para a divisão celular (Santos et al., 2017). Dessa forma, aplicações exógenas desse hormônio podem atrasar a senescência foliar, pois, também, participa da regulação de auxinas e açúcares e manutenção da fotossíntese (Shwartz, 2016).

A aplicação exógena de giberelinas é uma alternativa ao incremento da produção de cultivos agrícolas, pois tem efeitos na arquitetura das plantas (Teixeira et al., 2015). A giberelina é obtida de forma sintética como ácido giberélico (GA3) (Carraher Junior et al., 2010). O ácido giberélico é uma das giberelinas mais usadas na manipulação do crescimento de plantas, pois promove o crescimento do caule e estimula a expansão e divisão celular (Taiz e Zeiger, 2017; Weiss e Ori, 2007). As giberelinas atuam durante todo o ciclo, dessa forma a aplicação de GA3 associada à produção natural pelas plantas (Taiz e Zeiger, 2017), multiplica o potencial da ação fisiológica do referido hormônio (Teixeira et al., 2015).

A auxina, giberelina e citocinia retardam o processo de senescência, nesse sentido, durante o desenvolvimento da folha, esses hormônios possuem menor atividade, diferentemente do etileno e ácido abscísico que aceleram o processo de senescência (Chen e Dong, 2016).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Descrição da área experimental

Os experimentos foram conduzidos durante dois anos agrícolas nas safras de inverno do feijoeiro, 2019/2020 e 2020/2021 na área experimental de irrigação, localizada na Fazenda Experimental da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Unesp, Jaboticabal, SP (21°14’44” S, 48°17’00” W, 545 m). Conforme a classificação de Köppen (1923), o clima da região do estudo é definido como Aw, que indica tropical chuvoso, muito quente. Os dados

climatológicos para os períodos em que os experimentos foram conduzidos encontram-se na Figura 1. O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho eutrófico (EMBRAPA, 2013) (Tabela 2). Na área experimental fora cultivado milho, havendo aproximadamente 7.622 e 9.052 kg ha^{-1} de palhada nos anos de 2019 e 2020, respectivamente.

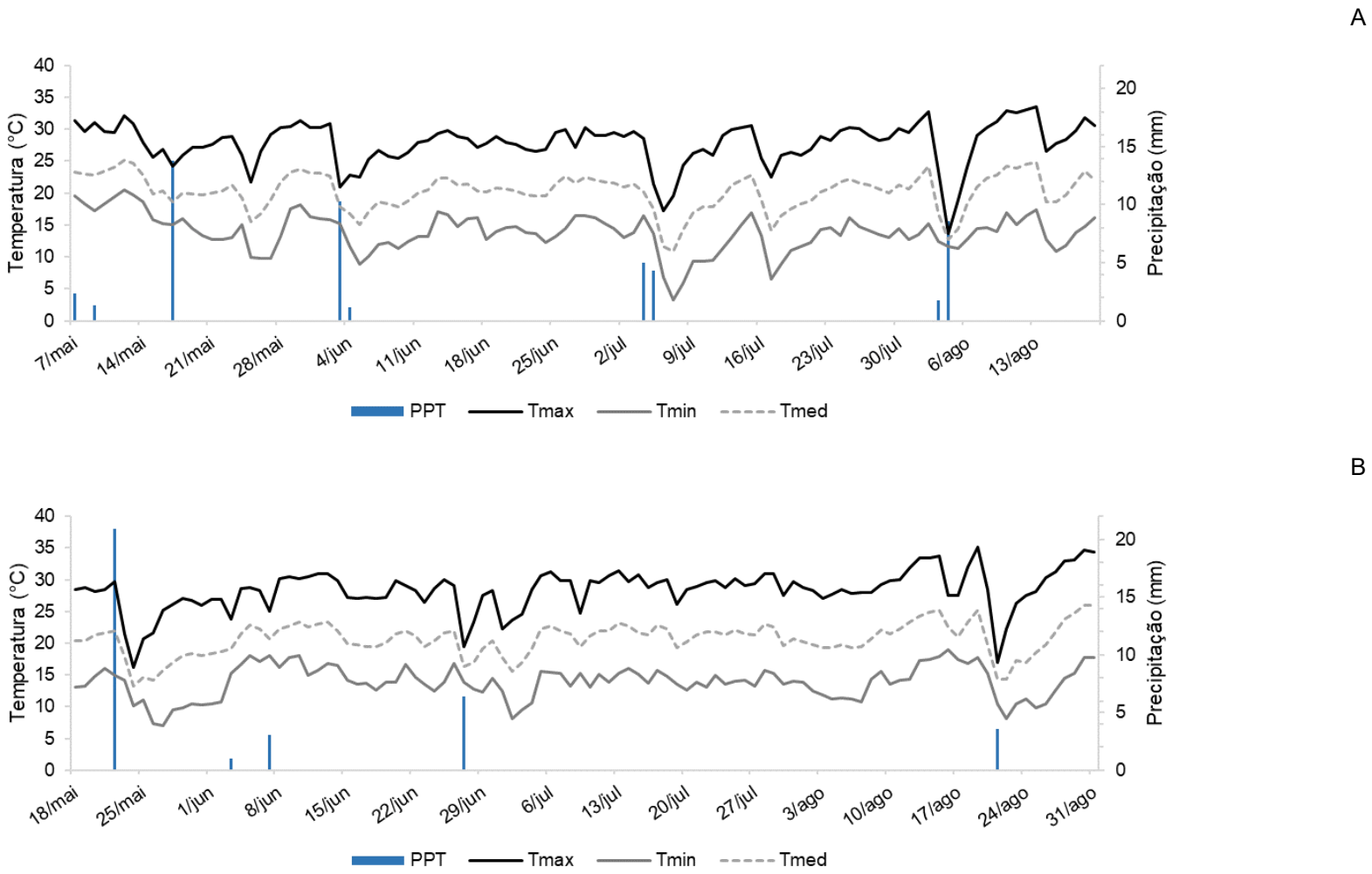


Figura 1. Temperatura do ar e precipitação durante o ciclo de cultivo do feijoeiro comum. PPT: precipitação (mm); Tmax: temperatura máxima (°C); Tmin: temperatura mínima (°C); Tmed: temperatura média (°C); A: 2019; B: 2020.

Tabela 2. Análise granulométrica, densidade do solo e características químicas iniciais do solo da área experimental.

Camada (m)	g kg^{-1}			ρ_S (g cm^{-3})	Θ_{CC} (m³ m^{-3})	θ_{PMP} (m³ m^{-3})
	Argila	Areia Total	Silte			
0 – 0,2	492,0	229,0	279,0	1,33	0,36	0,17
0,2 – 0,4	536,0	198,0	266,0	1,24	0,33	0,17

2019

Camada	pH	MO	K	Ca	Mg	H+Al	Al	SB	T	V	P	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
(m)	CaCl2	g dm^{-3}	mmol$_c$ dm^{-3}							%		mg dm^{-3}					
0 – 0,2	5,7	25,0	5,7	47,0	12,0	26,0	0,0	64,7	91	71	59,0	8,0	0,77	6,6	31,0	47,3	3,5
0,2 – 0,4	5,7	21,0	5,7	39,0	10,0	26,0	0,0	53,7	80	67	32,0	13,0	0,56	6,2	24,0	34,4	2,0

2020

Camada	pH	MO	K	Ca	Mg	H+Al	Al	SB	T	V	P	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
(m)	CaCl2	g dm^{-3}	mmol$_c$ dm^{-3}							%		mg dm^{-3}					
0 – 0,2	5,9	24,0	5,1	50,0	14,0	25,0	0,0	69,1	94	74	66,0	5,0	0,46	4,5	16,0	25,8	3,2
0,2 – 0,4	5,5	19,0	5,2	33,0	10,0	28,0	0,0	48,2	76	63	49,0	7,0	0,39	4,4	11,0	24,5	1,6

ρ_S: densidade do solo; Θ_{CC}: umidade volumétrica na capacidade de campo; θ_{PMP}: umidade volumétrica no ponto de murcha permanente; MO: matéria orgânica; SB: soma de bases; T: capacidade de troca de cátions a pH 7,0; V: saturação por bases do solo.

3.2 Delineamento experimental

O delineamento experimental adotado foi em blocos ao acaso, em esquema fatorial (2x2x5), com quatro repetições, sendo dois anos agrícolas (2019 e 2020), presença e ausência de bioestimulante (Stimulate ®) e cinco regimes hídricos (63,3, 73,8, 84,0, 108,8 e 133,9% da evapotranspiração da cultura). Cada parcela foi composta de sete linhas espaçadas à 0,45 m, com 2 m de comprimento.

O efeito dos anos, bioestimulante e regimes hídricos foram avaliados em duas cultivares de feijão comum, IAC Imperador e IPR Campos Gerais. A primeira possui ciclo precoce, aproximadamente 75 dias, e hábito de crescimento determinado. Já a segunda é de ciclo normal, com aproximadamente 88 dias da emergência à maturação, hábito de crescimento indeterminado tipo II e tolerante à seca.

O bioestimulante utilizado foi o Stimulate®, composto por cinetina (0,09 g L^{-1}), ácido giberélico (0,05 g L^{-1}), ácido 4-indol-3ilbutírico (0,05 g L^{-1}). O produto foi aplicado nos estádios V4 e R6 com auxílio de pulverizador costal. A dose aplicada foi de 500 mL ha^{-1}, conforme recomendação do fabricante. No momento da aplicação do bioestimulante, o mesmo foi misturado com adjuvante Blend® na dose de 50 mL ha^{-1}. O adjuvante tem como objetivo principal objetivo a redução da deriva (Piovesan et al. 2019), atuando na viscosidade e tensão superficial (Cunha et al., 2020).

3.2.1 Irrigação

A irrigação do experimento foi realizada por aspersão convencional, com aspersores Senninger Modelo 4023-2 e bocais ¾''M 08Qx05 espaçados em 6 m. As linhas localizavam-se no centro da área de cada cultivar, de modo que as unidades experimentais foram dispostas perpendicularmente à linha de irrigação em quatro blocos (Hanks et al., 1976). Anteriormente à instalação do experimento, realizou-se o teste de uniformidade na área experimental, a fim de determinar o volume de água de cada manejo de irrigação (L1, L2, L3, L4 e

L5). A água de irrigação aplicada foi distribuída uniformemente paralela ao aspersor e a aplicação de água diminuiu gradualmente conforme distância da linha de aspersão. Os regimes hídricos foram definidos após o teste de uniformidade (Figura 2), sendo apresentados na Tabela 3.

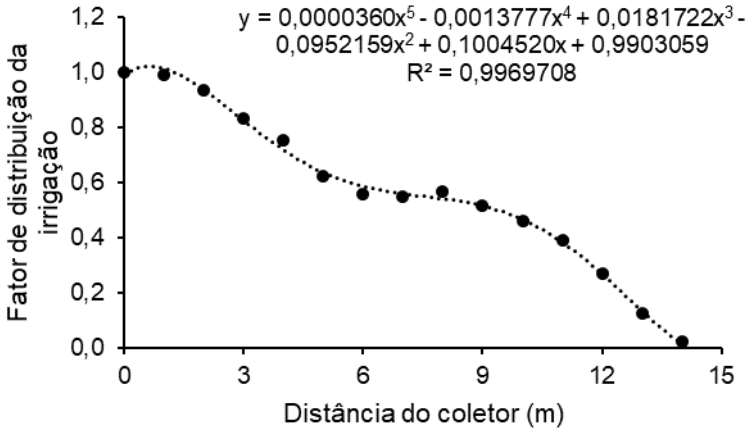


Figura 2. Frações de distribuição de irrigação por aspersão em função da distância da linha de irrigação.

Tabela 3. Lâminas (mm) aplicada nos regimes hídricos adotados.

Manejo de irrigação	% ETc	IAC Imperador		IPR Campos Gerais	
		2019	2020	2019	2020
L1	63,3	163,94	212,52	191,16	246,70
L2	73,8	182,84	238,98	214,57	278,83
L3	84,0	201,20	264,68	237,32	310,04
L4	108,8	245,84	327,18	292,62	385,93
L5	133,9	291,02	390,43	348,60	462,73

% ETc: porcentagem de reposição da evapotranspiração da cultura.

O manejo da irrigação foi realizado a partir dos dados climatológicos fornecidos pela Estação Agroclimatológica da Unesp/FCAV. De posse dos dados foi calculada a evapotranspiração da cultura (ETc) de acordo com o método FAO 56. A evapotranspiração de referência (ETo) foi estimada diariamente pelo método de Penman-Monteith (Allen et al., 1998). De posse da ETo e do coeficiente da cultura (kc) (Allen et al., 1998), a ETc foi estimada por meio da Equação 1. Os valores de kc interpolados utilizados foram de 0,40 (0 a

10% de cobertura do solo), de 0,40 a 1,15 (entre 10 e 80% de cobertura do solo), 1,15 (80 a 100% de cobertura do solo) e entre 1,15 e 0,35 (maturação).

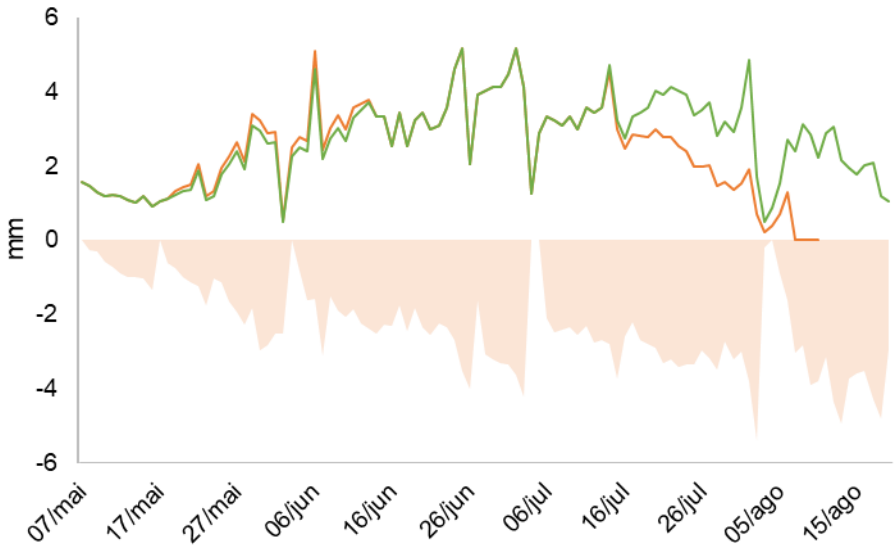
$$ET_C = ET_0 . Kc \quad (1)$$

ET_C = evapotranspiração da cultura, mm dia^{-1};

ET_0 = evapotranspiração de referência, mm dia^{-1};

Kc = coeficiente da cultura, admensional.

A



B

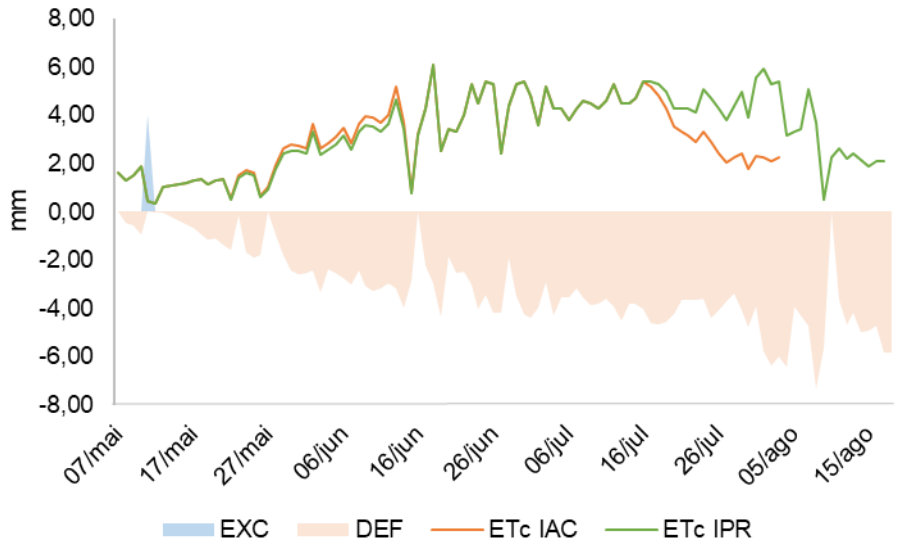


Figura 3. Evapotranspiração da cultura (ETc) diária para as duas cultivares de feijão comum nos anos de 2019 (A) e 2020 (B). DEF: deficiência hídrica; EXC: excedente hídrico.

A irrigação foi realizada quando o déficit acumulado era igual a 18 mm. O volume de déficit foi determinado em função dos atributos do solo () e da cultura do feijão comum, com profundidade efetiva de raízes de 0,25 m e fator de disponibilidade de água de 40% (Allen et al., 1998).

3.3 Condução do experimento

As semeaduras foram realizadas nos dias 07/05/2019 e 18/05/2020. A população e densidade de semeadura foi igual para as duas cultivares, sendo adotada doze sementes por metro, a fim de obter uma população de 240.000 plantas ha^{-1}, o espaçamento entre linhas adotado foi de 0,45 m. No tratamento de sementes para a semeadura foi utilizado Standak Top® e StarFix Feijão® (*Rhizobium tropici*), conforme recomendado pelos respectivos fabricantes. A adubação de semeadura foi realizada conforme análise de solo (Tabela 2) e recomendação de Ambrosano et al. (1997), com aplicação de 200 kg ha^{-1} da formulação comercial de NPK 4-20-20. A adubação de cobertura foi realizada em V4 com 222 kg ha^{-1} de ureia.

3.4 Avaliações fitotécnicas e componentes de produção da cultura

3.4.1 Área foliar (AF)

As avaliações de área foliar foram realizadas nos estádios fenológicos R6 e R8. Foram coletadas três plantas de cada parcela, essas plantas foram levadas ao laboratório e seccionada. Posteriormente todas as folhas foram colocadas individualmente no medidor de área foliar da marca LI-COR modelo LI-3100C, e os resultados expressos em cm².

3.4.2 Massa seca (MS)

Foram realizadas coletas em quatro estádios fenológicos do feijoeiro (V4, R6, R8 e colheita). Coletou-se três plantas de cada parcela, com exceção na colheita em que foram coletadas cinco plantas. O material vegetal foi armazenado em sacos de papel e posteriormente levados à estufa a 65° C até massa constante, após, a massa foi aferida em balança.

3.4.3 População final de plantas (PF)

Para esta avaliação foram contadas no momento da colheita as plantas presentes em duas linhas de cada parcela. Os valores encontrados foram extrapolados para número de plantas ha^{-1}.

3.4.4 Produtividade e componentes de produção

Foram coletadas cinco plantas de cada parcela na colheita para avaliar: altura de plantas (ALT), número de vagens por planta (NV/PL), número de grãos por planta (NG/PL), número de grãos por vagem (NG/V) e massa de cem

grãos (100G). A altura média de plantas foi determinada pela aferição, com auxílio de régua graduada, da distância entre a superfície do solo e o final do caule da planta.

O número de vagens por planta foi determinado contando-se todas as vagens, após contagem o número total de vagens foi dividido pelo número de plantas. Assim como o número de grãos por planta foi realizada a contagem do total de grãos e dividiu-se pelo total de plantas. O número de grãos por vagem foi determinado pela razão entre o número total de grãos e o número total de vagens.

A produtividade (PROD) foi determinada pela colheita de três linhas de cada parcela, as mesmas foram pesadas (g) e a massa extrapolada para kg ha^{-1}. A partir dessa amostra colhida, determinou-se também a massa de cem grãos de cada parcela, os mesmos foram levados à estufa a 65°C até massa constante para determinar a umidade de colheita das amostras e realizar a correção para a umidade de colheita do feijão, de 13%.

3.5 Produtividade da água

A produtividade da água (PA) foi determinada por meio da razão entre a produtividade e o volume hídrico aplicado pela irrigação em cada tratamento (Equação 2) (Rodrigues e Pereira, 2009).

$$PA = \frac{Produtividade\ (kg\ ha^{-1})}{Água\ de\ irrigação\ (m^3\ ha^{-1})} \quad (2)$$

$PA =$ produtividade da água, kg m^{-3}.

3.6 Análise estatística dos dados

As cultivares foram avaliadas separadamente. A priori realizou-se a análise descritiva dos dados (Apêndice B). A normalidade foi verificada por meio dos coeficientes de assimetria e curtose. Valores maiores que 2 e menores que -2 representam grande desvio da distribuição normal dos

dados, portanto a hipótese de normalidade desses dados é desconsiderada (Montgomery, 2004).

Após a verificação da normalidade dos dados foi realizada a análise de variância (ANOVA) e quando significativos as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade para os fatores qualitativos e análise de regressão para fatores quantitativos, utilizando o programa estatístico AgroEstat (Barbosa e Maldonado Júnior, 2015).

Posteriormente à análise de variância, fez-se uso de métodos estatísticos multivariados, sendo eles a análise de agrupamento e análise de componentes principais (ACP). As análises foram realizadas após padronização das variáveis com média zero e variância um e com auxílio do software Statistica 7.

A análise de agrupamento foi utilizada com o objetivo de discriminar os tratamentos que apresentavam maior similaridade. Para tanto, utilizou-se o Método de Ward (Ward, 1963) calculado pela distância Euclideana. Mudanças expressivas na distância Euclideana entre os tratamentos, tornou possível relacionar a formação de grupos com componentes semelhantes.

Após, foi determinada a matriz de correlação das variáveis (Apêndice D). Em seguida, utilizou-se da análise de componentes principais (ACP), a qual visa descrever a variação dos dados em índices, que por sua vez, são originados de combinações lineares das variáveis (Manly, 2004). Essa análise foi realizada com intuito de condensar a quantidade de informações (Hair et al., 2005), mantendo as tendências e padrões (Kaiser, 1958), contidas nas variáveis estudadas. Os componentes os quais os autovalores são maiores que a unidade são considerados (Kaiser, 1958) (Apêndice D). Além de identificar quais variáveis apresentaram maior influência no comportamento do feijoeiro comum cultivado em dois anos agrícolas submetidos à regimes hídricos e aplicação de bioestimulante. Apenas coeficientes de correlação maiores ou iguais a 0,60 foram considerados na interpretação.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 IAC Imperador

Não houve interação significativa entre o fator bioestimulante e regime hídrico para todas as características avaliadas (Tabela 4), indicando que não há efeitos do bioestimulante com a variação do volume hídrico disponível para a planta. Ainda, pode-se inferir que a aplicação de bioestimulante não atenuou efeitos de déficit hídrico no feijoeiro comum. Em trabalho realizado por Galvão et al. (2019) avaliando a utilização de bioestimulante em feijoeiro comum sob déficit hídrico, os autores também não observaram efeito significativo do acúmulo de biomassa e produtividade. Os autores atribuem esse fato a fatores variáveis com relação a aplicação do bioestimulante, como a forma de aplicação, as características do produto utilizado, a concentração e as doses.

Tabela 4. Análise de variância para as variáveis de crescimento do feijoeiro comum cultivar IAC Imperador para os fatores ano agrícola, aplicação de bioestimulante e regimes hídricos.

Causas de variação		MS V4	MS R6	MS R8	MS F	AF R6	AF R8
Ano	2019	2,62 b	8,44 b	17,16 b	28,07	1446,32	1529,55
	2020	3,55 a	13,67 a	27,31 a	32,43	1947,56	1941,59
Bioest	COM	3,26 a	11,36	21,91	29,25	1707,35	1696,61
	SEM	2,91 b	10,75	22,56	31,25	1686,53	1774,53
RH	63,3	2,74	10,39	18,99	26,91	1476,21	1392,83
	73,8	3,08	10,21	19,63	28,34	1516,27	1361,08
	84,0	3,14	11,50	21,34	31,26	1738,29	1811,72
	108,8	3,23	11,72	25,22	32,01	1882,24	1928,27
	133,9	3,25	11,44	26,00	32,73	1871,69	2186,95
Teste F	Ano	42,11*	83,52*	64,75*	8,69*	34,69*	19,12*
	Bioest	5,57*	1,14 ^{ns}	0,26 ^{ns}	1,81 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,68 ^{ns}
	RH	1,70 ^{ns}	1,19 ^{ns}	5,18*	2,29 ^{ns}	4,09*	11,30*
	AxB	0,78 ^{ns}	2,83 ^{ns}	0,16 ^{ns}	2,29 ^{ns}	4,09*	0,59 ^{ns}
	AxRH	1,22 ^{ns}	0,53 ^{ns}	2,39 ^{ns}	5,22*	0,76 ^{ns}	5,80*
	BxRH	0,86 ^{ns}	0,80 ^{ns}	0,99 ^{ns}	0,52 ^{ns}	0,37 ^{ns}	0,23 ^{ns}
	AxBxRH	2,18 ^{ns}	0,38 ^{ns}	1,24 ^{ns}	0,11 ^{ns}	0,45 ^{ns}	0,67 ^{ns}

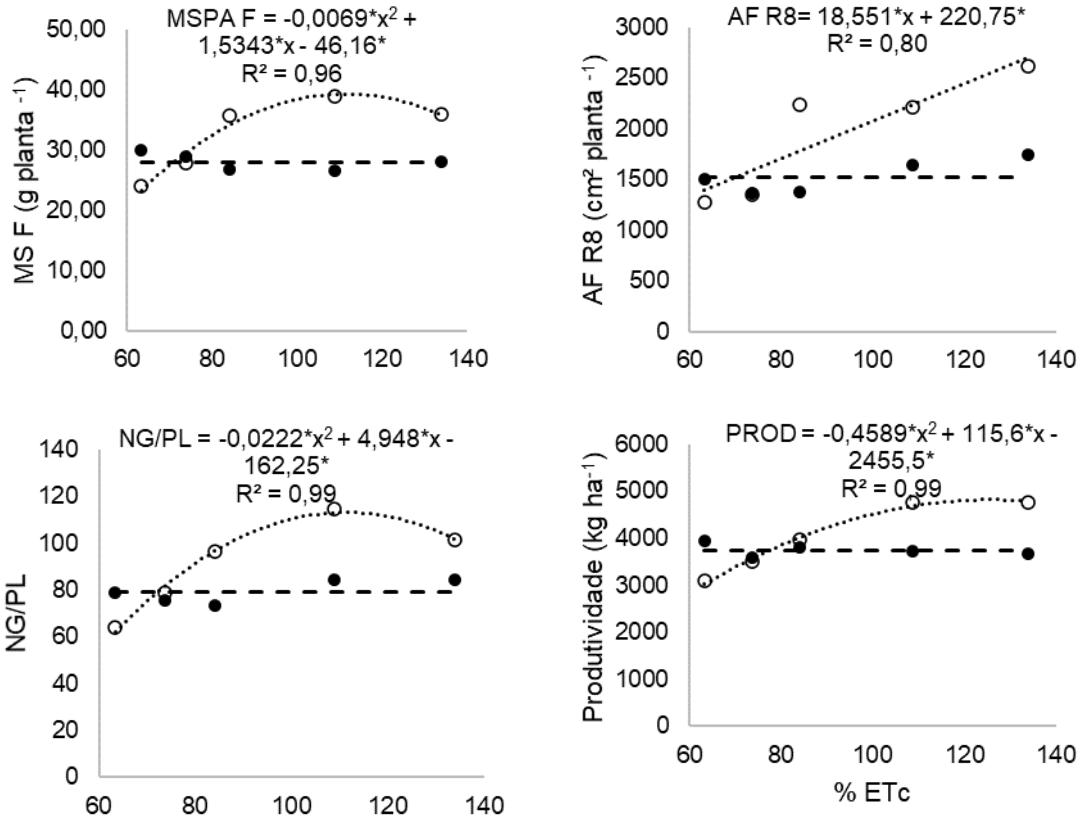
Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5%; *: siginificativo pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade ($p<0,05$); ^{NS}: não significativo ao nível de 5% de probabilidade; Bioest: bioestimulante; RH: regime hídrico; MS V4: massa seca em V4 (g planta $^{-1}$); MS R6: massa seca em R6 (g planta $^{-1}$); MS R8: massa seca em R8 (g planta $^{-1}$); MS F: massa seca final (g planta $^{-1}$); AF R6: área foliar em R6 (cm²); AF R8: área foliar em R8 (cm²).

Tabela 5. Análise de variância para as variáveis coletadas ao final do ciclo de cultivo do feijoeiro comum cultivar IAC Imperador para os fatores ano agrícola, aplicação de bioestimulante e regimes hídricos.

Causas de variação		PF (x10³)	ALT	NV/PL	NG/PL	NG/V	100G	PROD	PA
Ano	2019	231,67 b	0,54 b	19,30 b	79,29	4,12	27,09	3752,09	1,81
	2020	256,25 a	0,57 a	22,18 a	21,05	4,09	22,83	4020,13	1,42
Bioest	COM	238,61 b	0,54 b	20,77	82,92	3,99 b	25,03	3762,78	1,56 b
	SEM	249,31 a	0,57 a	20,71	87,43	4,23 a	24,90	4009,43	1,67 a
RH	63,3	255,21	0,50	19,14	71,52	3,73	25,95	3516,53	1,93
	73,8	243,06	0,52	20,10	77,29	3,91	25,21	3548,36	1,72
	84,0	239,93	0,56	20,55	84,94	4,10	24,75	3888,72	1,70
	108,8	244,79	0,58	20,86	92,73	4,32	24,37	4251,44	1,49
	133,9	236,81	0,60	23,04	99,39	4,47	24,54	4225,47	1,24
Teste F	Ano	38,26*	5,60*	7,42*	6,57*	0,12 ^{ns}	624,11*	4,12*	51,03*
	Bioest	7,24*	10,30*	0,00 ^{ns}	0,97 ^{ns}	7,35*	0,53 ^{ns}	3,48 ^{ns}	4,14*
	RH	2,47 ^{ns}	11,54*	1,49 ^{ns}	4,83*	9,47*	11,14*	5,72*	18,09*
	AxB	1,17 ^{ns}	0,29 ^{ns}	0,46 ^{ns}	0,18 ^{ns}	0,58 ^{ns}	6,53*	0,37 ^{ns}	0,32 ^{ns}
	AxRH	1,72 ^{ns}	1,70 ^{ns}	1,56 ^{ns}	3,15*	2,40 ^{ns}	1,54 ^{ns}	7,61*	9,40*
	BxRH	0,94 ^{ns}	0,73 ^{ns}	0,62 ^{ns}	0,70 ^{ns}	0,85 ^{ns}	0,83 ^{ns}	1,02 ^{ns}	1,16 ^{ns}
	AxBxRH	0,55 ^{ns}	0,54 ^{ns}	0,15 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,70 ^{ns}	2,87*	1,13 ^{ns}	0,57 ^{ns}

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5%; *: siginificativo pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade ($p<0,05$); ^{NS}: não significativo ao nível de 5% de probabilidade; Bioest: bioestimulante; RH: regime hídrico; PF: população final de plantas (pl ha^{-1}); ALT: altura (m); NV/PL: número de vagens por planta; NG/PL: número de grãos por planta; NG/V: número de grãos por vagem; 100G: massa de cem grãos (g); PROD: produtividade (kg ha^{-1}); PA: produtividade da água (kg m^{-3}).

As variáveis MS F, AF R8, NG/PL, produtividade e produtividade da água apresentaram interação entre o fator ano e regime hídrico. Em 2019 não houve curva de regressão significativa (Figura 4), à exceção para produtividade da água. Nesse caso, a melhor representação para os dados é a curva da média. Na ausência de um modelo não linear específico, recomenda-se o uso de modelos mais simples (Manolov, 2018; Parker e Vannest, 2009). Ainda, pode-se justificar o ocorrido devido aos fatores climáticos do referido ano, pois em 2019 houve queda das temperaturas ocorrendo geada durante a condução do experimento. Fato que pode ter impedido a observação de efeitos no referido ano.



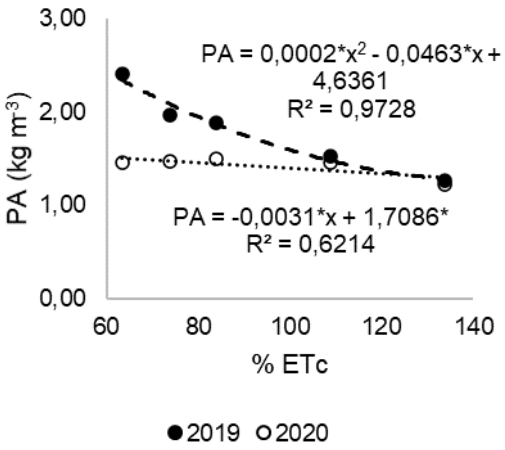


Figura 4. Massa seca (MS F), área foliar (AF R8), componentes de produção (NG/PL e produtividade) e produtividade da água (PA) do feijoeiro comum IAC Imperador sob efeito de regimes hídricos em dois anos consecutivos (2019 e 2020). *: significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste T de Student; % ETc: porcentagem de reposição da evapotranspiração.

Em 2020, as variáveis MS F, AF R8, NG/PL e produtividade apresentaram respostas linear e quadrática. O máximo acúmulo de massa seca e número de grãos ocorre entre 100 e 120% de reposição da evapotranspiração, acima dessa faixa observa-se redução nas variáveis, indicando que o excesso de água não é benéfico, além de onerar os custos de produção.

A área foliar em R8, aumentou 58% em maior reposição da ETc. A água é essencial aos processos fotossintéticos da planta e para a absorção de nutrientes. Dessa forma, em condições de déficit hídrico podem ocorrer efeitos deletérios às funções fisiológicas da planta como senescência foliar acelerada, danos ao mecanismo fotossintético e desenvolvimento reduzido dos grãos (Asch et al., 2005; Farooq et al., 2009). Outros efeitos do estresse hídrico são o aborto de flores, queda de vagens, redução da fixação biológica de nitrogênio e do rendimento de grãos (Asfaw e Blair, 2012; Polania et al., 2016a). Ainda, o aumento de área foliar em maior aporte hídrico pode ser justificado devido à regimes de maior volume hídrico proporcionar maior dossel, mais denso com folhas maiores e mais fotossinteticamente ativas (Ninou et al., 2013).

A produtividade aumenta à medida em que se tem maior volume hídrico disponível para a planta. A redução da disponibilidade hídrica acarreta perdas

na produtividade devido à limitação do processo fotossintético, em decorrência do fechamento estomático, que tem efeito direto na transpiração, fotossíntese e temperatura foliar. O crescimento e a produção da planta dependem do desenvolvimento da área foliar, da eficiência fotossintética das folhas, dentre outros fatores (Gardner, 1985). Dessa forma o desenvolvimento da parte aérea da planta deve indicar a capacidade de crescimento e rendimento da cultura (Sun et al., 2018). Maior área foliar acarreta maior acúmulo de massa seca e por sua vez, melhor desempenho dos componentes de produção (Pedó et al., 2018).

A variável produtividade da água apresentou resposta quadrática e linear para os anos de 2019 e 2020, respectivamente (Figura 4). O maior regime hídrico (133,9% ETc) proporcionou as menores produtividades da água, com redução de, aproximadamente, 47 e 16% para os anos de 2019 e 2020, respectivamente. Dessa forma, o manejo da irrigação em déficit hídrico para o feijoeiro comum IAC Imperador acarreta benefícios com relação ao uso da água e sustentabilidade desse recurso. A irrigação por déficit hídrico é uma estratégia para reduzir o consumo de água e aumentar a produtividade e eficiência do uso da água (Chai et al., 2016; Ding et al., 2020). Ainda, aumentar a produtividade da água é fundamental para maximizar a produção de alimentos com menor volume hídrico (Desoky et al., 2021).

As variáveis área foliar em R6 e massa de cem grãos apresentaram interação entre a aplicação do bioestimulante e anos agrícolas (Tabela 6). A aplicação do bioestimulante não interferiu no aumento de área foliar. Porém, com relação aos anos houve acréscimo, em média, de 26% em 2020. Esse fato pode ser justificado devido aos fatores climáticos (Figura 1). O principal fator que pode ter influenciado para a menor área foliar em 2019 foi a queda de temperatura no mês de julho com ocorrência de geada, entre os estádios R5 e R6, a qual causou 10% de folhas queimadas. Badaruddin e Meyer (2001) afirmam que baixas temperaturas possuem efeito deletério à produção de leguminosas. Após o dano causado por baixas temperaturas, o feijoeiro comum não volta a crescer (Souter et al., 2017).

Tabela 6. Área foliar (AF R6) e massa de cem grãos (100G) do feijoeiro comum IAC Imperador sob efeito do bioestimulante (com ou sem) em dois anos consecutivos (2019 e 2020).

	AF R6 (cm² planta $^{-1}$)		100G (g)	
	Bioestimulante			
Ano	Com	Sem	Com	Sem
2019	1368,70 bA	1523,94 bA	27,37 aA	26,81 aB
2020	2046,00 aA	1849,12 aA	22,68 bA	22,99 bA

Médias seguidas de letras minúsculas iguais nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p<0,05$).

Apesar do aumento de área foliar observado em 2020, indicando maior captação de luz e por sua vez maior massa de grãos, foi observado massa 15,7% superior em 2019. Esse fato pode ser justificado pelo equilíbrio entre fonte e dreno, no qual o aumento do número de vagens reduz a quantidade de fotoassimilados distribuídos para o grão (Leal et al., 2019). De fato, observou-se aumento de 13% no número de vagens quando se comparou os anos agrícolas (Tabela 4).

Ainda, houve aumento de 2% na massa de grãos em 2019 com aplicação de bioestimulante. O produto contém hormônios vegetais, como a citocinina, a qual está relacionada ao desenvolvimento da planta. Esse hormônio também desempenha papel em resposta à estresses abiótico e biótico, de forma que há redução da divisão celular para regular a resposta ao estresse, e posterior aumento da divisão celular, levando a condições de adaptabilidade da planta (Ahres et al., 2021; Prerostova et al., 2021). Fato que pode estar relacionado à ocorrência de geada no referido ano.

As variáveis MS R8, AF R6, NG/V e altura apresentaram resposta linear positiva (Figura 4) para o fator regime hídrico, indicando que a medida em que houve aumento do regime hídrico ocorreu acréscimo para as variáveis de 27, 21, 17 e 17%, respectivamente.

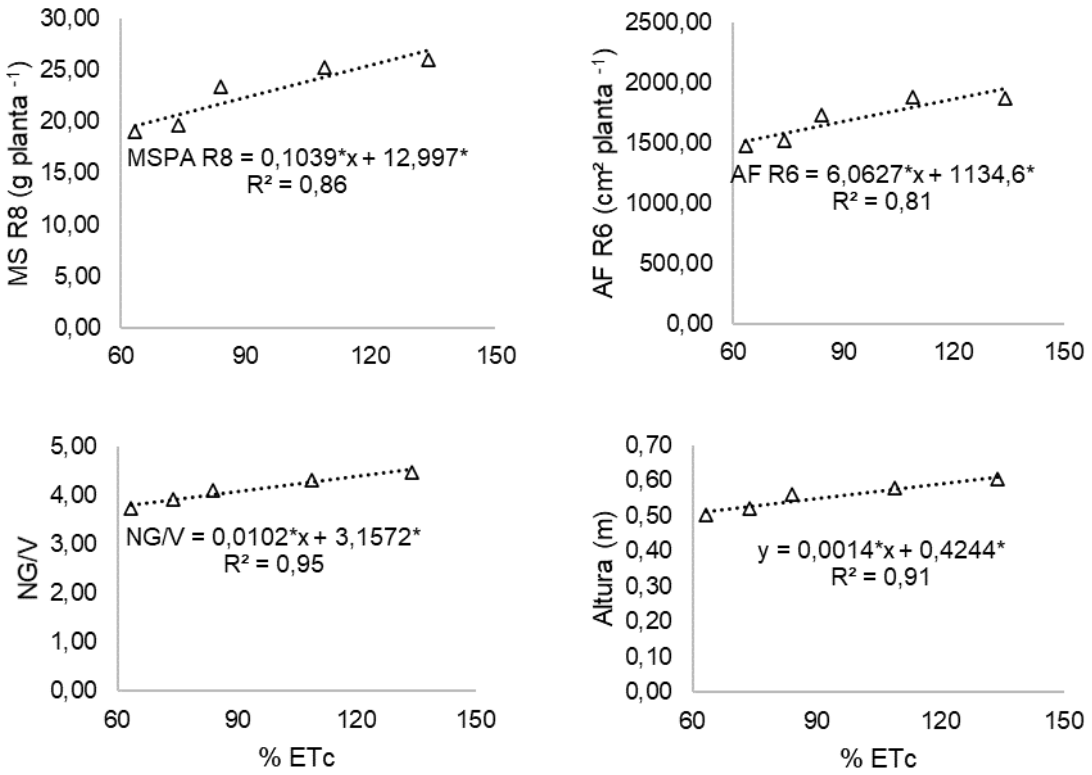


Figura 5. Massa seca (MS R8), área foliar (AF R6), número de grãos por vagem (NG/V) e altura do feijoeiro comum IAC Imperador sob efeito de regimes hídricos. *: significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste T de Student; % ETc: porcentagem de reposição da evapotranspiração.

A redução do crescimento da planta, observado pelas variáveis MSPA R8, AF R6 e altura em resposta aos regimes hídricos com menor reposição da ETc, pode ser justificada devido à diminuição do turgor da célula, a qual está diretamente relacionada à expansão celular (Padilha et al., 2016). Ainda, Mathobo et al. (2017) e Soureshjani et al. (2019), observaram redução da área foliar em feijoeiro comum em situação de déficit hídrico. Esse fato ocorre devido à uma estratégia da planta para reduzir a área de transpiração e, dessa forma, reduzir a perda de água para o ambiente (Galvão et al., 2019). A baixa disponibilidade hídrica pode afetar as atividades fisiológicas e metabólicas das plantas, causando mudanças morfológicas principalmente no que diz respeito ao crescimento (Chai et al., 2016).

O componente de produção número de grãos por vagem, assim como as demais variáveis, mostrou crescimento a medida em que se aumentou o volume hídrico disponível à planta. O estádio fenológico R6 corresponde à

abertura do botão floral. Nesse momento a ocorrência de déficit hídrico reduz os parâmetros de produção. Essa redução nos parâmetros de produção é decorrente do aborto floral, pois plantas sob estresse reduzem o metabolismo fotossintético e acúmulo de fotoassimilados (Galvão et al., 2019).

Apenas cinco das variáveis estudadas apresentaram diferença com relação à aplicação do bioestimulante no feijoeiro comum (MS V4, PF, ALT, NG/V e PA) (Tabela 4). Houve acréscimo de 10% em MSPA V4, quando ocorreu aplicação do bioestimulante. O bioestimulante utilizado no presente estudo é composto por fitormônios, cinetina (citocinina), ácido giberélico (GA3) (giberelina) e ácido 4-indol-3-ilbutírico (auxina). As citocininas, giberelinas e auxinas regem o crescimento da planta, atuando no alongamento e divisão celular, promovendo o crescimento. Esses hormônios também podem ser chamados de reguladores positivos de crescimento com base em suas respostas às condições de estresse (Ahres et al., 2021).

As variáveis população final, altura de plantas e número de grãos por vagem mostraram redução de aproximadamente 5% quando houve aplicação do bioestimulante. Indicando que o bioestimulante não tem efeito sobre os componentes de produção do feijoeiro comum IAC Imperador.

Uma hipótese para que tenha ocorrido redução na população final de plantas nos tratamentos em que houve aplicação do produto é a morte de plantas. Em milho, o mesmo produto aplicado no presente estudo também apresentou diferença na população final de plantas quanto a sua utilização (Lima et al., 2020). A população de plantas tem grande influência na produtividade, pois a disposição das plantas interfere na absorção de luz, nutrientes e água (Kaggwa-Asiimwe et al., 2013).

De acordo com pesquisas, a utilização de reguladores do crescimento em plantas como a soja, pode causar redução do porte e acamamento da cultura (Foloni et al., 2016). No amendoim também se relata redução na altura de plantas com a utilização de reguladores do crescimento (Souza et al., 2018).

O número de grãos por vagem é característica intrínseca a cultivar, porém pode ser afetado por grandes variações ambientais (Galvão et al., 2019). O aumento de 5,7% em NG/V sem aplicação do bioestimulante, pode estar relacionado ao número de vagens na planta, pois o número de grãos por vagem foi determinado de forma indireta a partir da relação entre o número de

grãos da planta e o número total de vagens. Dessa forma, maior número de vagens acarreta menor número de grãos por vagem. Devido à composição do produto aplicado pode haver redução do aborto floral e, assim, haverá possível aumento no número de vagens por planta. Estudos citam que a aplicação exógena de citocinina evita o aborto floral (Atkins e Pigeaire, 1993; Carlson et al., 1987; Kambhampati et al., 2017; Nagel et al., 2001; Nonokawa et al., 2007).

A variável produtividade da água também apresentou melhor desempenho quando não houve aplicação do bioestimulante (Tabela 5). Esse fato pode estar relacionado à produtividade observada quando não há aplicação de bioestimulante, aproximadamente 4010 kg ha^{-1}.

Todas as variáveis que diferiram com relação ao ano agrícola obtiveram melhor desempenho em 2020 (Tabela 4). Essa diferença pode ser atribuída às diferenças climáticas anuais (Figura 1) e a ocorrência de geada já citada anteriormente. Os resultados indicam que as condições climáticas observadas no ano de 2020 foram mais favoráveis ao desenvolvimento do feijoeiro comum IAC Imperador, com temperaturas variando de 13,2 a 35,1°C e maior evapotranspiração da cultura.

No intuito de identificar quais variáveis foram mais expressivas para explicar o comportamento do feijoeiro comum IAC Imperador quando submetido à regimes hídricos e aplicação de bioestimulante em anos distintos, foi realizada análise multivariada. No presente estudo, observou-se a formação de dois grupos com auxílio da análise de agrupamento, sendo as variações da distância Euclideana de aproximadamente 30 (Figura 6).

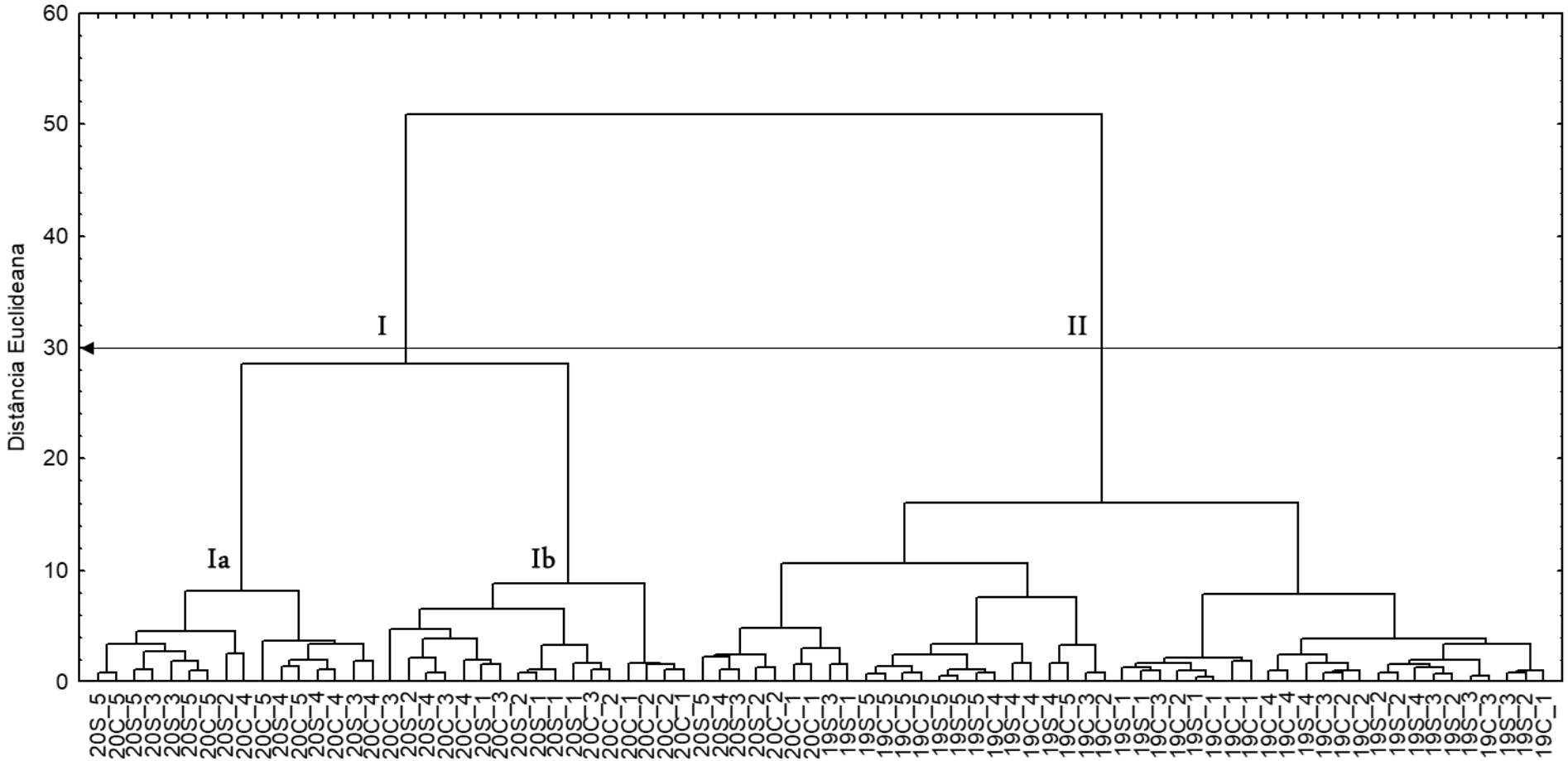


Figura 6. Dendrograma da análise de agrupamento hierárquico do feijoeiro comum IAC Imperador para os tratamentos avaliados sob os anos agrícolas, aplicação de bioestimulante e regimes hídricos.

O grupo I pode ser dividido em dois subgrupos (Ia e Ib). Os principais tratamentos agrupados no subgrupo Ia foram os correspondentes ao cultivo do feijoeiro em 2020 nos regimes hídricos de 108,8 e 133,9% da ETc, na presença e ausência do bioestimulante (20C_4, 20C_5 e 20S_5) (Apêndice A). Os resultados obtidos na análise de agrupamento podem indicar que a aplicação de bioestimulante não interfere no feijoeiro comum IAC Imperador quando há maior aporte hídrico, podendo representar um custo a mais na produção. Esse resultado pode ser justificado pela análise de variância, em que não foi verificada interação entre bioestimulante e regime hídrico (Tabela 4). De outro modo, o subgrupo Ib foi representado, principalmente pelos tratamentos de menor regime hídrico, com reposições da ETc menores que 100%.

O grupo II foi representado, principalmente, pelos tratamentos do ano de 2019 (Figura 6). Esse resultado pode ser explicado devido às condições climáticas, como temperaturas mínimas mais baixas e menor evapotranspiração da cultura.

A variância acumulada do primeiro e segundo componentes principais explicaram 75,41% da variância total (Tabela 7). A variância de cada variável e o sinal representa a relação entre as variáveis (Habibi, 2011). O poder discriminatório de cada variável dentro do componente principal pode ser determinado por meio dos coeficientes de correlação linear entre cada variável e o componente principal (Carvalho et al., 2018).

Tabela 7. Coeficientes de correlação, autovetores, variância explicada e autovalores entre as variáveis de crescimento e componentes de produção do feijoeiro comum IAC Imperador e os dois primeiros componentes principais.

Fatores	CP 1		CP 2	
	Correlação	Autovetor	Correlação	Autovetor
MS R6	0,82	0,43	-0,32	-0,25
MS R8	0,82	0,43	0,27	0,21
AF R6	0,83	0,44	-0,08	-0,06
AF R8	0,71	0,37	0,49	0,38
100G	-0,82	-0,43	0,22	0,17
PROD	0,35	0,19	0,84	0,66
PA	-0,53	-0,28	0,68	0,53
Variância acumulada (%)	51,59		75,41	

Para o CP 1 as variáveis que apresentaram maior coeficiente de correlação foram MS R6 (0,82), MS R8 (0,82), AF R6 (0,83), AF R8 (0,71) e 100G (-0,82) (Tabela 7). A massa de cem grãos é inversamente relacionada às demais variáveis, localizada à esquerda do gráfico biplot (Figura 7), indicando que o CP 1 representa o desenvolvimento vegetativo do feijoeiro comum. O feijoeiro pode priorizar seu desenvolvimento vegetativo em detrimento da translocação de fotoassimilados para os grãos e incremento da produtividade. O déficit hídrico durante o período de floração pode induzir a queda das flores e causar crescimento vegetativo compensatório mais vigoroso (Teran et al., 2019).

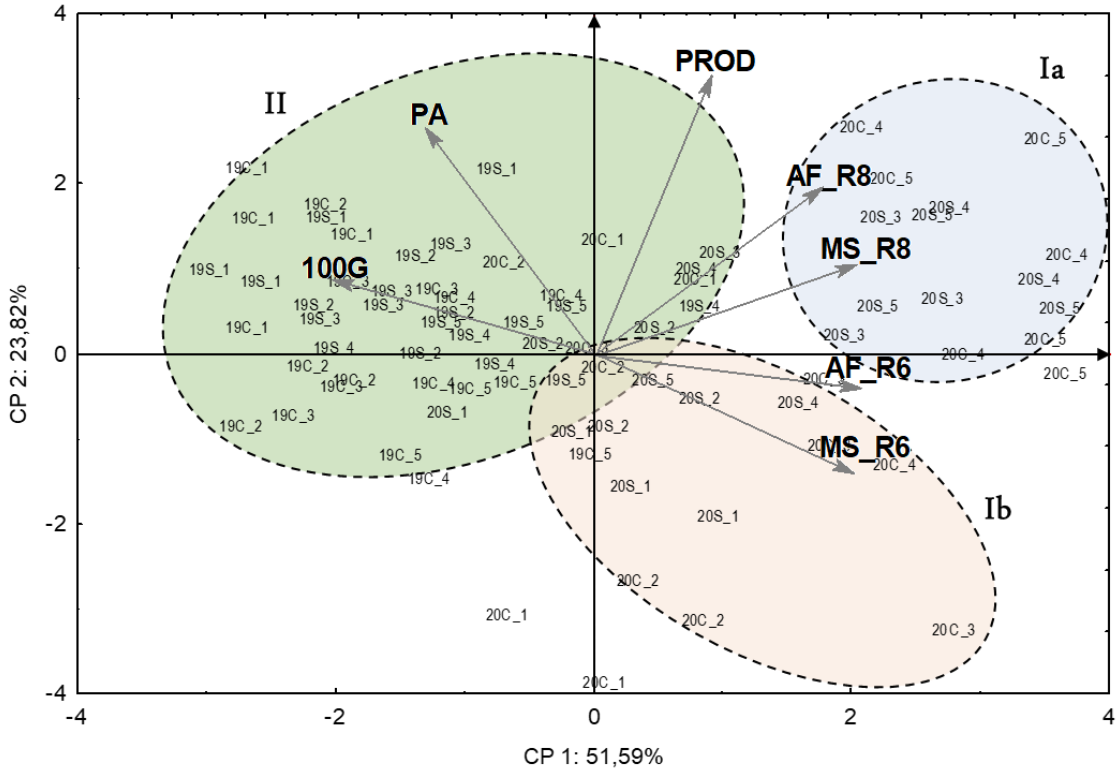


Figura 7. Gráfico biplot dos dois primeiros componentes principais (CP 1 e CP 2) do feijoeiro comum IAC Imperador com todas as observações dos tratamentos avaliados. 100G: massa de cem grãos; PA: produtividade da água; PROD: produtividade; AF_R8: área foliar em R8; MS_R8: massa seca em R8; AF_R6: área foliar em R6; MS_R6: massa seca em R6.

Com o auxílio do gráfico biplot (Figura 7) pode-se observar que o grupo I está localizado mais à direita do gráfico. Assim como as variáveis MS R6, MS R8, AF R6 e AF R8, indicando que essas variáveis foram mais expressivas para o ano de 2020, assim como pode-se observar na análise de variância (Tabela 4).

As variáveis com maior coeficiente de correlação para o CP 2 foram PROD (0,84) e PA (0,68), ambas relacionadas à produtividade do feijoeiro comum. Observa-se no gráfico biplot (Figura 7), que o subgrupo Ia encontra-se mais acima comparado ao subgrupo Ib. Esse fato pode ser justificado devido tratamentos com déficit hídrico no feijoeiro comum, apresentarem decréscimo em sua produtividade, assim como mostram as curvas de regressão para as variáveis PROD e PA (Figura 4). Ainda, indica que o CP 2 representa a produtividade do feijoeiro comum com resposta ao aporte hídrico.

O estresse hídrico pode reduzir de 20 a 90% sua produção, podendo chegar em 100% de perda (Ambachew et al., 2015). Essa redução pode ser justificada, pois em déficit hídrico há ocorrência de aborto floral, queda de vagens, redução do enchimento de grãos, menor peso de grãos e menor rendimento de sementes (Asfaw e Blair, 2014; Beebe et al., 2013; Mukeshimana et al., 2014).

4.2 IPR Campos Gerais

Não houve interação significativa entre bioestimulante e regime hídrico, assim como para o fator ano e regime hídrico (Tabela 8). Esse fato pode ser justificado devido a cultivar IPR Campos Gerais ser tolerante à seca, portanto o produto aplicado no presente estudo não atenua os efeitos do déficit hídrico, já que a cultivar já possui essa característica. A utilização de cultivares de feijoeiro comum tolerantes ao estresse hídrico é uma estratégia para reduzir os efeitos na cultura (Darkwa et al., 2016; Heineman et al., 2016).

Tabela 8. Análise de variância para as variáveis de crescimento do feijoeiro comum cultivar IPR Campos Gerais para os fatores ano agrícola, aplicação de bioestimulante e regimes hídricos.

Causas de variação		MS V4	MS R6	MS R8	MS F	AF R6	AF R8
Ano	2019	2,26	8,65	15,93	45,00 a	1722,37	2003,76
	2020	2,47	15,53	29,87	35,81 b	2362,44	2201,18
Bioest	COM	2,53 a	13,45	24,32	40,42	2219,11	2041,29
	SEM	2,20 b	10,74	21,49	40,39	1865,71	2163,64
RH	63,3	2,31	11,77	21,81	39,57	1959,19	1947,00
	73,8	2,64	12,09	22,33	38,45	1978,27	1928,97
	84,0	2,37	11,99	23,68	39,80	2149,52	1960,33
	108,8	2,24	12,35	22,70	40,62	2042,69	2297,20
	133,9	2,26	12,26	23,99	43,59	2082,37	2378,85
Teste F	Ano	2,54 ^{ns}	79,43*	169,36*	23,18*	27,43*	1,65 ^{ns}
	Bioest	6,63*	12,28*	6,96*	0,00 ^{ns}	8,36*	0,63 ^{ns}
	RH	1,25 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,59 ^{ns}	0,83 ^{ns}	0,32 ^{ns}	1,60 ^{ns}
	AxB	2,19 ^{ns}	7,87*	8,05*	0,71 ^{ns}	7,91*	4,04*
	AxRH	1,55 ^{ns}	0,57 ^{ns}	1,66 ^{ns}	1,74 ^{ns}	0,36 ^{ns}	1,06 ^{ns}
	BxRH	1,02 ^{ns}	0,24 ^{ns}	0,60 ^{ns}	0,26 ^{ns}	0,29 ^{ns}	0,59 ^{ns}
	AxBxRH	1,25 ^{ns}	0,06 ^{ns}	1,45 ^{ns}	0,86 ^{ns}	0,31 ^{ns}	0,41 ^{ns}

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5%; *: siginificativo pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade ($p<0,05$); ^{NS}: não significativo ao nível de 5% de probabilidade; Bioest: bioestimulante; RH: regime hídrico; MS V4: massa seca em V4 (g planta $^{-1}$); MS R6: massa seca em R6 (g planta $^{-1}$); MS R8: massa seca em R8 (g planta $^{-1}$); MS F: massa seca final (g planta $^{-1}$); AF R6: área foliar em R6 (cm²); AF R8: área foliar em R8 (cm²).

Tabela 9. Análise de variância para as variáveis coletadas ao final do ciclo de cultivo do feijoeiro comum cultivar IPR Campos Gerais para os fatores ano agrícola, aplicação de bioestimulante e regimes hídricos.

Causas de variação		PF (x10³)	ALT	NV/PL	NG/PL	NG/V	100G	PROD	PA
Ano	2019	209,07 b	0,69 b	24,71	101,99 a	4,19 a	27,01 a	3725,39a	1,52
	2020	238,89 a	0,87 a	23,84	86,13 b	3,61 b	22,32 b	3059,37b	0,93
Bioest	COM	223,10	0,80	24,15	95,88	4,00 a	24,56	3478,64	1,25
	SEM	224,86	0,76	24,40	92,24	3,80 b	24,78	3306,12	1,20
RH	63,3	232,87	0,74	24,56	93,90	3,84	24,44	3287,60	1,56
	73,8	227,89	0,75	22,70	86,87	3,90	24,29	3452,60	1,39
	84,0	213,19	0,78	23,86	91,68	3,86	24,32	3272,82	1,23
	108,8	224,31	0,82	23,74	96,24	4,07	24,89	3536,42	1,09
	133,9	221,64	0,81	26,50	101,62	3,83	25,38	341247	0,86
Teste F	Ano	31,41*	100,27*	0,57 ^{ns}	14,44*	31,15*	274,95*	27,20*	174,38*
	Bioest	0,11 ^{ns}	3,24 ^{ns}	0,04 ^{ns}	0,76 ^{ns}	4,58*	0,60 ^{ns}	1,83 ^{ns}	1,05 ^{ns}
	RH	1,53 ^{ns}	2,88*	1,19 ^{ns}	1,37 ^{ns}	0,90 ^{ns}	2,20 ^{ns}	0,61 ^{ns}	29,37*
	AxB	1,05 ^{ns}	3,20 ^{ns}	0,86 ^{ns}	0,16 ^{ns}	0,52 ^{ns}	0,22 ^{ns}	0,11 ^{ns}	0,01 ^{ns}
	AxRH	0,52 ^{ns}	2,11 ^{ns}	0,91 ^{ns}	1,83 ^{ns}	0,59 ^{ns}	1,49 ^{ns}	2,04 ^{ns}	4,56*
	BxRH	0,43 ^{ns}	0,26 ^{ns}	0,38 ^{ns}	0,45 ^{ns}	0,41 ^{ns}	0,67 ^{ns}	0,89 ^{ns}	0,46 ^{ns}
	AxBxRH	0,90 ^{ns}	0,86 ^{ns}	1,02 ^{ns}	1,19 ^{ns}	0,56 ^{ns}	0,88 ^{ns}	2,37 ^{ns}	1,43 ^{ns}

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5%; *: siginificativo pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade ($p<0,05$); ^{NS}: não significativo ao nível de 5% de probabilidade; Bioest: bioestimulante; RH: regime hídrico; PF: população final de plantas (pl ha^{-1}); ALT: altura (m); NV/PL: número de vagens por planta; NG/PL: número de grãos por planta; NG/V: número de grãos por vagem; 100G: massa de cem grãos (g); PROD: produtividade (kg ha^{-1}); PA: produtividade da água (kg m^{-3}).

A interação entre o fator ano agrícola e aplicação de bioestimulante diferiu para as variáveis massa seca e área foliar nos estádios R6 e R8. Em 2020 observou-se ao aumento médio de 40% para as variáveis citadas, indicando que o referido ano pode ter proporcionado melhores condições para o crescimento do feijoeiro (Figura 1). Ainda, a ocorrência de geada em 2019 ocasionou 12% de folhas queimadas, causando decréscimo nas variáveis citadas. O crescimento após estresses por baixas temperaturas depende conforme a temperatura atingida e o estádio de desenvolvimento do feijoeiro (Meyer e Badaruddin, 2001). Grandes amplitudes térmicas, podem causar altas variações de temperatura nas plantas, causando estresses de frio e calor durante a fase vegetativa (Zhou et al., 2018).

Tabela 10. Crescimento da parte aérea do feijoeiro comum IPR Campos Gerais sob efeito do bioestimulante (com ou sem) em dois anos consecutivos (2019 e 2020).

	MS R6		MS R8		AF R6		AF R8	
	Bioestimulante							
Ano	Com	Sem	Com	Sem	Com	Sem	Com	Sem
2019	8,92 bA	8,38 bA	15,83 bA	16,04 bA	1727,19 bA	1717,55 aA	1788,01 bA	2219,50 aA
2020	17,98 aA	13,10 aB	32,81 aA	26,94 aB	2711,02 aA	2013,87 aB	2294,58 aA	2107,78 aA

Médias seguidas de letras minúsculas iguais nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p<0,05$); MS R6: massa seca em R6 (g planta $^{-1}$); MS R8: massa seca em R8 (g planta $^{-1}$); AF R6: área foliar em R6 (cm² planta $^{-1}$); AF R8: área foliar em R8 (cm² planta $^{-1}$).

A maior área foliar observada em 2020, também justifica o aumento de massa seca da planta. Pois maior área foliar indica maior interceptação luminosa e maior acúmulo de fotoassimilados. Ainda, em 2020 com a aplicação de bioestimulante houve incremento médio de 24% para as variáveis MS R6, MS R8 e AF R6. Podendo indicar que em condições climáticas mais favoráveis ao desenvolvimento do feijoeiro o efeito do produto pode ser verificado, causando incremento no desenvolvimento vegetativo da planta. Os efeitos dos reguladores de crescimento vegetais variam com a cultura, condições climáticas, taxa e método de aplicação (Fang et al., 2019; Rademacher, 2015).

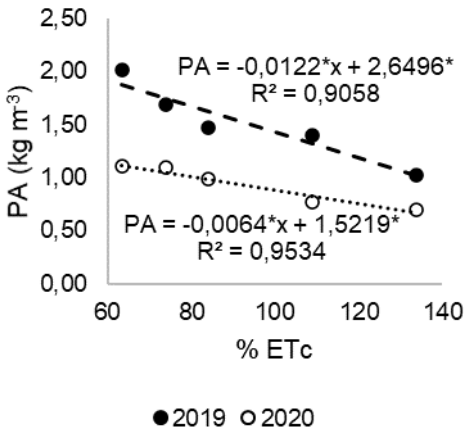


Figura 8. Produtividade da água (PA) do feijoeiro comum IPR Campos Gerais sob efeito de regimes hídricos em dois anos consecutivos (2019 e 2020). *: significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste T de Student; % ETc: porcentagem de reposição da evapotranspiração.

A produtividade da água apresentou resposta linear para os regimes hídricos nos anos de 2019 e 2020 (Figura 8). O aumento no volume de água ao longo do ciclo de desenvolvimento do feijoeiro comum IPR Campos Gerais causa redução na produtividade da água, sendo esse decréscimo de 49% em 2019 e de 36% em 2020. Maiores produtividades da água acarretam economia de recurso hídrico e reduzem a pressão em regiões de escassez hídrica (Fader et al., 2011).

Houve aumento de 13% em MS V4 e de 5% em NG/V com a aplicação do bioestimulante (Tabela 8). Esse fato está relacionado com a presença de fitormônios no produto, os quais promovem o crescimento das plantas, aumentando assim a massa seca da parte aérea. O número de grãos por vagem é característica intrínseca a cultivar, porém pode ser afetado por grandes variações ambientais (Galvão et al., 2019). Ainda, autores afirmam que o uso de hormônios como bioestimulante no feijoeiro comum pode aumentar o número de grãos por vagem (Dourado Neto et al., 2014).

Apenas população final de plantas e altura apresentaram melhor desempenho em 2020 (Tabela 8). A maior média de altura observada em 2020 pode ser justificada devido à maiores taxas de evapotranspiração da cultura e temperaturas superiores variando de 13,2 a 35,1°C. O feijoeiro suporta temperaturas entre 20 a 35°C (Asfaw et al., 2017). Assim como, a menor

população final de plantas em 2019, também pode ser explicada pelos fatores climáticos. A ocorrência de geada em 2019 pode ter provocado a morte de plantas.

Como ferramenta para identificar quais variáveis foram mais expressivas para explicar o comportamento do feijoeiro comum IPR Campos Gerais quando submetido à regimes hídricos e aplicação de bioestimulante em anos distintos, utilizou-se análise multivariada. No presente estudo, foi observada a formação de dois grupos com auxílio da análise de agrupamento, sendo as variações da distância Euclideana de aproximadamente 30 (Figura 9).

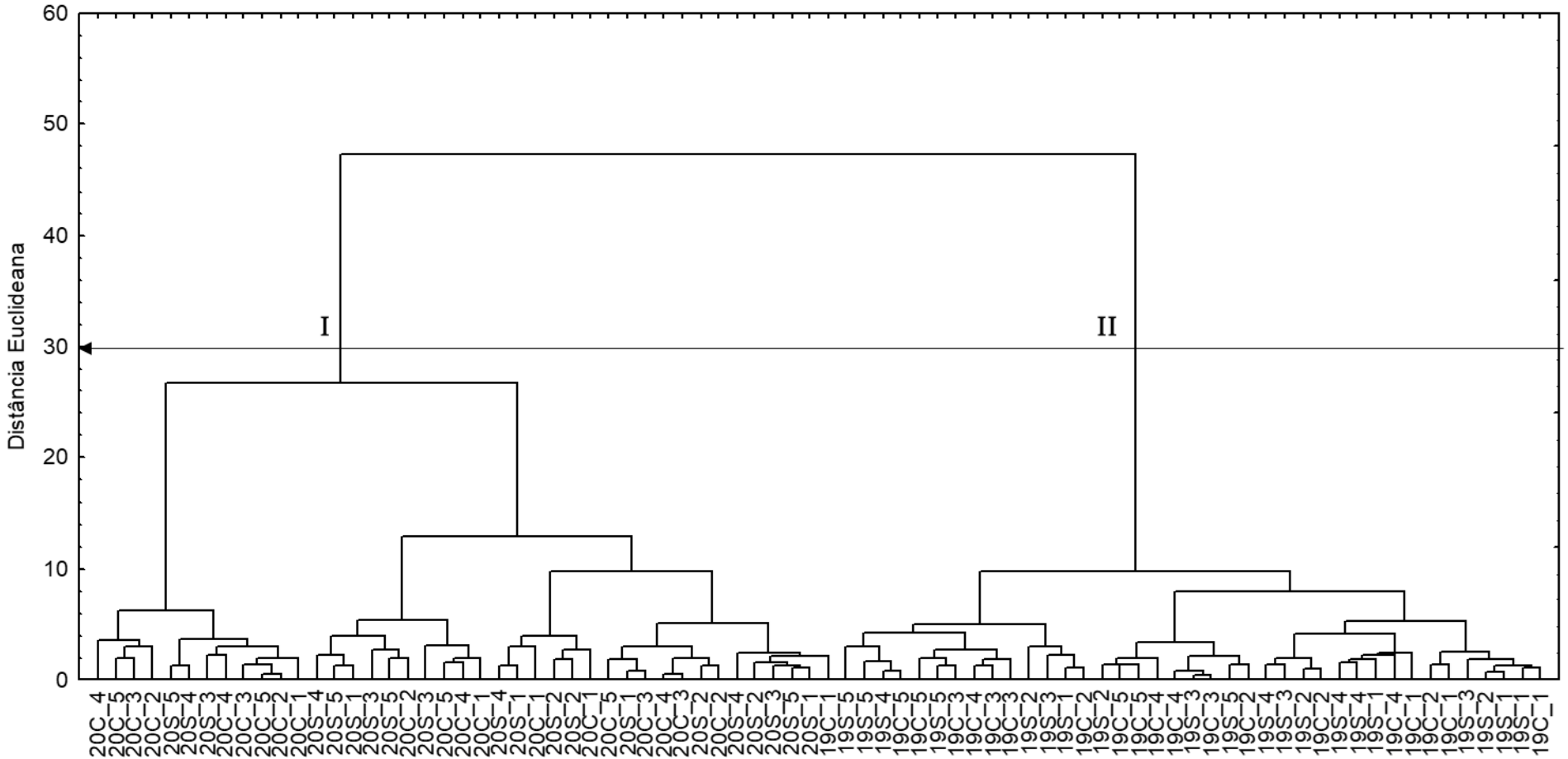


Figura 9. Dendrograma da análise de agrupamento hierárquico do feijoeiro comum IPR Campos Gerais para os tratamentos avaliados de acordo com o ano agrícola, aplicação de bioestimulante e regime hídrico.

O grupo I é representado pelos tratamentos do ano agrícola de 2020 e o grupo II pelos tratamentos de 2019. Dessa forma, a análise de agrupamento corrobora com a análise de variância (Tabela 8Tabela 9), a qual 86% das variáveis estudadas apresentaram diferença com relação ao ano agrícola.

A variância total explicada pelos dois primeiros componentes principais é de 64,34% (Tabela 11). As variáveis que apresentaram maior coeficiente de correlação para o CP 1 foram MS R6 (-0,92), AF R6 (-0,84) e 100G (0,80).

Tabela 11. Coeficientes de correlação, autovetores, variância explicada e autovalores entre as variáveis de crescimento e componentes de produção do feijoeiro comum cultivar IPR Campos Gerias e os dois primeiros componentes principais.

Fatores	CP1		CP2	
	Correlação	Autovetor	Correlação	Autovetor
MS V4	-0,50	-0,30	0,36	0,28
MS R6	-0,92	-0,55	0,19	0,14
MS F	0,30	0,18	0,69	0,53
AF R6	-0,84	-0,50	0,33	0,26
AF R8	-0,30	-0,18	0,60	0,47
100G	0,80	0,47	0,38	0,29
PROD	0,48	0,29	0,63	0,49
Variância acumulada (%)	40,90		64,34	

A partir da análise do gráfico biplot (Figura 10), nota-se que o CP 1 separa os tratamentos conforme o ano agrícola. Portanto, as variáveis MS R6, AF R6 e 100G estão relacionadas às condições ambientais para o cultivo do feijoeiro comum. Assim como foi observado na análise de variância em que as variáveis citadas apresentaram diferença para o fator ano (Tabela 8Tabela 9). As variáveis MS R6 e AF R6 estão correlacionadas de forma inversa a variável 100G, indicando que o maior desenvolvimento vegetativo acarretará menor massa de cem grãos. Isso pode estar relacionado à translocação de fotoassimilados para o crescimento da planta em detrimento do acúmulo no grão.

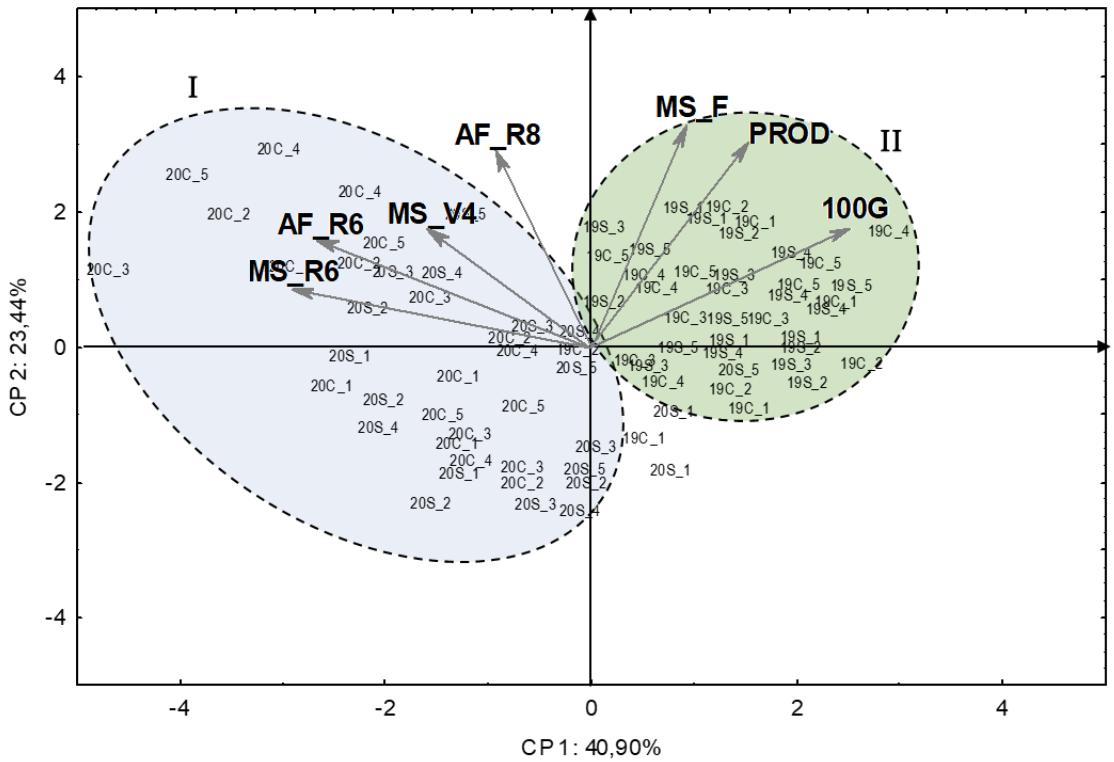


Figura 10. Gráfico biplot dos dois primeiros componentes principais (CP 1 e CP 2) da análise de componentes principais do feijoeiro comum IPR Campos Gerais com todas as observações dos tratamentos avaliados. MS_R6: massa seca em R6; AF_R6: área foliar em R6; MS_V4: massa seca em V4; AF_R8: área foliar em R8; MS_F: massa seca final; PROD: produtividade; 100G: massa de cem grãos.

Outro resultado importante que se pode tirar do gráfico biplot é a visualização da dispersão dos grupos, em que o grupo I encontra-se em lado oposto ao grupo II. Indicando que o grupo II tem melhores resultados para a variável 100G. Diferentemente do grupo I, o qual terá melhor desempenho para as variáveis MS R6 e AF R6, indicando, que em 2020 há maior desenvolvimento vegetativo em detrimento da produtividade.

Para o CP 2 as variáveis que mostraram maior correlação foram MS F (0,69), AF R8 (0,60) e PROD (0,63). As variáveis massa seca final e área foliar em R8 foram coletadas ao final do ciclo de desenvolvimento do feijoeiro comum, indicando de incremento em produtividade em decorrência do aumento dessas variáveis. Área foliar indica maiores taxas fotossintéticas e maior produção de fotoassimilados pela planta.

4.3 Considerações finais

O feijoeiro comum é suscetível às variações climáticas, nesse sentido torna-se indispensável avaliar seu comportamento diante à condições adversas para promover estratégias de incremento e minimização de perdas à produção agrícola.

Dessa forma, uma estratégia utilizada no presente estudo foi a aplicação de bioestimulante, o qual foi eficaz em promover crescimento vegetativo na cultivar IPR Campos Gerais, porém não obteve efeitos na cultivar IAC Imperador. Esse fato pode estar atrelado ao hábito de crescimento determinado e indeterminado tipo II das cultivares, respectivamente. Dessa forma, o produto pode promover o crescimento vegetativo em cultivares de crescimento indeterminado em condições climáticas favoráveis ao seu desenvolvimento.

A cultivar IAC Imperador respondeu positivamente à maior disponibilidade hídrica. O fato da cultivar IPR Campos Gerais não ter apresentado resposta quanto à variação dos regimes hídricos pode estar relacionada à tolerância à seca e adaptabilidade da cultivar.

5 CONCLUSÕES

- O bioestimulante não minimiza os efeitos do déficit hídrico nas duas cultivares de feijão comum.
- O aumento de disponibilidade hídrica para o feijão comum IAC Imperador acarreta aumento médio de 30% da massa seca, 27% de área foliar e 35% de produtividade. As variáveis citadas, massa seca e área foliar, explicam o desenvolvimento vegetativo do feijoeiro comum, indicando também, maior desenvolvimento vegetativo em 2020.
- A variação de regimes hídricos não interfere no desenvolvimento e produtividade do feijão comum IPR Campos Gerais.
- O bioestimulante proporciona aumento de 24% no crescimento vegetativo (MS R6, MS R8 e AF R6) no feijão comum IPR Campos

Gerais em condições climáticas de menor variação de temperatura e maiores taxas evapotranspiratórias.

- As condições climáticas em que o feijoeiro comum IPR Campos Gerais é cultivado afeta o desenvolvimento vegetativo no florescimento e a massa de grãos.
- O aumento de reposição da evapotranspiração acarreta menor produtividade da água nas duas cultivares. Sendo assim, o manejo da irrigação em déficit hídrico para o feijoeiro comum IAC Imperador e IPR Campos Gerais, reduz o consumo hídrico sem perdas à produtividade.

6 REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (2021) Atlas Irrigação: Uso da água na agricultura irrigada. Brasília: ANA. 66 p.

Ahres M, Pálmai T, Gierczik K, Dobrev P, Vanková R, Galiba G (2021) The impact of far-red light supplementation on hormonal responses to cold acclimation in barley. **Biomolecules** 11:450.

Allen RG, Pereira LS, Raes D, Smith M (1998) FAO Irrigation and Drainage Paper N° 56. Crop evapotranspiration. 326 p.

Almeida GM, Rodrigues JGL (2016) Desenvolvimento de plantas através da interferência de auxinas, citocininas, etileno e giberilinas. **Brazilian Journal of Applied Technology for Agricultural Science** 9:111-117.

Ambachew D, Mekbib F, Asfaw A, Beebe SE, Blair MW (2015) Trait associations in common bean genotypes grown under drought stress and field infestation by BSM bean fly. **The Crop Journal** 3:305–316.

Ambrosano EJ, Tanaka RT, Mascarenhas HAA (1997) Leguminosas e oleaginosas. Boletim Técnico nº 100. 2 ed. IAC: Campinas, SP, 285 p.

Asch F, Dingkuhnb M, Sow A, Audebert A (2005) Drought induced changes in root patterns and assimilate partitioning between root and shoot in upland rice. **Field Crops Research** 93:223-226.

Asfaw A, Ambachew D, Shah T, Blair MW (2017) Trait associations in diversity panels of the two common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) gene pools grown under well-watered and water-stress conditions. **Frontiers in Plant Science** 8:733.

Asfaw A, Blair MW (2014) Quantification of drought tolerance in Ethiopian common bean varieties. **Agricultural Sciences** 5:124–139.

Asfaw A, Blair MW (2012) Quantitative trait loci for rooting pattern traits of common beans grown under drought stress versus non stress conditions. **Molecular Breeding** 30:681–695.

Atkins C, Pigeaire A (1993) Application of cytokinins to flowers to increase pod set in *Lupinus angustifolius* L. **Australian Journal of Agricultural Research** 44:1799-1819.

Badaruddin M, Meyer DW (2001) Factors modifying frost tolerance of legume species. **Crop Science** 41:1911–1916.

Barbosa JC, Maldonado Junior W (2015) AgroEstat - sistema para análises estatísticas de ensaios agronômicos. Jaboticabal: FCAV/UNESP. 396p.

Beebe SE, Rao IM, Blair MW, Acosta-Gallegos JA (2013) Phenotyping common beans for adaptation to drought. **Frontiers in Physiology** 4:35.

Bitocchi E, Rau D, Belucci E, Rodriguez M, Murgia ML, Gioia T, Santo D, Nanni L, Attene G, Papa R (2017) Beans (*Phaseolus* spp.) as a model for understanding crop evolution. **Frontiers in Plant Science** 8:722.

Bontempo AF, Alves FM, Carneiro GDOP, Machado LG, Silva LOD, Aquino LA (2016) Influência de bioestimulante e nutrientes na emergência e no crescimento inicial de feijão, soja e milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo** 15:86-93.

Broughton WJ, Hernandez G, Blair MW, Beebe SE, Gepts P, Vanderleyden J (2003) Beans (*Phaseolus* spp.) model food legumes. **Plant Soil** 252:55–128.

Bulgari R, Cocetta G, Trivellini A, Vernieri P, Ferrante A (2015) Biostimulantes and crop responses: A review. **Biological Agriculture and Horticulture** 31:1-17.

Carlson DR, Dyer DJ, Cotterman CD, Durley RC (1987) The physiological basis for cytokinin induced increases in pod set in IX93-100 soybeans. **Plant Physiology** 84:233–239.

Carraher Junior CE, Carraher SM, Stewart HH (2010) Metal-containing polymer structures for enhanced seed germination and plant growth. **Advances in Environmental Biology** 4:108-116.

Carvalho MAC, Panosso AR, Teixeira EER, Araújo EG, Brancaglioni VA, Dallacort D (2018) Multivariate approach of soil attributes on the characterization of land use in the southern Brazilian Amazon. **Soil & Tillage Research** 184:207-215.

Cassilas VJCM, Londoño IJ, Guerrero AH, Buitrago GLA (1986) Análisis cuantitativo de la aplicación de cuatro bioestimulantes em el cultivo del rabano (*Raphanus sativusl* L.). **Acta Agronomica** 36:185-195.

Chai Q, Gan Y, Zhao C, Xu H, Waskom R, Niu Y, Siddique K (2016) Regulated deficit irrigation for crop production under drought stress. A review. **Agronomy for Sustainable Development** 36:3.

Chen Y, Dong H (2016) Mechanisms and regulation of senescence and maturity performance in cotton. **Field Crop Research** 189:1-9.

Chu EP, Tavares AR, Kanashiro S, Giampaoli P, Yokota ES (2010) Effects of auxins on soluble carbohydrates, starch and soluble protein content in *Aechmea blanchetiana* (Bromeliaceae) cultured in vitro. **Scientia Horticulturae** 125:451-455.

Coles ZS, Toit ES (2020) Open air-layering of Moringa oleifera utilizing seedling plug containers. **South African Journal of Botany** 129:225-228.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento (2021) Acompanhamento da safra brasileira de grãos, Safra 2020/21, 11° levantamento, Agosto 2021, 109 p.

Costa MS, Mantovani EC, Cunha FF, Aleman CC (2016) Avaliação dos níveis de lâmina de irrigação no desempenho do feijoeiro cultivado na região da zona da mata, MG. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada** 10:799-808.

Cunha G, Oliveira CAA, Alves TC, Lima LP, Cunha JPAR (2020) Influência de pontas de pulverização e adjuvante na tecnologia de aplicação de fitossanitários na cultura do feijoeiro. **Enciclopédia Biosfera** 34:205-222.

Dalri AB, Cruz RL, Garcia CJB, Duenhas LH (2008) Irrigação por gotejamento subsuperficial na produção e qualidade de cana-de-açúcar. **Irriga** 13:1- 11.

Darkwa K, Ambachew D, Mohammed H, Asfaw A, Blair MW (2016) Evaluation of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes for drought stress adaptation in Ethiopia. **The Crop Journal** 4:367–376.

De Luque JJR, Creamer B (2014) Major constraints and trends for common bean production and commercialization; establishing priorities for future research. **Agronomía Colombiana** 32:423–431.

De Pascale S, Rouphael Y, Colla G (2017) Plant biostimulants:Innovative tool for enhancing plant nutrition in organic farming. **European Journal of Horticultural Science** 82:277-285.

Desoky ESM, Mansour E, Ali MMA, Yasin MAT, Abdul-Hamid MIE, Rady MM, Ali EF (2021) Exogenously used 24-epibrassinolide promotes drought tolerance in maize hybrids by improving plant and water productivity in an arid environment. **Plants** 10:354.

Ding Z, Kheir AMS, Ali MGM, Ali OAM, Abdelaal AIN, Lin X, Zhou Z, Wang B, Liu B, He Z (2020) The integrated effect of salinity, organic amendments, phosphorus fertilizers, and deficit irrigation on soil properties, phosphorus fractionation and wheat productivity. **Scientific Reports** 10:2736.

Dourado-Neto D, Dario GJA, Barbieri APP, Martin TN (2014) Biostimulant action on agronomic efficiency of corn and common beans. **Bioscience Journal** 30:371–379.

Du Jardin P (2015) Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation. **Scientia Horticulturae** 196:3-14.

Emam Y, Shekoofa A, Salehi F, Jalali A (2010) Water stress effects on two common bean cultivars with contrasting growth habits. **Archieves of Agronomy and Soil Science** 9:495–499.

EMBRAPA: Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (2013). Brasília: Empresa Brasileira de pesquisa Agropecuária. 353 p.

Fader M, Gerten D, Thammer M, Heinke J, Lucht W, Cramer W (2011) Internal and external green-blue agricultural water footprints of nations, and related water and land savings through trade. **Hydrology and Earth System Sciences** 15:1641-1660.

Fageria NK, Baligar VC, Clark RB (2006) Physiology of crop production. New York: The Haworth, 345p.

Fang S, Gao K, Hu W, Wang S, Chen B, Zhou Z (2019) Foliar and seed application of plant growth regulators affects cotton yield by altering leaf physiology and floral bud carbohydrate accumulation. **Field Crops Research** 231:105-114.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2019) FAOSTAT. Disponível em: http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC.

FAO (2009) How to Feed the World in 2050. In: How to Feed the World in 2050 Forum. 35 p.

Farooq M, Wahid A, Kobayashi N, Fujita D, Basra SMA (2009) Plant drought stress, effects, mechanisms and management. **Agronomy for Sustainable Development** 29:185-212.

Fernández JE, Alcon F, Diaz-Espejo A, Hernandez-Santana V, Cuevas MV (2020) Water use indicators and economic analysis for on-farm irrigation decision: A case study of a super high density olive tree orchard. **Agricultural Water Management** 237:106074.

Flörke M, Schneider C; McDonald RI (2018) Water competition between cities and agriculture driven by climate change and urban growth. **Nature Sustainability** 1:51-58.

Frasca LLM, Nascente AS, Lanna AC, Carvalho MCS, Costa GG (2020) Bioestimulantes no crescimento e desempenho agronômico do feijão-comum de ciclo superprecoce. **Revista Agrarian** 13:27-41.

Frizzone JÁ (2007) Planejamento da irrigação com uso de técnicas de otimização. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada** 1:24-49.

Foloni JSS, Henning FA, Mertz-Henning LM, Pipolo AE, Melo CLP (2016) Lactofem e Etefom como reguladores de crescimento de cultivares de soja. In: XXXV Reunião de Pesquisa de Soja. Londrina, p. 42-45.

Galvão IM, Santos OF, Souza MLC, Guimarães JJ, Kühn IE, Broetto F (2019) Biostimulants action in common bean crop submitted to water déficit. **Agricultural Water Management** 225:105762.

Gao Z, Liang XG, Zhang L, Lin S, Zhao X, Zhou LL, Shen S, Zhou SL (2017) Spraying exogenous 6-benzyladenine and brassinolide at tasseling increases maizeyield by enhancing source and sink capacity. **Field Crops Research** 211:1–9.

Gardner MP (1985) Mood states and consumer behavior: A critical review. **Journal of Consumer Researcg** 12:281–300.

Habibi G (2011) Influence of Drought on Yield and Yield Components in White Bean. **International Journal of Biological, Biomolecular, Agricultural, Food and Biotechnological Engineering** 5:380-89.

Hair JF, Anderson RE, Tatham RL, Black W (2005) Análise multivariada de dados. Porto Alegre: Bookman.

Hanks RJ, Keller J, Rasmussen VP, Wilson GD (1976). Line Source Sprinkler for Continuous Variable Irrigation-Crop Production Studies. **Soil Science Society of America Journal** 40:426–429.

Heinemann AB, Ramirez-Villegas J, Souza TLP, Didonet AD, di Stefano JG, Boote KJ, Jarvis A (2016) Drought impact on rain fed common bean production areas in Brazil. **Agricultural and Forest Meteorology** 225:57–74.

Heydari N (2014) Water productivity in agriculture: challenges in concepts, terms and values. **Irrigation and Drainage** 63:22-28.

Hummel M, Hallahan BF, Brychkova G, Ramirez-Villegas J, Guwela V, Chataika B, Curley E, McKeown PC, Morrison L, Talsma EF, Beebe S, Jarvis A, Chirwa R, Spillane C (2018) Reduction in nutritional quality and growing area suitability of common bean under climate change induced drought stress in Africa. **Scientific Reports** 8:16187.

Kadiresan K, Khanal PR (2018) Rethinking irrigation for global food security. **Irrigation and Drainage** 67:8–11.

Kaggwa-Asiimwe R, Andrade-Sanchez P, Wang G (2013) Plant architecture influences growth and yield response of upland cotton to population density. **Field Crops Research** 145:52-59.

Kaiser HF (1958) The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis. **Psychometrika** 23:178–200.

Kambhampati S, Kurepin LV, Kisiala AB, Bruce KE, Cober ER, Morrison MJ, Emery RJN (2017) Yield associated traits correlate with cytokinin profiles in developing pods and seeds of field-grown soybean cultivars. **Field Crops Research** 214:175-184.

Kauffman GL, Kneivel DP, Watschke TL (2007) Effects of a biostimulant on the heat tolerance associated with photosynthetic capacity, membrane thermostability, and polyphenol production of perennial ryegrass. **Crop Science** 47:261–267.

Khan N, Bano AMD, Babar A (2020) Impacts of plant growth promoters and plant growth regulators on rainfed agriculture. **Plos One** 15:e0231426.

Köppen W (1923) Die klimate der Erde. Berlin: Guyter. 369 p.

Leal FT, Filla VA, Bettiol JVT, Sandrini FOT, Mingotte FLC, Lemos LB (2019) Use efficiency and responsivity to nitrogen of common bean cultivars. **Ciência e Agrotecnologia** 43:e004919.

Lima SF, Jesus AA, Vendruscolo EP, Oliveira TR, Andrade GO, Simon CA (2020) Development and production of sweet corn applied with biostimulant as seed treatment. **Horticultura brasileira** 38:94-100.

Magalhães IPB, Sediyama MAN, Silva FDB, Vidigal SM, Pinto CLO, Lopes IPC (2017) Produtividade e exportação de nutrientes em feijão-vagem adubado com esterco de galinha. **Revista Ceres** 64:98-107.

Manjeru P, Madanzi T, Makeredza B, Nciizah A, Sithole M (2007) Effect of Water Stress at Different Growth Stage on Components and Grain Yield of Common Bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **African Crop Science Society Conference** 8:299–303.

Manly BFJ (2004) Multivariate Statistical Methods: A Primer. Chapman Hall/CR: Boca Raton. 269 p.

Manolov R (2018) Linear Trend in Single-Case Visual and Quantitative Analyses. **Behavior Modification** 42:684-706.

Mao L, Zhang L, Evers JB, Werf WVD, Liu S, Zhang S, Wang B, Li Z (2015) Yield components and quality of intercropped cotton in response to mepiquatchloride and plant density. **Field Crops Research** 179:63–71.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (2021) Programa Nacional de Bioinsumos. Disponível em<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inovacao/bioinsumos/o-programa/conceitos>.

Martynenko A, Shotton K, Astatkie T, Petrash G, Fowler C, Neily W, Critchley AT (2016) Thermal imaging of soybean response to drought stress: the effect of *Ascophyllum nodosum* seaweed extract. **SpringerPlus** 5:1393.

Mashilo J, Odindo AO, Shimelis HA, Musenge P, Tesfay SZ, Magwaza LS (2017) Drought tolerance of selected bottle gourd [Lagenaria siceraria (Molina) Standl.] landraces assessed by leaf gas exchange and photosynthetic efficiency. **Plant Physiology and Biochemistry** 120:75-87.

Mataffo A, Scognamiglio P, Dente A, Strollo D, Colla G, Rouphael Y, Basile B (2020) Foliar application of an amino acid-enriched urea fertilizer on 'Greco' grapevines at full veraison increases berry yeast-assimilable nitrogen content. **Plants** 9:619.

Mathobo R, Marais D, Steyn J (2017) The effect of drought stress on yield, leaf gaseousexchange and chlorophyllfluorescence of dry beans (*Phaseolus vulgaris* L.). **Agricultural Water Management** 180:118–125.

Meyer DW, Badaruddin M (2001) Frost tolerance of ten seedling legume species at four growth stages. **Crop Science** 41:1838–1842.

Mondo VHV, Nascente AS (2018) Produtividade do feijão-comum afetado por população de plantas. **Revista Agrarian** 11:89-94.

Montgomery DC (2004) Introdução ao controle estatístico da qualidade. Rio de Janeiro: LTC.

Mukeshimana G, Butare L, Cregan PB, Blair MW, Kelly JD (2014) Quantitative trait loci associated with drought tolerance in common bean. **Crop Science** 54:923–938.

Nagel L, Brewster R, Riedell WE, Reese RN (2001) Cytokinin regulation of flower and pod set soybeans (*Glycine max* L. Merr.). **Annals of Botany** 88:27–31.

Nascimento ALV, Macedo WR, Silva GH, Almeida Neto RG, Mendes MG, Marchiori PER (2016) Physiological and agronomical responses of common bean subjected to tryptophol. **Annals of Applied Biology** 168:195–202.

Nemeskéri E, Molnár K, Pék Z, Helyes L (2018) Effect of water supply on the water use-related physiological traits and yield of snap beans in dry seasons. **Irrigation Science** 36:143-158.

Nikolaou G, Neocleus D, Christou A, Kitta E, Katsoulas N (2020) Implementing sustainable irrigation in water-scarce regions under the impact of climate change. **Agronomy** 10:1120.

Ninou E, Tsialtas JT, Dordas CA, Papakosta DK (2013) Effect of irrigation on the relationships between leaf gas exchange related traits and yield in dwarf dry bean grown under Mediterranean conditions. **Agricultural Water Management** 116:235–241.

Nonokawa K, Kokubun M, Nakajima T, Nakamura T, Yoshida R (2007) Roles of auxin and cytokinin in soybean pod setting. **Plant Production Science** 10:199–206.

OECD (2012) OECD Environmental Outlook to 2050, OECS Publishing. 353 p.

Oliveira FA, Medeiros JF Cunha RC, Souza MWL, Lima LA (2016) Uso de bioestimulante como agente amenizador do estresse salino na cultura do milho pipoca. **Revista Ciência Agronômica** 47:307-315.

Padilha NS, Silva CJ, Pereira SB, Silva JAN, Heid DM, Bottega SP, Scalon SPQ (2016) Crescimento inicial do pinhão-manso submetido a diferentes regimes hídricos em latossolo vermelho distrófico. **Ciência Florestal** 26:513–521

Parker RI, Vannest KJ (2009) An improved effect size for single-case research: Nonoverlap of all pairs. **Behavior Therapy** 40:357-367.
Pedó T, Martinazzo EG, Bacarin MA, Antunes IF, Koch F, Monteiro MA, Pimentel JR, Troyjack C, Villela FA, Aumonde TZ (2018) Crescimento de plantas e vigor de sementes de feijão em resposta à aplicação exógena de ácido giberélico. **Revista Ciências Agrárias** 41:757-770.

Petropoulos SA, Taofiq O, Fernandes A, Tzortzakis N, Ciric A, Sokovic M, Barros L, Ferreira ICFR (2019) Bioactive properties of greenhouse-cultivated green beans (*Phaseolus vulgaris* L.) under biostimulants and water-stress effect. **Journal of the Science of Food and Agriculture** 99:6049-6059.

Piovesan FL, Gonçalves GB, Gheller JA (2019) Influência de diferentes adjuvantes agrícolas adicionados à fungicidas no controle da ferrugem asiática. **Revista Cultivando o Saber** 36-46.

Polania J, Poschenrieder C, Rao I, Beebe S (2016a) Estimation of phenotypic variability in symbiotic nitrogen fixation ability of common bean under drought stress using ^{15}N natural abundance in grain. **European Journal of Agronomy** 79:66–73.

Polania J, Rao IM, Cajiao C, Rivera M, Raatz B, Beebe S (2016b) Physiological traits associated with drought resistance in Andean and Mesoamerican genotypes of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Euphytica** 210:17-29.

Prerostova S, Cerný M, Dobrev PI, Motyka V, Hluskova L, Zupkova B, Gaudinova A, Knirsch V, Janda T, Brzobohatý B, Vankova R (2021) Light Regulates the Cytokinin-Dependent Cold Stress Responses in *Arabidopsis*. **Frontiers in Plant Science** 11:608711.

Rademacher W (2015) Plant growth regulators: backgrounds and uses in plant production. **Journal of Plant Growth Regulation** 34, 845–872.

Ramirez-Cabral NYZ, Kumar L, Taylor S (2016) Crop niche modeling projects major shifts in common bean growing areas. **Agricultural and Forest Meteorology** 218:102–113.

Rodrigues GC, Pereira LS (2009) Assessing economic impacts of deficit irrigation as related to water productivity and water costs. **Biosystems Engineering** 103:536-551.

Rodrigues LA, Batista MS, Alvarez RCF, Lima SF, Alves CZ (2015) Avaliação fisiológica de sementes de arroz submetidas a doses de bioestimulante. **Nucleus** 12:207-214.

Rosales MA, Ocampo E, Rodríguez-Valentín R, Olvera-Carrillo Y, Acosta-Gallegos J, Covarrubias AA (2012) Physiological analysis of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars uncovers characteristics related to terminal drought resistance. **Plant Physiology and Biochemistry** 56:24–34.

Rouphael Y, Colla G (2020) Editorial: Biostimulants in Agriculture. **Frontiers in Plant Science** 11:1–7.

Rout GR (2006) Effect of auxins on adventitious root development from single node cuttings of *Camellia sinensis* (L.) Kuntze and associated biochemical changes. **Plant Growth Regulation** 48:111–117.

Santos JP, Borges TS, Silva NT, Alcantara E, Rezende RM, Freitas AS (2017) Efeito de bioestimulante no desenvolvimento do feijoeiro. **Revista da Universidade Vale do Rio Verde** 15:815-824.

Scarpella E (2017) The logic of plant vascular patterning. Polarity, continuity and plasticity in the formation of the veins and of their networks. **Current Opinion in Genetics & Development** 45:34-43.

Shwartz I, Matan L, Ori N, Bar M (2016) Hormones in tomato leaf development. **Developmental Biology** 419:132-142.

Silva Júnior HM (2015) **Avaliação de duas cultivares de cana-de-açúcar submetidas a diferentes lâminas de irrigação por gotejamento subsuperficial, no noroeste paulista**. 102 f. Tese (Doutorado em Agronomia – Irrigação e drenagem) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

Singh SP (1981) A Key for Identification of Different Growth Habits of *Phaseolus Vulgaris* L. Cali, Columbia: Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT).

Soureshjani HK, Nezami A, Kafi M, Tadayon M (2019) Responses of two common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes to deficit irrigation. **Agricultural Water Management** 213:270-279.

Souter JR, Gurusamy V, Porch TG, Bett KE (2017) Successful Introgression of Abiotic Stress Tolerance from Wild Tepary Bean to Common Bean. **Crop Science** 57:1160-1171.

Souza JVRS, Saad JCC, Sanchez RM, Rodriguez SL (2016) No till and direct seeding agriculture in irrigated bean: Effect of incorporating crop residues on soil water availability and retention, and yield. **Agricultural Water Management** 170:158-166.

Souza LGM, Parente TL, Lazarini E, Bossolani JW, Caioni S (2018) Regulador de crescimento e densidade populacional na cultura do amendoim rasteiro. **Nucleus** 15:217-225.

Souza RS, Wander AE (2014) Aspectos econômicos da produção de feijão no Brasil. **Revista de Política Agrícola** 23:43-54.

Spann TM, Little HA (2011) Applications of a Commercial Extract of the Brown Seaweed *Ascophyllum nodosum* Increases Drought Tolerance in Containergrown 'Hamlin' Sweet Orange Nursery Trees. **Hortscience** 46:577-582.

Sun S, Li C, Paterson AH, Jiang Y, Xu R, Robertson JS, Snider JL, Chee PW (2018) In-field high throughput phenotyping and cotton plant growth analysis using LiDAR. **Frontiers in Plant Science** 9:16.

Taiz L, Zeiger E (2017) Fisiologia e desenvolvimento vegetal. Porto Alegre: ArtMed, 888 p.

Tangolar S, Tangolar S, Topçu S (2015) Effects of different bud loads and irrigations applied at different leaf water potential levels on Kalecik Karasi grape variety. **Turkish Journal of Agriculture and Forestry** 39:887–897.

Teixeira GCM, Santos MAP, Miranda DR, Teles NC, Oliveira RM (2015) Influência do ácido giberélico (AG3) no desenvolvimento inicial de plantas de feijão-caupi. In: 6ª Jornada de Iniciação Científica – Instituto Federal do Tocantins.

Teran JCBM, Konzen ER, Palkovic A, Tsai SM, Rao IM, Beebe S, Gepts P (2019) Effect of drought stress on the genetic architecture of photosynthate allocation and remobilization in pods of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.), a key species for food security. **BMC Plant Biology** 19:171.

Van Oosten MJ, Pepe O, De Pascale S, Silletti S, Maggio A (2017) The role of biostimulants and bioeffectors as alleviators of abiotic stress in crop plants. **Chemical and Biological Technologies in Agriculture** 4:1-12.

Vilhordo BW, Mikusinski OMF, Burin ME, Gandolfi VH (1996) Morfologia. In: ARAUJO, R.S. et al. (Eds.). Cultura do feijoeiro comum no Brasil. Piracicaba: Potafós, p.71-99.

Wafula EN, Wainaina IN, Buvé C, Nguyen N, Kinyanjui PK, Saeys W, Sila DN, Hendrickx M (2020) Application of near-infrared spectroscopy to predict the cooking times of aged common beans (*Phaseolus vulgaris* L.). **Journal of Food and Engineering** 284:110056.

Wakrim R, Wahbi S, Tahi H, Aganchich B, Serraj R (2005) Comparative effects of partial root drying (PRD) and regulated deficit irrigation (RDI) on water relations and water use efficiency in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Agriculture Ecosystems & Environment** 106:275–287.

Wang M, Chen Y, Zhang R, Wang W, Zhao X, Du Y, Yin H (2015) Effects of chitosan oligosaccharides on the yield components and production quality of different wheat cultivars (*Triticum aestivum* L.) in Northwest China. **Field Crops Research** 172,11–20.

Ward JH (1963) Hierarchical grouping to optimize an objective function. **Journal of the American Statistical Association** 58:236–244.

Weiss D, Ori N (2007) Mechanisms of cross talk between gibberellin and other hormones. **Plant Physiology** 144:1240-1246.

WRI. World Resources Institute (2015). Disponível em:<http://www.wri.org/our-work/topics/water>.

Wutke EB, Arruda FB, Fancelli AL, Pereira JCVNA, Sakai E, Fujiwara M, Ambrosano GMB (2000) Propriedades do solo e sistema radicular do feijoeiro irrigado em rotação de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 24:621-33.

Yakhin OI, Lubyanov AA, Yakhin IA, Brown PH (2017) Biostimulants in plant science: A global Perspective. **Frontiers in Plant Science** 7:2049.

Yonts CD, Haghverdi A, Reichert DL, Irmak S (2018) Deficit irrigation and surface residue cover effects on dry bean yield, in-season soil water content and irrigation water use efficiency in western Nebraska high plains. **Agricultural Water Management** 199:138-147.

Ziosi V, Zandoli R, Di Nardo A, Biondi S, Antognoni F, Calandriello F (2012) Biological activity of different botanical extracts as evaluated by means of an array of in vitro and in vivo bioassays. **Acta Horiculturae** 1009:61-66.

Zhang CP, He P, Li Y, Li YC, Yao HK, Duan JY, Hu SJ, Zhou H Li S (2016) Exogenous diethyl aminoethyl hexanoate, a plant growth regulator, highly improved the salinity tolerance of important medicinal plant *Cassia obtusifolia* L. **Journal of Plant Growth Regulation** 35:330-344.

Zhang YT, Liu J, Wang HY, Lei QL, Liu HB, Zhai LM, Ren TZ, Zhang JZ (2018) Suitability of the DNDC model to simulate yield production and nitrogen uptake for maize and soybean intercropping in the North China Plain. **Journal of Integrative Agriculture** 17:2790- 2801.

Zhao W, Liu L, Shen Q, Yang J, Han X, Tian F, Wu J (2020) Effects of water stress on photosynthesis, yield, and water use efficiency in winter wheat. **Water** 12:2127.

Zhou R, Hyldgaard B, Yu X, Rosenqvist E, Ugarte RM, Yu S, Wu Z, Ottose CO, Zhao T (2018) Phenotyping of faba beans (*Vicia faba* L.) under cold and heat stresses using chlorophyll fluorescence. **Euphytica** 214:68.

APÊNDICES

APÊNDICE A. Descrição dos tratamentos.

Tabela 1A. Descrição dos tratamentos.

TRATAMENTOS	ANO	BIOESTIMULANTE	REGIME HÍDRICO
19C_1	2019	COM	63,3%
19C_2	2019	COM	73,8%
19C_3	2019	COM	84,0%
19C_4	2019	COM	108,8%
19C_5	2019	COM	133,9%
19S_1	2019	SEM	63,3%
19S_2	2019	SEM	73,8%
19S_3	2019	SEM	84,0%
19S_4	2019	SEM	108,8%
19S_5	2019	SEM	133,9%
20C_1	2020	COM	63,3%
20C_2	2020	COM	73,8%
20C_3	2020	COM	84,0%
20C_4	2020	COM	108,8%
20C_5	2020	COM	133,9%
20S_1	2020	SEM	63,3%
20S_2	2020	SEM	73,8%
20S_3	2020	SEM	84,0%
20S_4	2020	SEM	108,8%
20S_5	2020	SEM	133,9%

APÊNDICE B. Estatística descritiva.

Tabela 1B12. Estatística descritiva das variáveis de crescimento e componentes de produção do feijoeiro comum cultivar IAC Imperador.

	Média	Desv. Pad.	CV (%)	Max	Min	Mediana	ASS	K
MS V4	3,09	0,83	26,94	5,47	1,65	2,95	0,63	0,17
MS R6	11,05	3,60	32,54	23,80	5,41	9,97	0,92	0,80
MS R8	22,24	8,21	36,91	45,34	10,14	20,76	0,92	0,14
MS F	30,25	7,62	25,17	49,09	2,39	29,11	0,55	-0,15
AF R6	1696,90	470,70	27,74	3198,40	677,20	1641,60	0,63	0,83
AF R8	1735,60	612,00	35,26	3024,80	722,70	1582,90	0,83	0,54
PF (10^3)	243,96	229,52	9,41	316,67	183,33	244,44	0,30	0,68
ALT	0,55	0,07	12,90	0,75	0,38	0,56	0,06	0,38
NV/PL	20,74	4,85	23,37	33,00	9,80	20,30	0,51	0,20
NG/PL	85,17	23,11	27,14	162,40	44,00	79,30	0,85	1,22
NG/V	4,11	0,51	12,37	5,24	2,67	4,13	-0,19	0,01
100G	24,97	2,36	9,46	29,32	20,77	25,12	0,02	-1,32
PROD	3886,10	832,8	21,43	6202,20	1468,00	3907,20	-0,07	1,16
PA	1,61	0,44	27,34	2,79	0,69	1,54	0,34	-0,37

Desv. Pad.: desvio padrão; CV: coeficiente de variação; Max: máximo; Min: Mínimo; ASS: assimetria; K: curtose; MS V4: massa seca em V4 (g planta^{-1}); MS R6: massa seca em R6 (g planta^{-1}); MS R8: massa seca em R8 (g planta^{-1}); MS F: massa seca final (g planta^{-1}); AF R6: área foliar em R6 (cm² planta^{-1}); AF R8: área foliar em R8 (cm² planta^{-1}); PF: população final de plantas (pl ha^{-1}); ALT: altura (m); NV/PL: número de vagens por planta; NG/PL: número de grãos por planta; NG/V: número de grãos por vagem; 100G: massa de cem grãos (g); PROD: produtividade (kg ha^{-1}); PA: produtividade da água (kg m^{-3}).

Tabela 2. Estatística descritiva das variáveis de crescimento e componentes de produção do feijoeiro comum cultivar IPR Campos Gerais.

	Média	Desv. Pad.	CV (%)	Max	Min	Mediana	ASS	K
MS V4	2,36	0,67	28,27	4,29	0,44	2,32	0,22	0,54
MS R6	12,09	5,17	42,79	27,72	5,29	10,98	1,20	1,28
MS R8	22,90	8,84	38,61	48,86	11,48	20,05	0,76	-0,27
MS F	40,40	9,73	24,08	65,83	22,68	39,23	0,46	-0,17
AF R6	2042,40	685,20	33,55	4348,90	938,30	1909,40	1,22	1,87
AF R8	2102,50	732,10	34,82	4020,00	717,10	2001,20	0,56	0,08
PF (10^3)	223,98	273,02	12,19	277,78	127,78	222,22	-0,23	0,74
ALT	0,78	0,13	16,17	1,06	0,52	0,75	0,48	-0,60
NV/PL	24,27	5,09	20,97	40,80	14,40	24,00	0,66	0,68
NG/PL	94,06	20,51	21,80	135,80	55,40	95,50	0,19	-0,55
NG/V	3,90	0,50	12,94	5,08	2,57	3,95	-0,29	0,00
100G	24,67	2,70	10,93	30,89	20,57	24,04	0,44	-1,00
PROD	3392,40	691,50	20,38	5153,20	1842,90	3408,70	0,11	0,08
PA	1,23	0,43	35,49	2,70	0,48	1,14	0,69	0,53

Desv. Pad.: desvio padrão; CV: coeficiente de variação; Max: máximo; Min: Mínimo; ASS: assimetria; K: curtose; MS V4: massa seca em V4 (g planta^{-1}); MS R6: massa seca em R6 (g planta^{-1}); MS R8: massa seca em R8 (g planta^{-1}); MS F: massa seca final (g planta^{-1}); AF R6: área foliar em R6 (cm² planta^{-1}); AF R8: área foliar em R8 (cm² planta^{-1}); PF: população final de plantas (pl ha^{-1}); ALT: altura (m); NV/PL: número de vagens por planta; NG/PL: número de grãos por planta; NG/V: número de grãos por vagem; 100G: massa de cem grãos (g); PROD: produtividade (kg ha^{-1}); PA: produtividade da água (kg m^{-3}).

APÊNDICE C. Análise de regressão.

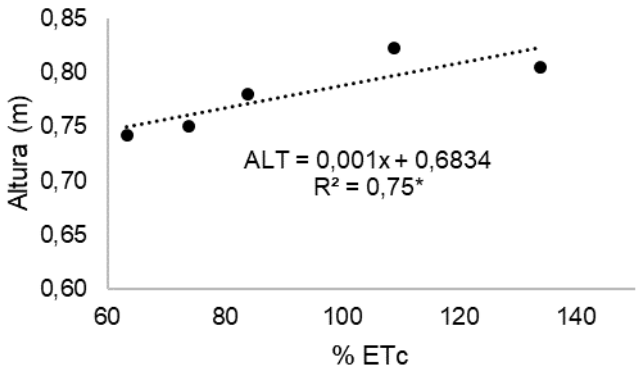
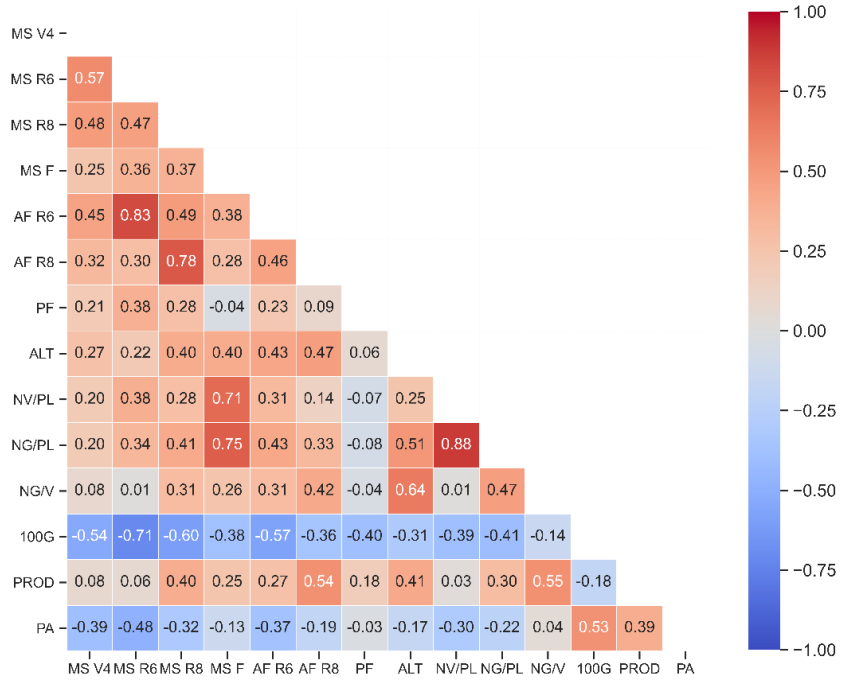


Figura 1C. Altura do feijoeiro comum IPR Campos Geraisr sob efeito de regimes hídricos. *: significativo ao nível de 5% de probabilidade; % ETc: porcentagem de reposição da evapotranspiração.

APÊNDICE D. Matriz de correlação.

A



B

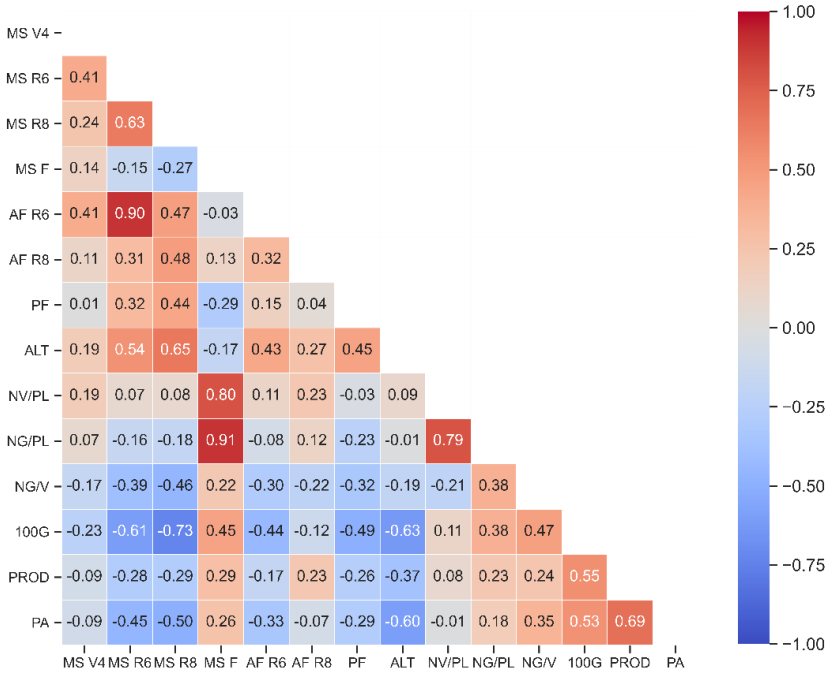


Figura 1D. Matriz de correlação das variáveis estudadas no cultivo do feijoeiro comum IAC Imperador (A) e IPR Campos Gerais (B).