

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MATO GROSSO DO SUL
UNIDADE UNIVERSITÁRIA DE CASSILÂNDIA
PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

HECTOR JOSE VALERIO ARDON

**CLASSIFICAÇÃO DE CULTIVARES DE SOJA QUANTO À
EFICIÊNCIA E RESPOSTA AO USO DE FÓSFORO EM SOLO
ARENOSO DO CERRADO**

CASSILÂNDIA – MS
FEVEREIRO/2022

HECTOR JOSE VALERIO ARDON

**CLASSIFICAÇÃO DE CULTIVARES DE SOJA QUANTO À
EFICIÊNCIA E RESPOSTA AO USO DE FÓSFORO EM SOLO
ARENOSO DO CERRADO**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS), como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Nível de Mestrado, para a obtenção do Título de Mestre em Agronomia, com área de concentração em Sustentabilidade na Agricultura.

ORIENTADOR: Prof. Dr. Fábio Steiner

CASSILÂNDIA – MS

FEVEREIRO/2022

A722c Ardón, Hector José Valerio

Classificação de cultivares de soja quanto à eficiência e resposta ao uso de fósforo em solo arenoso do cerrado / Hector José Valerio Ardón. – Cassilândia, MS: UEMS, 2022.

46 p.

Dissertação (Mestrado) – Agronomia – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, 2022.

Orientador: Prof. Dr. Fábio Steiner.

1. Adubação fosfatada 2. Glycine max (L.) Merrill 3. Solos tropicais 4. Cerrado I. Steiner, Fábio II. Título

CDD 23.ed. - 631.85



Governo do Estado de Mato Grosso do Sul
Fundação Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
PROPP - Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação
UEMS - Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul - Sede Dourados
UUCass - Unidade Universitária de Cassilândia
Programa de Pós-Graduação em Agronomia
PGAC - Área de Concentração em Sustentabilidade na Agricultura



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: CLASSIFICAÇÃO DE CULTIVARES DE SOJA QUANTO À EFICIÊNCIA E RESPOSTA AO USO DE FÓSFORO EM SOLO ARENOSO DO CERRADO

AUTOR(A): HECTOR JOSE VALERIO ARDON
ORIENTADOR(A): FÁBIO STEINER

Aprovado como parte das exigências para obtenção de MESTRE EM AGRONOMIA, Área de concentração: “**Sustentabilidade na Agricultura**”, pela Comissão Examinadora

Fábio Steiner

Prof. Dr. Fábio Steiner
Orientador(a)

PI Fábio Steiner

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo - UEMA
Participação via webconferência

PI Fábio Steiner

Prof. Dr. Diógenes Martins Bardivieso - UEMS
Participação via webconferência

Data da realização: 28 de fevereiro de 2022.

AGRADECIMENTOS

À Deus por tudo!

À minha mãe que me ajudou em todo o processo de minha vida.

À minha avó Isabel (*in memoriam*), pois certamente teria orgulho de mim neste momento.

Ao Prof. Dr. Fábio Steiner, pela orientação competente, profissionalismo, paciência e ajuda em todo o meu desenvolvimento desde o momento em que cheguei no Brasil.

A todos os professores do curso de Mestrado em Agronomia que contribuíram na construção de conhecimento durante esse tempo.

Ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Sustentabilidade na Agricultura da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Unidade Universitária de Cassilândia pela oportunidade de concluir mais uma importante etapa na construção da minha carreira profissional.

A todos os meus amigos e amigas que me apoiaram em todo meu processo de formação.

Agradeço imensamente às famílias Guidi Ganzella e Zanforlin de Almeida por terem me ajudado em tudo. Obrigado por fazerem meus dias melhores no Brasil.

Muito obrigado!

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS -----	7
LISTA DE FIGURAS -----	8
LISTA DE ABREVIACOES E SÍMBOLOS -----	9
CAPÍTULO 1. CLASSIFICACO DE CULTIVARES DE SOJA QUANTO  EFICIÊNCIA E RESPOSTA AO USO DE FÓSFORO EM SOLOS DA REGIÃO DO CERRADO-----	10
1.1. INTRODUO-----	12
1.2. MATERIAL E MÉTODOS -----	15
1.2.1. Localizao e caracterizao do experimento -----	15
1.2.2 Delineamento experimental e tratamentos-----	16
1.2.3 Implantao e conduo do experimento -----	17
1.2.4 Avaliao do teor de P das folhas-----	17
1.2.5 Avaliao das características morfológicas das plantas -----	18
1.2.6 Avaliao dos componentes de produo e da produo de grãos-----	18
1.2.7 Avaliao da resposta e da eficiência de uso de fósforo-----	19
1.2.8 Análises estatísticas-----	19
1.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO-----	21
1.4. CONCLUSOES-----	38
1.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS-----	39

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1.** Características agronômicas dos 25 cultivares de soja de utilizadas no estudo. UEMS/Cassilândia, 2021 16
- Tabela 2.** Resumo da análise de variância para os efeitos dos cultivares e dos níveis de adubação fosfatada nas características morfológicas das plantas e nos componentes de produção da cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merrill.). UEMS/Cassilândia, 2021. 21
- Tabela 3.** Efeito dos níveis de adubação fosfatada na altura de planta (AP), diâmetro do caule (DC), área foliar (AF), matéria seca da parte aérea (MSPA), matéria seca das raízes (MSR) e matéria seca total (MST) dos cultivares de soja [*Glycine max* (L.) Merrill.] aos 42 dias quando cultivadas em solo arenoso do Cerrado. UEMS/Cassilândia, 2021. 23
- Tabela 4.** Efeito dos níveis de adubação fosfatada na altura final de planta (AFP), altura de inserção da primeira vagem (APV), número de vagens por planta (NVP), número de grãos por vagem (NGV), massa de mil grãos (M1000) e produção de grãos por vaso (PG) dos cultivares de soja [*Glycine max* (L.) Merrill.] cultivadas em solo arenoso do Cerrado. UEMS/Cassilândia, 2021. 27
- Tabela 5.** Classificação dos 25 cultivares de soja [*Glycine max* (L.) Merrill.] quanto à eficiência do uso de P e à resposta à adubação fosfatada quando cultivadas em solo arenoso do Cerrado. UEMS/Cassilândia, 2021..... 35

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Representação gráfica do plano cartesiano para a classificação dos cultivares de soja (*Glycine max* (L.) Merrill.) quanto à eficiência de uso do P e à resposta à adubação fosfatada. Fonte: Adaptado de Fageria e Kluthcouski (1980). 20
- Figura 2.** Efeito dos níveis de adubação fosfatada no teor de P nas folhas dos cultivares de soja [*Glycine max* (L.) Merrill.] cultivados em solo arenoso do Cerrado. UEMS/Cassilândia, 2021. 30
- Figura 3.** Efeito do nível de adubação fosfatada na eficiência do uso de P pelos cultivares de soja [*Glycine max* (L.) Merrill.] cultivados em solo arenoso do Cerrado. UEMS/Cassilândia, 2021. 31
- Figura 4.** Eficiência de resposta à adubação fosfatada dos cultivares de soja [*Glycine max* (L.) Merrill.] cultivados em solo arenoso do Cerrado. UEMS/Cassilândia, 2021. 32
- Figura 5.** Posicionamento para a classificação dos 25 cultivares de soja [*Glycine max* (L.) Merrill.] em quatro categorias quanto à eficiência do uso de P do solo e a resposta à adubação fosfatada. (ER: Eficiente e responsivo; NER: Não-eficiente e responsivo; NENR: Não-eficiente e não-responsivo; ENR: Eficiente e não-responsivo). UEMS/Cassilândia, 2021. 34
- Figura 6.** Dendrograma da análise de agrupamento hierárquico dos 25 cultivares de soja com base na distância Euclidiana e no método de variância mínima de Ward utilizando-se todas as características morfológicas e componentes de produção da cultura em condições de baixa disponibilidade de P no solo. UEMS/Cassilândia, 2021..... 36
- Figura 7.** Dendrograma da análise de agrupamento hierárquico dos 25 cultivares de soja com base na distância Euclidiana e no método de variância mínima de Ward utilizando-se todas as características morfológicas e componentes de produção da cultura em condições de alta disponibilidade de P no solo. UEMS/Cassilândia, 2021..... 38

LISTA DE ABREVIACÕES E SÍMBOLOS

°C	Graus Celsius
AF	área foliar
AFP	altura final de planta
AIPV	altura de inserção da primeira vagem
Al ³⁺	alumínio trocável
AP	altura de planta
Ca ²⁺	cálcio trocável
CaO	óxido de cálcio
CTC	capacidade de troca de cátions
DC	diâmetro do caule
ENR	cultivar eficiente e não-responsivo
ER	cultivar eficiente e responsivo
ER	eficiência de resposta à adubação
EU	eficiência de uso de nutriente
K ⁺	potássio trocável
M1000	massa de mil grãos
Mg ²⁺	magnésio trocável
MSPA	matéria seca da parte aérea
MSR	matéria seca das raízes
MST	matéria seca total
NENR	cultivar não-eficiente e não-responsivo
NER	cultivar não-eficiente e responsivo
NGV	número de grãos por vagem
NVP	número de vagens por planta
P	fósforo
PG	produção de grãos

CAPÍTULO 1. CLASSIFICAÇÃO DE CULTIVARES DE SOJA QUANTO À EFICIÊNCIA E RESPOSTA AO USO DE FÓSFORO EM UM SOLO DA REGIÃO DO CERRADO

RESUMO: A deficiência de fósforo (P) tem sido apontada com um dos principais estresses abióticos que limita a produtividade da soja em condições tropicais. Portanto, a identificação de cultivares com maior capacidade de desenvolver e produzir sob condições de baixa disponibilidade de P no solo pode ser excelente estratégia para reduzir o efeito desse estresse na cultura, bem como para potencializar a produtividade de grãos da soja na região do Cerrado. Este estudo foi conduzido com a finalidade de classificar 25 cultivares de soja da região do Cerrado quanto à eficiência do uso de P e à responsividade a adubação fosfatada quando cultivados em um solo arenoso de baixa fertilidade. O experimento foi conduzido em condições de casa de vegetação, no Departamento de Fitotecnia da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, entre os meses de novembro de 2020 a abril de 2021. O experimento foi conduzido no delineamento experimental de blocos casualizados em esquema fatorial 2×25 com quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos por dois níveis de disponibilidade de P no solo [baixa disponibilidade (20 mg kg^{-1} de P) e alta disponibilidade (200 mg kg^{-1} de P)] e por 25 cultivares de soja. Aos 42 dias após a emergência das plantas (estádio fenológico R₂), foram mensuradas as seguintes características morfológicas: altura de planta, diâmetro do caule, área foliar, matéria seca da parte aérea, das raízes e a matéria seca total, e o teor de P nas folhas de soja. Na maturação fisiológica da cultura (estádio R₈), foram avaliadas a altura final de planta, altura de inserção da primeira vagem, número de vagens por planta, número de grãos por vagem, massa de 1000 grãos (M1000) e produção de grãos. Com base nos dados de produção de grãos foram calculados a eficiência de uso de fósforo (EU) e a eficiência de resposta (ER) à adubação fosfatada. Os cultivares de soja TMG 2383 IPRO, TMG 2165 IPRO, 98R31 IPRO, 98R35 IPRO, HO Cristalino IPRO, BMX Bônus IPRO, ST 777 IPRO, RK 8115 IPRO e NS 8399 IPRO foram classificados como eficientes e responsivos à adubação fosfatada, e são os cultivares que podem ser recomendados para o cultivo em áreas agrícolas com solos de baixa disponibilidade de P e áreas adubadas com altas doses de fertilizantes fosfatados. Os cultivares TMG 2381 IPRO, TMG 7063 IPRO, HO Maracá IPRO, BMX Foco IPRO, RK 7518 IPRO, RK 8317 IPRO, M 5917 IPRO e NS 7007 IPRO foram classificados como não eficientes e responsivos a adubação fosfatada, e são os

cultivares mais indicados para serem cultivados em áreas agrícolas que utilizam a aplicação de altas doses de fertilizantes fosfatados. Os cultivares de soja TMG 7067 IPRO, TMG 7061 IPRO e NS 7505 IPRO foram classificados como não eficientes e não responsivos à adubação fosfatada, e estes cultivares de soja são os menos recomendados para serem cultivados em solos arenosos do Cerrado. Os cultivares TMG 2378 IPRO, 97R50 IPRO, HO Paranaíba IPRO, ST 797 IPRO e RK 6719 IPRO foram classificados como eficientes e não responsivos à adubação fosfatada, e são os cultivares mais indicados para serem cultivados em áreas agrícolas com solos de baixa disponibilidade de P.

PALAVRAS-CHAVE: Adubação fosfatada, Cerrado, Glycine max (L.) Merrill, Solos tropicais.

CLASSIFICATION OF SOYBEAN CULTIVARS REGARDING EFFICIENCY AND RESPONSE TO PHOSPHORUS USE IN SAND SOIL FROM THE CERRADO

ABSTRACT: Phosphorus (P) deficiency has been identified as one of the main abiotic stresses that limit soybean yield under tropical conditions. Therefore, identifying cultivars with greater capacity to develop and produce under conditions of low availability of P in the soil can be an excellent strategy to reduce the effect of this stress on the crop, as well as to enhance soybean grain yield in the Cerrado region. This study was carried out with the purpose of classifying 25 soybean cultivars from the Cerrado region regarding P use efficiency and responsiveness to phosphate fertilization in a low fertility sandy soil. The experiment was carried out under greenhouse conditions, at the Department of Plant Science at the State University of Mato Grosso do Sul, from November 2020 to April 2021. The experiment was carried out in a randomized block design in a 2×25 factorial scheme with four repetitions. The treatments consisted of two levels of P availability in the soil [low availability (20 mg P kg^{-1}) and high availability (200 mg P kg^{-1})] and 25 soybean cultivars. At 42 days after plant emergence (phenological stage R2), the following morphological characteristics were measured: plant height, stem diameter, leaf area, shoot dry matter, of roots and total (DMT) and P content in soybean leaves. In the physiological maturation of the crop (R8 stage), the final plant height, insertion height of the first pod,

number of pods per plant, number of grains per pod, 1000 grain mass (M1000) and grain production were evaluated. Based on grain yield data, phosphorus use efficiency (EU) and response efficiency (ER) to phosphate fertilization were calculated. The soybean cultivars TMG 2383 IPRO, TMG 2165 IPRO, 98R31 IPRO, 98R35 IPRO, HO Crystalline IPRO, BMX Bonus IPRO, ST 777 IPRO, RK 8115 IPRO and NS 8399 IPRO were classified as efficient and responsive to phosphate fertilization, and are the cultivars that can be recommended for cultivation in agricultural areas with soils with low availability of P and areas fertilized with high doses of phosphate fertilizers. Cultivars TMG 2381 IPRO, TMG 7063 IPRO, HO Maracaí IPRO, BMX Foco IPRO, RK 7518 IPRO, RK 8317 IPRO, M 5917 IPRO and NS 7007 IPRO were classified as inefficient and responsive to phosphate fertilization, and are soybean cultivars more suitable to be cultivated in agricultural areas that use the application of high doses of phosphate fertilizers. Soybean cultivars TMG 7067 IPRO, TMG 7061 IPRO and NS 7505 IPRO were classified as inefficient and unresponsive to phosphorus fertilization, and these soybean cultivars should not be recommended to be cultivated in sandy soils of the Cerrado. Cultivars TMG 2378 IPRO, 97R50 IPRO, HO Paranaíba IPRO, ST 797 IPRO and RK 6719 IPRO were classified as efficient and unresponsive to phosphate fertilization, and are the most suitable soybean cultivars to be cultivated in agricultural areas with low availability soils of P.

KEYWORDS: Phosphate fertilization, *Glycine max* (L.) Merrill, Cerrado, tropical soils.

1.1. INTRODUÇÃO

A soja [*Glycine max* (L.) Merrill.] É uma das mais importantes culturas para a economia e o agronegócio brasileiro e mundial. O Brasil é atualmente o maior produtor e exportador de soja do mundo, na safra 2021/2022 a cultura da soja ocupou área de 40,6 milhões de hectares, com produção total estimada de 125,5 milhões de toneladas, o que representa produtividade média de 3.091 kg ha⁻¹ de grãos (CONAB, 2022). A região do Cerrado representa cerca de 52% de toda a área de soja cultivada no Brasil, com quase 20 milhões de hectares (CONAB, 2022). A produção de soja na região do Cerrado certamente continuará a ser importante impulsionador do crescimento econômico agrícola do Brasil nas próximas décadas.

Apesar desse cenário favorável para o cultivo de soja no Bioma do Cerrado, esta região caracteriza-se por possuir solos tropicais, altamente intemperizados, ácidos e de baixa fertilidade natural, o que pode limitar a produtividade e a rentabilidade da cultura da soja no Brasil (DONAGEMMA et al., 2016). Essa elevada acidez e baixa disponibilidade de nutrientes dos solos da região do Cerrado são ocasionadas pelo acentuado grau de intemperismo, alta taxa de lixiviação das bases trocáveis, tais como potássio (K^+), cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}) e pela alta reatividade e taxa de adsorção do fósforo (P) aos constituintes do solo, especialmente aos (óxi)hidróxidos de ferro (Fe) e alumínio (Al) (SOUSA; LOBATO, 2004). Portanto, a exploração econômica da cultura da soja na região do Cerrado somente tem sido possível com a adoção de tecnológicas e de práticas agrônômicas que visam a melhoria da fertilidade do solo.

Os Neossolos Quartzarênicos (RQ) são um dos mais importantes tipos de solo que ocorrem na região do Cerrado, os quais abrangem cerca de 20% da área de Cerrado, sendo superado apenas pelos Latossolos, que ocupam 52% da área do Bioma Cerrado (SANTOS et al., 2013). Os Neossolos Quartzarênicos são derivados de sedimentos arenosos de baixa fertilidade natural. Estes solos são profundos, possuem alta porosidade e alto grau de intemperismo e alta taxa de lixiviação de nutrientes (SOUSA; LOBATO, 2004). Estas características fazem com que os Neossolos Quartzarênicos possuam baixa disponibilidade de nutrientes e elevada acidez, além de apresentar predominância de argilas de baixa atividade, como caulinita e (óxi)hidróxidos de Fe e Al. Tais condições podem limitar o potencial agrícola destes solos, os quais possuem baixa capacidade de troca catiônica (CTC), baixa capacidade de retenção de água, baixa capacidade de agregação de partículas, condicionada pelos baixos teores de argila (<15%) e de matéria orgânica do solo (FRAZÃO et al., 2008). Portanto, nessas condições de cultivo em solos arenosos, há a necessidade de melhorar o uso dos recursos envolvidos nos sistemas de produção, especialmente, quanto ao uso racional do P, uma vez que este nutriente se encontra em baixa concentração nos solos tropicais do Cerrado (RIBEIRO et al., 2016).

A deficiência de P nos solos tropicais, causada pela sua alta reatividade e alta taxa de retenção aos constituintes do solo, especialmente aos óxidos de Fe e Al, tem sido apontada como um dos principais fatores que limitam o crescimento das plantas e a produtividade das culturas agrícolas na região do Cerrado (SCHONINGER et al., 2013). Em condições de solos ácidos, os óxidos de Fe e Al possuem, preferencialmente, carga positivas, sendo, portanto, capazes de reter íons fosfatos as partículas de solo

(VALLADRES et al., 2003). Neste contexto, devido à forte interação do P com os coloides do solo, altas doses de fertilizantes fosfatados têm sido aplicadas para o cultivo da soja nos solos tropicais do Cerrado, o que vem onerando os custos de produção, e causando prejuízos aos agricultores (ALCÂNTARA et al., 2010). Assim, para reduzir a demanda e os gastos com a aquisição de altas quantidades de fertilizantes fosfatados são necessários estudos que visam avaliar a eficiência e a resposta de uso de P pelas plantas (SANTOS et al., 2008).

Uma das estratégias para melhorar a absorção e a utilização dos fertilizantes fosfatados seria a utilização de genótipos de soja com alta eficiência em extrair e utilizar o P do solo, reduzindo, assim, os gastos com fertilizantes fosfatados. No entanto, o estresse causado pela baixa disponibilidade de P no solo faz com que a eficiência de utilização do P pelas plantas seja diferente entre os cultivares de uma mesma espécie vegetal (FAGERIA, 1998). Portanto, estudos que visam avaliar e classificar os cultivares de soja com maior resposta e eficiência na utilização da adubação fosfatada são importantes para melhorar a tomada de decisão no que se refere ao adequado manejo da adubação fosfatada. Além disso, as informações geradas podem contribuir para o sucesso da exploração da cultura no estado de Mato Grosso do Sul e podem ser utilizadas pelos programas de melhoramento genético da cultura. Portanto, a avaliação e a identificação de cultivares de soja com maior responsividade e eficiência de uso do P em solos arenosos do Cerrado pode ser uma alternativa economicamente viável para potencializar a produtividade de grãos da cultura em condições de baixa disponibilidade de P no solo.

De acordo com Heinemann et al. (2011), a eficiência do uso de P está relacionada à capacidade do sistema radicular dos cultivares de soja em extrair elevadas quantidades de P do solo e de translocar esse nutriente para a parte aérea da planta. Alguns cultivares de soja também possuem a capacidade de solubilizar P do solo, principalmente o P não-lábil, mediante a exsudação de ácidos orgânicos pelas suas raízes, que atuam na dissolução do P retido aos coloides do solo, disponibilizando-os na solução do solo para às plantas (CHIEN; MENON, 1995). Em condições de baixa disponibilidade de P no solo, o porte das plantas e a altura de inserção das primeiras vagens são reduzidos, e as plantas de soja também apresentam menor emissão de flores e aumento na taxa de abortamento das flores (SFREDO, 2008). A resposta a adubação fosfatada em solos de baixa fertilidade tem sido praticamente linear a quantidade de P aplicado, seja pela aplicação na linha de semeadura ou à lanço seguindo de incorporação (BARBOSA et al., 2015). No entanto, os distintos

cultivares de soja recomendados para o mesmo ambiente de produção e tipo de solo possuem respostas distintas à disponibilidade de P do solo.

Neste contexto, este estudo foi conduzido com o objetivo de avaliar o desenvolvimento morfológico das plantas, a produção de grãos e a resposta e eficiência de utilização do P de 25 cultivares de soja [*Glycine max* (L.) Merrill.] quando cultivados em um solo arenoso do Cerrado Sul Mato-Grossense.

1.2. MATERIAL E MÉTODOS

1.2.1. Localização e caracterização do experimento

A pesquisa foi realizada em condições de casa de vegetação na Estação Experimental de Produção Vegetal da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul – UEMS, Unidade Universitária de Cassilândia, MS (19°05'29" S; 51°48'50" W e altitude média de 540 m), durante a safra 2020/2021. Durante a condução do experimento, as condições ambientais no interior da casa de vegetação foram: temperaturas mínima e máxima do ar de 20,8 e 38,2 °C, respectivamente, e umidade relativa média de 72% ($\pm 8\%$).

Solo de áreas sem histórico de uso agrícola é considerado ideal para investigar a resposta e a eficiência da adubação fosfatada. A análise química do solo foi efetuada no Laboratório Inside Agroindustrial, em Chapadão do Sul (MS) seguindo as indicações da Embrapa (2009). As principais características físico-químicas do solo foram as seguintes: pH (CaCl₂) de 4,6, 14 g dm⁻³ de matéria orgânica, 7,8 mg dm⁻³ de P (Mehlich-1), 0,10 cmol_c dm⁻³ de K, 1,50 cmol_c dm⁻³ de Ca, 0,50 cmol_c dm⁻³ de Mg, 3,60 cmol_c dm⁻³ de H+Al, 0,25 cmol_c dm⁻³ de Al, 5,70 cmol_c dm⁻³ de CTC, saturação de bases de 37%, 120 g kg⁻¹ de argila, 40 g kg⁻¹ de silte e 840 g kg⁻¹ de areia.

A acidez do solo foi previamente corrigida com a aplicação de 1,11 g dm⁻³ de calcário (CaO: 38%; MgO: 11% e PRNT: 85%), visando elevar a saturação por bases do solo à 70% (SOUSA; LOBATO, 2004). Após a aplicação do calcário, o solo foi homogeneizado, umedecido até próximo da capacidade de retenção de água, e incubado por 40 dias. Decorrido esse período, o solo foi fertilizado com 30 mg kg⁻¹ de N (ureia), 100 mg kg⁻¹ de K (cloreto de potássio), 15 mg kg⁻¹ de S (gesso agrícola), 3 mg kg⁻¹ de Cu (sulfato de cobre), 3 mg kg⁻¹ de Zn (sulfato de zinco), 1 mg kg⁻¹ de Mo (molibdato de amônio) e 2 mg kg⁻¹ de B (ácido bórico), seguindo as recomendações de Novais et al. (1991) para ensaios em vasos sob condições de cultivo protegido. Após a adubação, o solo foi acondicionado nos vasos plásticos de 8 L, os quais foram mantidos em condições de

casa de vegetação e, então, submetidos ao cultivo de soja.

1.2.2 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, disposto em esquema fatorial 2×25 , com quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos pela aplicação de dois níveis de adubação fosfatada [20 mg kg⁻¹ de P (nível baixo) ou 200 mg kg⁻¹ de P (nível alto)] e do cultivo de 25 cultivares de soja (Tabela 1). Como fonte de P foi utilizado o superfosfato triplo (SFT) contendo 46% de P₂O₅ (equivalente a 20% de P).

Tabela 1. Características agronômicas dos 25 cultivares de soja de utilizadas no estudo. UEMS/Cassilândia, 2021

Nº	Cultivar	Empresa	Características Agronômicas		
			Ciclo médio ¹	GMR	Tipo de crescimento
1	TMG 2383 IPRO	Tropical Melhoramento & Genética	120	8,3	Semideterminado
2	TMG 2381 IPRO	Tropical Melhoramento & Genética	120	8,1	Indeterminado
3	TMG 2378 IPRO	Tropical Melhoramento & Genética	125	7,8	Semideterminado
4	TMG 7067 IPRO	Tropical Melhoramento & Genética	112	7,2	Semideterminado
5	TMG 7063 IPRO	Tropical Melhoramento & Genética	110	7,0	Indeterminado
6	TMG 2165 IPRO	Tropical Melhoramento & Genética	112	6,5	Indeterminado
7	TMG 7061 IPRO	Tropical Melhoramento & Genética	110	6,1	Indeterminado
8	97R50 IPRO	DuPont Pionner®	115	7,5	Indeterminado
9	98R31 IPRO	DuPont Pionner®	130	8,3	Indeterminado
10	98R35 IPRO	DuPont Pionner®	130	8,3	Indeterminado
11	HO Cristalino IPRO	HO Genética	125	8,3	Indeterminado
12	HO Maracaí IPRO	HO Genética	120	7,7	Indeterminado
13	HO Paranaíba IPRO	HO Genética	115	7,4	Indeterminado
14	BMX Foco IPRO	BRASMAX® Genética	110	7,2	Indeterminado
15	BMX Bônus IPRO	BRASMAX® Genética	120	7,9	Indeterminado
16	ST 777 IPRO	SoyTech®	108	7,7	Indeterminado
17	ST 797 IPRO	SoyTech®	110	7,9	Indeterminado
18	RK 8115 IPRO	Riber KWS® Sementes	120	8,1	Indeterminado
19	RK 6719 IPRO	Riber KWS® Sementes	105	6,7	Indeterminado
20	RK 7518 IPRO	Riber KWS® Sementes	112	7,5	Indeterminado
21	RK 8317 IPRO	Riber KWS® Sementes	125	8,3	Indeterminado
22	M 5917 IPRO	Monsoy®	95	5,9	Indeterminado
23	NS 8399 IPRO	Nidera® Sementes	120	8,3	Indeterminado
24	NS 7007 IPRO	Nidera® Sementes	98	7,1	Indeterminado
25	NS 7505 IPRO	Nidera® Sementes	118	7,5	Indeterminado

¹ Ciclo médio, em dias, da emergência ao ponto de colheita. GMR: Grupo de maturidade relativa.

Cada unidade experimental foi constituída por dois vasos plásticos contendo duas plantas, perfazendo um total de 400 vasos. Um dos vasos de cada repetição foi utilizado para as amostragens destrutivas, incluindo a diagnose foliar, a área foliar e a quantificação do acúmulo de matéria seca da parte aérea e das raízes no estágio de desenvolvimento R2

(pleno florescimento). O outro vaso foi utilizado para a quantificação da produção de grãos ao final do ciclo fenológico dos cultivares de soja (estádio de desenvolvimento R8 – 95% das vagens maduras).

As sementes dos 25 cultivares comerciais de soja foram adquiridas diretamente das empresas detentoras do seu registro no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) durante os meses de Outubro e Novembro de 2020. As principais características agronômicas dos cultivares de soja utilizados neste estudo são mostradas na Tabela 1.

1.2.3 Implantação e condução do experimento

As sementes de soja foram previamente tratadas com piraclostrobina + tiofanato metílico + fipronil (Standak Top[®]) na dose de 2,0 mL p.c. kg⁻¹ de semente. Na sequência, após 1h, as sementes foram inoculadas com *Bradyrhizobium japonicum*, utilizando-se o inoculante comercial líquido Simbiose Nod Soja[®] (Simbiose: Agrotecnologia Biológica) contendo as estirpes SEMIA 5079 e SEMIA 5080 (concentração mínima de 7,2 x 10⁹ unidades formadoras de colônias por mL), na dose de 4,0 mL p.c. kg⁻¹ de semente.

Na implantação do experimento, foram semeadas seis sementes de soja em cada vaso. Após 12 dias, realizou-se o desbaste, deixando-se apenas duas plantas por vaso. O teor de água do solo foi monitorado diariamente e mantido próximo da capacidade máxima de retenção de água com reposições diárias até o final do cultivo. O manejo fitossanitário das plantas de soja seguiu todos os procedimentos e recomendações adotadas nas lavouras comerciais, conforme recomendações da EMBRAPA (2011), incluindo o monitoramento e o controle de pragas e doenças, e a aplicação de inseticidas e fungicidas.

1.2.4 Avaliação do teor de P das folhas

Aos 42 dias após a emergência das plantas no estágio fenológico R2 (quando as plantas estavam no pleno florescimento) foram efetuadas amostragens do tecido foliar para avaliação do teor de P nas folhas de soja. Foram coletadas cinco folhas por unidade experimental (vaso), as quais foram lavadas em água destilada, acondicionadas em sacos de papel e colocadas para secagem em estufa com circulação forçada de ar à 60 °C por 72 horas. Em seguida, as amostras foram moídas em moinho tipo Willey, identificadas e armazenadas. Estas amostras foram enviadas para o Laboratório de Análises de Solos e Folhas da Universidade de Rio Verde (UniRV), em Rio Verde-GO, para a determinação

dos teores de P conforme metodologia proposta por Malavolta et al. (1997).

1.2.5 Avaliação das características morfológicas das plantas

Aos 42 dias após a emergência das plantas, na fase de pleno florescimento (estádio fenológico R2), as plantas foram retiradas dos vasos, e as raízes lavadas em água corrente sobre peneiras com malha de 3,0 mm, para remoção do solo. Em seguida, foram mensuradas as seguintes características morfológicas: altura de planta (AP), diâmetro do caule (DC), área foliar (AF), matéria seca da parte aérea (MSPA) e matéria seca das raízes (MSR).

A altura de planta (AP) foi determinada a partir do nível do solo até a inserção do meristema apical das plantas com o auxílio de uma fita métrica graduada em centímetros. O diâmetro do caule (DC) foi mensurado à 5 cm da superfície do solo utilizando-se um paquímetro digital. A área foliar (AF) foi mensurada seguindo metodologia proposta por Benincasa (2003), com modificações no tamanho da área dos discos foliares coletados. Após a separação de todas as folhas das plantas, foram retirados 15 discos foliares de área conhecida ($15,0 \text{ cm}^2$), que foi considerada a área foliar da amostra (AF_{Amostra}). Em seguida, após a secagem em estufa à $65 \text{ }^\circ\text{C}$, por 72 horas, foi determinada a matéria seca da amostra (MS_{Amostra}) e a matéria seca das folhas (MSF). A área foliar total (AF) foi obtida por meio da seguinte equação: $AF = [(AF_{\text{Amostra}} \times MSF) / MS_{\text{Amostra}}] / 100$. A determinação do acúmulo de matéria seca da parte aérea (folhas + caules) e das raízes foi realizada após a secagem do material vegetal em estufa de circulação forçada de ar à $65 \text{ }^\circ\text{C}$, por 72 horas. A matéria seca total (MST) foi obtida pela soma de todas as partes da planta (folha, caule e raiz).

1.2.6 Avaliação dos componentes de produção e da produção de grãos

Entre os meses de março e abril de 2021, quando os cultivares de soja estavam na maturidades fisiológica com 95% das vagens maduras (estádio fenológico R8), foi realizado a colheita das plantas. Na colheita foram mensurados os seguintes componentes de produção: altura final de planta (AFP), altura de inserção da primeira vagem (APV), número de vagens por planta (NVP), número de grãos por vagem (NGV), massa de mil grãos (M1000), produção de grãos (PG), e, índice de colheita de grãos.

A altura final de planta (AFP) foi determinada a partir do nível do solo até a altura de inserção do meristema apical das plantas utilizando-se uma fita métrica. Para a determinação da produção de grãos e massa de 1000 grãos, o teor de água dos grãos foi

determinado pelo método padrão de estufa à 105 °C (± 3 °C) durante 24 horas e, então, os valores foram corrigidos para 13% de teor de água (base úmida).

1.2.7 Avaliação da resposta e da eficiência de uso de fósforo

A eficiência do uso de fósforo (EU) de cada cultivar em cada nível de adubação fosfatada (baixa ou alta disponibilidade de P) foi calculada conforme a Equação 1 proposta por Moll et al. (1982):

$$EU_{ij} = PG_{ij}/P_{sj} \quad [1]$$

onde, EU_{ij} é a eficiência do uso de fósforo do i-ésimo cultivar, com i variando de 1 a 25, no j-ésimo nível de adubação, com j variando de 1 a 2, sendo os dois níveis de adubação fosfatada (baixa e alta disponibilidade de P); PG_{ij} é a produção de grãos do i-ésimo cultivar no j-ésimo nível de adubação; e, P_{sj} é a dose de P referente ao j-ésimo nível de adubação.

A eficiência de resposta (ER) dos cultivares de soja à disponibilidade de P no solo foi calculada conforme a Equação 2 proposta por Craswell e Godwin (1984):

$$ER_i = (DPG_i / DDP_s) \quad [2]$$

Em que, ER_i é a eficiência de resposta do i-ésimo cultivar à disponibilidade do P, com i variando de 1 a 25; DPG_i é a diferença da produção de grãos nos dois níveis de adubação fosfatada (baixa e alta disponibilidade de P) para o i-ésimo cultivar; e, DDP_s é a diferença entre as doses de P aplicadas nos dois níveis de adubação fosfatada.

1.2.8 Análises estatísticas

Os dados foram submetidos à análise de variância, aplicando-se o teste F em nível de 5% de probabilidade e, quando significativas, as médias dos tratamentos foram submetidas ao teste de agrupamento de médias Scott-Knott ($p \leq 0,01$) com o objetivo de discriminar os cultivares entre e dentro dos níveis de adubação fosfatada. As análises estatísticas foram realizadas utilizando-se o software Sisvar[®] versão 5.6 para Windows (FERREIRA, 2011). Os gráficos foram elaborados por meio do pacote estatístico do Microsoft Office Excel[®] 2016 (Microsoft Office 365TM).

Foi utilizado o método proposto por Fageria e Kluthcouski (1980) com a finalidade de discriminar os cultivares de soja quanto à eficiência na utilização de P e à resposta à adubação fosfatada, para tanto, uma representação gráfica no plano cartesiano

foi utilizada. O eixo das abscissas equivale à eficiência na utilização do P, ou seja, refere-se à média de produção de grãos (PG) em ambiente de baixa disponibilidade de P. Por sua vez, o eixo das ordenadas equivale à resposta quanto à disponibilidade de P (ER_i), ou seja, a diferença entre a produção de grãos nos dois níveis de adubação fosfatada dividida pela diferença entre as doses de P aplicadas.

O método preconiza que uma reta originada do valor médio de cada eixo cartesiano seja traçada, fazendo com que o plano cartesiano seja dividido em quadrantes (ver Figura 1). O primeiro quadrante, representa os cultivares eficientes e responsivos (ER), ou seja, aqueles que possuem valores acima da média para os dois eixos cartesianos. O segundo quadrante, representa os cultivares não-eficientes e responsivos (NER), ou seja, aqueles que possuem valores abaixo da média para o eixo das abscissas e acima da média para o eixo das ordenadas. O terceiro quadrante, representa os cultivares não-eficientes e não-responsivos (NENR), ou seja, aqueles que possuem valores abaixo das médias dos dois eixos cartesianos. Por fim, o quarto quadrante, representa os cultivares eficientes e não-responsivos (ENR), ou seja, aqueles cultivares que possuem valores acima da média para o eixo das abscissas e abaixo da média para o eixo das ordenadas.

Resposta à adubação fosfatada	II Não-eficiente e Responsivo (NER)	I Eficiente e Responsivo (ER)
	III Não-eficiente e Não-responsivo (NENR)	IV Eficiente e Não-responsivo (ENR)
	Eficiência de uso do P	

Figura 1. Representação gráfica do plano cartesiano para a classificação dos cultivares de soja (*Glycine max* (L.) Merrill.) quanto à eficiência de uso do P e à resposta à adubação fosfatada. Fonte: Adaptado de Fageria e Kluthcouski (1980).

A discriminação dos cultivares de soja com maior eficiência do uso de P em condições de baixa disponibilidade de P ou com maior resposta à adubação fosfatada em condições de alta disponibilidade de P no solo também foi realizada com base em todas as características morfológicas e componentes de produção da cultura por meio da análise

multivariada, utilizando o método de agrupamentos hierárquico. A distância genética entre todos os pares de genótipos foi estimada por meio da distância Euclidiana média padronizada (D), utilizando o software estatístico Action Stat Pro[®] versão 3.6 para Windows (Estatcamp – Consultoria Estatística e Qualidade, Campinas, SP).

Com base nas matrizes de dissimilaridade genética geradas foi construído um dendrograma pelo método hierárquico de agrupamento de variância mínima de Ward (CRUZ; CARNEIRO, 2003). A exposição dos resultados da análise de agrupamento hierárquico em forma gráfica (dendrograma) facilita a identificação dos agrupamentos dos genótipos de soja. O valor de 50% de similaridade foi utilizado como critério para definir e separar os grupos de genótipos eficientes ao uso de P e genótipos responsivos à adubação fosfatada em cada condição de disponibilidade de P no solo. De acordo com Cargnelutti-Filho et al. (2008), os valores de similaridade compreendidos entre 40% e 50% podem ser utilizados como critério de separação e definição dos grupos de materiais genéticos.

1.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O resumo da análise de variância para os efeitos dos cultivares e níveis de adubação fosfatada nas características morfológicas das plantas e dos componentes de produção da cultura da soja é mostrado na Tabela 2. A análise de variância reportou efeitos significativos ($p \leq 0,05$) da interação entre os cultivares e níveis de adubação fosfatada para a maioria das características, exceto para o diâmetro do caule e a altura de inserção da primeira vagem (Tabela 2). Este efeito significativo da interação entre cultivar e nível de adubação fosfatada indica que os cultivares de soja possuem respostas distintas quando são cultivadas em condições de baixa ou alta disponibilidade de P no solo. Tal fato pode ser atribuído as características intrínsecas de cada material genético utilizado neste estudo.

Tabela 2. Resumo da análise de variância para os efeitos dos cultivares e dos níveis de adubação fosfatada nas características morfológicas das plantas e nos componentes de produção da cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merrill.). UEMS/Cassilândia, 2021.

Causas de Variação	Probabilidade > F					
	AP	DC	AF	MSPA	MSR	MST
Bloco	<0,000	0,020	0,818	0,772	0,283	0,463
Cultivar (C)	<0,000	<0,000	<0,000	<0,000	0,810	<0,000
Nível Fósforo (P)	<0,000	<0,000	<0,000	<0,000	<0,000	<0,000
Interação (C × P)	0,003	0,530	0,011	0,031	0,003	0,045
CV (%)	5,68	6,92	10,70	10,52	15,15	10,43
Causas de Variação	Probabilidade > F					

	AFP	APV	NVP	NGP	M1000	PG
Bloco	0,029	0,678	<0,000	0,265	0,827	<0,000
Cultivar (C)	<0,000	0,298	<0,000	0,006	<0,000	<0,000
Nível fósforo (P)	<0,000	<0,000	<0,000	0,027	<0,000	<0,000
Interação (C × P)	0,001	0,394	<0,000	0,002	0,001	<0,000
CV (%)	5,18	12,6	8,61	7,47	9,92	6,97

AP: altura de planta. DC: diâmetro do caule. AF: área foliar. MSPA: matéria seca da parte aérea. MSR: massa seca das raízes. MST: massa seca total. AFP: altura final de planta. APV: altura de inserção da primeira vagem. NVP: número de vagens por planta. NGV: número de grãos por vagem. M1000: massa de mil grãos. PG: produção de grãos.

A aplicação do nível alto de adubação fosfatada resultou nos maiores valores para a maioria das características morfológicas e componentes de produção da cultura da soja, exceto para a matéria seca das raízes (Tabelas 3 e 4). Estes resultados evidenciam a importância do adequado suprimento da adubação fosfatada para o cultivo da soja nos solos arenosos da região do Cerrado. O P desempenha papel importante no crescimento e no metabolismo fisiológico das plantas, especialmente na formação de ATP (trifosfato de adenosina), uma molécula que constitui a principal fonte de energia para a realização de processos metabólicos, tais como a fotossíntese, divisão celular, transporte de fotoassimilados e carga genética (TAIZ et al., 2017).

O maior desenvolvimento das plantas e a maior produção de grãos com a aplicação de altas doses de fertilizante fosfatado está associado à baixa concentração de P nos solos tropicais da região do Cerrado brasileiro. A baixa disponibilidade desse elemento para as plantas é devido à grande reatividade e à alta taxa de retenção de seus íons, relacionados a numerosos constituintes do solo. Por isso são necessárias elevadas doses de fertilizantes fosfatados, para que as culturas obtenham alta produtividade. Os solos tropicais, de maneira geral, possuem alta capacidade de fixação de P, em virtude da abundância de (hidr)óxidos de Fe e Al (SOUSA; LOBATO, 2004), que formam fosfatos estáveis. Segundo Novais & Smyth (1999), cerca de 90% do P aplicado ao solo é rapidamente adsorvido por estes (hidr)óxidos de Fe e Al existentes no solo.

Em condições de baixa disponibilidade de P no solo, a altura das plantas aos 42 dias variou de 34,0 a 53,0 cm, e foi significativamente maior nos cultivares de soja TMG 2381 IPRO e RK 8317 IPRO, ao passo que a menor altura de planta foi obtido nos cultivares TMG 2165 IPRO, TMG 2383 IPRO, BMX Foco IPRO, ST 777 IPRO, RK 8115 IPRO, M5917 IPRO e NS 7505 IPRO (Tabela 3). Em condições de alta disponibilidade de P no solo, a altura das plantas variou de 32,7 a 59,7 cm, e foi significativamente maior na

cultivar de soja TMG 2381 IPRO, ao passo que a menor altura de planta foi obtido na cultivar NS 7505 IPRO (Tabela 3).

Em condições de baixa disponibilidade de P no solo, o diâmetro do caule variou de 7,7 a 10,6 mm, e foi significativamente maior nos cultivares de soja TMG 2383 IPRO, TMG 2381 IPRO, TMG 7067 IPRO, TMG 7063 IPRO, TMG 2165 IPRO, TMG 7061 IPRO, 97R50 IPRO, HO Cristalino IPRO, HO Maracaí IPRO, HO Paranaíba IPRO, BMX Foco IPRO, BMX Bônus IPRO, RK 8115 IPRO, RK 6719 IPRO, RK 7518 IPRO e NS 8399 IPRO (Tabela 3). Em condições de alta disponibilidade de P no solo, o diâmetro do caule variou de 8,1 a 11,4 mm, e foi significativamente maior nos cultivares de soja TMG 2383 IPRO, TMG 2381 IPRO, TMG 7067 IPRO, TMG 7063 IPRO, HO Cristalino IPRO, HO Paranaíba IPRO, BMX Foco IPRO, BMX Bônus IPRO, RK 8115 IPRO, RK 6719 IPRO e ST 797 IPRO (Tabela 3).

Tabela 3. Efeito dos níveis de adubação fosfatada na altura de planta (AP), diâmetro do caule (DC), área foliar (AF), matéria seca da parte aérea (MSPA), matéria seca das raízes (MSR) e matéria seca total (MST) dos cultivares de soja [*Glycine max* (L.) Merrill.] aos 42 dias quando cultivados em solo arenoso do Cerrado. UEMS/Cassilândia, 2021.

Cultivar	AP (cm)	DC (mm)	AF (dm ²)	MSPA (g)	MSR (g)	MST (g)
Nível Baixo de Fósforo (20 mg kg⁻¹ de P)						
TMG 2383 IPRO	38,2 d	9,7 a	16,1 b	11,8 b	7,6 b	19,4 b
TMG 2381 IPRO	53,0 a	10,1 a	17,8 a	15,8 a	10,3 a	26,0 a
TMG 2378 IPRO	39,5 c	8,5 b	17,2 a	12,3 b	7,6 b	19,9 b
TMG 7067 IPRO	46,0 b	10,6 a	15,0 b	15,3 a	10,3 a	25,5 a
TMG 7063 IPRO	41,2 c	10,6 a	15,8 b	14,2 a	11,1 a	25,3 a
TMG 2165 IPRO	34,7 d	9,2 a	16,2 b	14,5 a	9,8 a	24,3 a
TMG 7061 IPRO	39,0 c	10,4 a	16,5 b	16,9 a	9,7 a	26,5 a
97R50 IPRO	41,5 c	9,4 a	17,5 a	13,6 a	10,4 a	24,0 a
98R31 IPRO	40,2 c	7,7 b	17,9 a	11,8 b	7,9 b	19,7 b
98R35 IPRO	49,8 b	8,3 b	19,9 a	13,5 a	11,9 a	25,4 a
HO Cristalino IPRO	41,0 c	10,3 a	17,9 a	11,5 b	10,1 a	21,6 b
HO Maracaí IPRO	42,7 c	9,6 a	14,0 b	13,1 b	11,2 a	24,3 a
HO Paranaíba IPRO	41,8 c	10,3 a	17,5 a	15,3 a	9,4 b	24,8 a
BMX Foco IPRO	35,7 d	9,5 a	14,9 b	11,4 b	9,4 b	20,7 b
BMX Bônus IPRO	43,7 c	9,5 a	20,9 a	17,1 a	12,1 a	29,1 a
ST 777 IPRO	34,5 d	9,2 b	14,6 b	11,0 b	8,1 b	19,1 b
ST 797 IPRO	42,5 c	9,0 b	18,3 a	14,3 a	11,6 a	25,9 a
RK 8115 IPRO	36,3 d	9,7 a	14,6 b	11,1 b	8,8 b	19,9 b
RK 6719 IPRO	48,7 b	10,5 a	17,5 a	16,6 a	9,1 b	25,7 a
RK 7518 IPRO	48,0 b	9,6 a	15,9 b	13,4 a	8,2 b	21,6 b
RK 8317 IPRO	52,3 a	8,7 b	16,5 b	12,4 b	7,9 b	20,2 b
M 5917 IPRO	35,0 d	7,6 b	11,2 b	11,2 b	8,7 b	19,9 b
NS 8399 IPRO	42,2 c	9,5 a	18,9 a	14,0 a	9,0 b	23,1 a
NS 7007 IPRO	43,7 c	9,1 b	15,9 b	14,3 a	7,5 b	21,8 b
NS 7505 IPRO	34,0 d	8,3 b	14,1 b	10,1 b	6,8 b	16,9 b

Nível alto de Fósforo (200 mg kg ⁻¹ de P)						
TMG 2383 IPRO	39,2 d	11,0 a	24,5 b	17,1 b	8,5 b	25,5 b
TMG 2381 IPRO	59,5 a	11,0 a	24,9 b	22,0 a	9,2 b	31,2 a
TMG 2378 IPRO	44,2 c	9,2 b	22,4 b	16,4 b	7,9 b	24,4 b
TMG 7067 IPRO	49,5 b	11,4 a	19,7 c	18,8 b	9,1 b	27,9 a
TMG 7063 IPRO	42,0 c	11,0 a	24,1 b	19,3 a	8,5 b	27,8 a
TMG 2165 IPRO	37,8 d	9,7 b	21,9 b	16,5 b	8,2 b	24,8 b
TMG 7061 IPRO	41,5 c	9,6 b	19,9 c	19,5 a	10,2 a	29,6 a
97R50 IPRO	44,3 c	9,7 b	25,0 b	15,5 b	6,3 b	21,8 b
98R31 IPRO	43,3 c	8,1 b	27,4 a	16,4 b	7,5 b	24,0 b
98R35 IPRO	46,3 b	9,8 b	25,0 b	19,4 a	9,9 a	29,3 a
HO Cristalino IPRO	41,8 c	10,4 a	21,8 b	16,0 b	8,1 b	24,1 b
HO Maracaí IPRO	44,5 c	9,9 b	23,7 b	17,9 a	9,7 a	27,6 a
HO Paranaíba IPRO	39,0 d	10,4 a	21,2 c	16,1 b	11,0 a	27,1 a
BMX Foco IPRO	37,7 d	10,1 a	19,3 c	14,1 c	10,6 a	24,7 b
BMX Bônus IPRO	46,2 b	10,9 a	28,7 a	22,4 a	12,2 a	34,7 a
ST 777 IPRO	41,7 c	9,3 b	20,2 c	14,2 c	10,0 a	24,1 b
ST 797 IPRO	45,2 c	10,0 a	22,9 b	19,0 a	12,1 a	31,1 a
RK 8115 IPRO	43,0 c	10,4 a	21,7 b	16,3 b	8,6 b	24,9 b
RK 6719 IPRO	49,3 b	10,9 a	23,6 b	19,8 a	10,0 a	29,8 a
RK 7518 IPRO	46,7 b	9,5 b	23,0 b	21,1 a	8,8 b	29,9 a
RK 8317 IPRO	43,5 c	9,0 b	15,8 d	20,4 a	11,4 a	31,8 a
M 5917 IPRO	37,2 d	9,1 b	15,5 d	15,5 b	10,5 a	26,0 b
NS 8399 IPRO	44,3 c	9,7 b	24,7 b	19,0 a	11,4 a	30,4 a
NS 7007 IPRO	41,5 c	9,5 b	18,3 c	18,3 a	9,7 a	28,0 a
NS 7505 IPRO	32,7 e	8,4 b	17,6 d	11,8 c	6,3 b	18,1 b

Médias seguidas da mesma letra nas colunas, para cada nível de adubação fosfatada, não diferem pelo teste Scott-Knott, ao nível de 1% de probabilidade.

A área foliar das plantas de soja cultivadas em condições de baixa disponibilidade de P no solo variou de 11,3 a 20,9 dm², e foi significativamente maior nos cultivares de soja TMG 2381 IPRO, TMG 2378 IPRO, 97R50 IPRO, 98R31 IPRO, 98R35 IPRO, HO Cristalino IPRO, HO Paranaíba IPRO, BMX Bônus IPRO, ST 797 IPRO, RK 6719 IPRO e NS 8399 IPRO (Tabela 3). Em condições de alta disponibilidade de P no solo, a área foliar das plantas de soja variou de 15,5 a 28,7 dm², e foi significativamente maior nos cultivares de soja 98R31 IPRO e BMX Bônus IPRO, ao passo que o menor valor de área foliar foi obtido nos cultivares M5917 IPRO, RK 8317 IPRO e NS 7505 IPRO (Tabela 3). A área foliar é uma importante característica morfológica das plantas que está diretamente associada ao crescimento das plantas e é um importante indicador da produtividade da cultura. Além disso, a área foliar representa a área útil da planta para a realização da fotossíntese e, portanto, tem grande importância para a produção de carboidratos, lipídeos, proteínas e fibras (FAVARIN et al., 2002; PEIXOTO, 2011). Portanto, a eficiência do processo fotossintético depende da taxa de fotossíntese por unidade de área foliar, as quais

são influenciadas pela dimensão do sistema fotoassimilador. Nesse contexto, cultivares com melhor resposta ao uso de P em relação ao aumento da área foliar podem ter maior produção de fotoassimilados a serem utilizados pela planta, aumentando a quantidade de biomassa acumulada e, conseqüentemente, maior potencial de produção de grãos.

A produção de matéria seca da parte aérea das plantas de soja em condições de baixa disponibilidade de P no solo variou de 10,1 a 17,0 g/planta, e foi significativamente maior nos cultivares de soja TMG 2381 IPRO, TMG 7067 IPRO, TMG 7063 IPRO, TMG 2165 IPRO, TMG 7061 IPRO, 97R50 IPRO, 98R35 IPRO, HO Paranaíba IPRO, BMX Bônus IPRO, ST 797 IPRO, RK 7518 IPRO, NS 8399 IPRO e NS 7007 IPRO (Tabela 3). Em condições de alta disponibilidade de P no solo, a produção de matéria seca da parte aérea das plantas de soja variou de 11,8 a 22,4 g/planta, e foi significativamente maior nos cultivares de soja TMG 2381 IPRO, TMG 7067 IPRO, TMG 7063 IPRO, TMG 7061 IPRO, 98R35 IPRO, HO Maracaí IPRO, BMX Bônus IPRO, ST 797 IPRO, RK 6719 IPRO, RK 7518 IPRO, RK 8317 IPRO, NS 8399 IPRO e NS 7007 IPRO, ao passo que a menor produção de matéria seca da parte aérea das plantas de soja foi obtido nos cultivares ST 777 IPRO, BMX Foco IPRO e NS 7505 IPRO (Tabela 3).

A produção de matéria seca das raízes das plantas de soja em condições de baixa disponibilidade de P variou de 6,8 a 12,1 g/planta, e foi significativamente maior nos cultivares de soja TMG 2381 IPRO, TMG 7067 IPRO, TMG 7063 IPRO, TMG 2165 IPRO, TMG 7061 IPRO, 97R50 IPRO, 98R35 IPRO, HO Cristalino IPRO, HO Maracaí IPRO, BMX Bônus IPRO e ST 797 IPRO (Tabela 3). Em condições de alta disponibilidade de P no solo, a produção de matéria seca das raízes das plantas de soja variou de 6,3 a 12,2 g/planta, e foi significativamente maior nos cultivares de soja ST 797 IPRO e NS 8399 IPRO, ao passo que a menor produção de matéria seca das raízes foi obtido nos cultivares TMG 7061 IPRO, 98R35 IPRO, HO Paranaíba IPRO, HO Maracaí IPRO, BMX Bônus IPRO, BMX Foco IPRO, ST 777 IPRO, ST 797 IPRO, RK 6719 IPRO, RK 8317 IPRO, M 5917 IPRO, NS 8399 IPRO e NS 7007 IPRO (Tabela 3).

A produção de matéria seca total das plantas de soja em condições de baixa disponibilidade de P no solo variou de 16,8 a 29,1 g/planta, e foi significativamente maior nos cultivares de soja TMG 2381 IPRO, TMG 7067 IPRO, TMG 7063 IPRO, TMG 2165 IPRO, TMG 7061 IPRO, 97R50 IPRO, 98R35 IPRO, HO Maracaí IPRO, HO Paranaíba IPRO, BMX Bônus IPRO, ST 797 IPRO, RK 6719 IPRO e NS 8399 IPRO (Tabela 3). Em condições de alta disponibilidade de P no solo, a produção de matéria seca total das plantas

de soja variou de 18,2 a 34,7 g, e foi significativamente maior nos cultivares de soja TMG 2381 IPRO, TMG 7067 IPRO, TMG 7063 IPRO, TMG 7061 IPRO, 98R35 IPRO, HO Maracaí IPRO, HO Paranaíba IPRO, BMX Bônus IPRO, ST 797 IPRO, RK 6719 IPRO, RK7518 IPRO, RK 8317 IPRO, NS 8399 IPRO e NS 7007 IPRO (Tabela 3). Resultados semelhantes foram reportados por Perez (2017), o qual constatou que o aumento na produção de matéria seca em plantas leguminosas está diretamente relacionado à dose de fertilizante fosfatado aplicada. O P tem papel vital em diversas funções metabólicas das plantas, sendo um elemento essencial para os processos de respiração, fotossíntese, divisão e crescimento celular, transferência e armazenamento de energia, além de ser um componente estrutural de coenzimas, proteínas, DNA e RNA, portanto, o P auxilia na melhoria do crescimento e desenvolvimento das plantas, especialmente no crescimento do sistema radicular (DECHEN; NACHTIGALL, 2007). Neste contexto, Rosolem e Marcello (1998) mostraram que o acúmulo de matéria seca das raízes de soja não foi alterado com a aplicação dos níveis de adubação fosfatada, no entanto, houve aumento significativo no comprimento das raízes e a formação de raízes mais finas com a aplicação dos maiores níveis de adubação fosfatada.

Na colheita, a altura final das plantas de soja em condições de baixa disponibilidade de P no solo variou de 52,3 a 87,0 cm, e foi significativamente maior nos cultivares de soja TMG 2381 IPRO, 98R35 IPRO, RK 6719 IPRO, RK 7518 IPRO e RK 8317 IPRO, ao passo que a menor altura final de planta foi obtida para os cultivares TMG 2165 IPRO, BMX Foco IPRO, ST 777 IPRO, M 5917 IPRO, RK 8115 IPRO e NS 7505 IPRO (Tabela 4). Em condições de alta disponibilidade de P no solo, a altura final das plantas de soja variou de 62,7 a 101,0 cm, e foi significativamente maior no cultivar de soja TMG 2381 IPRO, ao passo que a menor altura final das plantas de soja foi obtida nos cultivares TMG 2165 IPRO, TMG 7063 IPRO, BMX Foco IPRO, M 4917 IPRO e NS 7505 IPRO (Tabela 4). A estatura média das plantas de soja situou-se dentro dos valores reportados por Sedyama et al. (2015), os quais citam que a altura mínima desejável para a colheita mecanizada da cultura da soja está em torno de 50 a 60 cm.

A altura de inserção da primeira vagem das plantas de soja em condições de baixa disponibilidade de P no solo variou de 10,7 a 22,8 cm, e foi significativamente maior nos cultivares de soja TMG 2381 IPRO, 98R31 IPRO, 98R35 IPRO, HO Maracaí IPRO, BMX Bônus IPRO, ST 797 IPRO, RK 7518 IPRO, RK 8115 IPRO, NS 7007 IPRO e NS 8399 IPRO (Tabela 4). Em condições de alta disponibilidade de P no solo, a altura de inserção

da primeira vagem variou de 8,8 a 20,5 cm, e foi significativamente maior nos cultivares de soja TMG 2381 IPRO, 97R50 IPRO, 98R31 IPRO, HO Cristalino IPRO, HO Maracaí IPRO, HO Paranaíba IPRO, BMX Bônus IPRO, RK 6719 IPRO, RK 7518 IPRO e NS 8399 IPRO (Tabela 4). Rezende et al. (2005) reportaram que apesar do P ser exigido durante todo o ciclo da cultura da soja, 60% da demanda total de P da cultura é absorvido após o início do florescimento das plantas (estádio R1). Portanto, como a altura de inserção da primeira vagem já é definida antes do início do florescimento, constatou-se que a adubação fosfatada tem pouco efeito sobre a altura de inserção da primeira vagem.

Tabela 4. Efeito dos níveis de adubação fosfatada na altura final de planta (AFP), altura de inserção da primeira vagem (APV), número de vagens por planta (NVP), número de grãos por vagem (NGV), massa de mil grãos (M1000) e produção de grãos por vaso (PG) dos cultivares de soja [*Glycine max* (L.) Merrill.] cultivados em solo arenoso do Cerrado. UEMS/Cassilândia, 2021.

Cultivar	AFP (cm)	APV (cm)	NVP	NGV	M1000 (g)	PG (g/vaso)
Nível Baixo de Fósforo (20 mg kg⁻¹ de P)						
TMG 2383 IPRO	62,7 c	13,2 b	27,7 b	2,09 a	210 b	24,3 a
TMG 2381 IPRO	87,0 a	22,8 a	38,3 a	1,95 a	138 c	20,4 b
TMG 2378 IPRO	65,3 c	10,7 b	29,7 b	2,10 a	196 c	24,0 a
TMG 7067 IPRO	76,2 b	13,3 b	26,0 c	1,93 a	218 b	21,8 b
TMG 7063 IPRO	65,5 c	13,5 b	29,3 b	1,90 a	205 b	22,8 a
TMG 2165 IPRO	58,8 d	13,8 b	24,3 c	2,03 a	257 a	24,8 a
TMG 7061 IPRO	64,4 c	12,2 b	24,7 c	1,95 a	233 a	22,4 b
97R50 IPRO	70,0 b	14,5 b	29,7 b	2,19 a	195 c	25,2 a
98R31 IPRO	67,2 c	17,0 a	39,0 a	1,75 a	180 c	24,4 a
98R35 IPRO	77,7 a	12,8 b	35,3 a	1,80 a	182 c	23,2 a
HO Cristalino IPRO	68,3 c	15,2 b	32,3 a	2,19 a	168 c	23,6 a
HO Maracaí IPRO	71,1 b	18,3 a	26,7 b	2,14 a	201 c	22,8 a
HO Paranaíba IPRO	67,4 c	11,5 b	31,7 a	2,10 a	191 c	25,3 a
BMX Foco IPRO	60,8 d	13,8 b	29,7 b	2,11 a	177 c	22,1 b
BMX Bônus IPRO	74,6 b	17,8 a	34,7 a	1,89 a	196 c	27,0 a
ST 777 IPRO	52,3 d	13,0 b	33,3 a	2,11 a	180 c	25,1 a
ST 797 IPRO	72,8 b	19,7 a	29,3 b	2,14 a	185 c	24,6 a
RK 8115 IPRO	61,2 d	15,8 a	30,3 b	2,30 a	183 c	25,3 a
RK 6719 IPRO	80,5 a	14,5 b	30,7 b	2,12 a	185 c	25,7 a
RK 7518 IPRO	80,1 a	18,7 a	27,7 b	2,05 a	182 c	20,6 b
RK 8317 IPRO	80,6 a	11,1 b	27,0 b	2,00 a	182 c	21,7 b
M 5917 IPRO	56,7 d	14,7 b	22,3 c	2,04 a	205 b	17,5 c
NS 8399 IPRO	70,0 b	16,8 a	25,3 c	2,22 a	211 b	23,7 a
NS 7007 IPRO	75,0 b	16,0 a	19,7 c	1,98 a	232 a	18,6 c
NS 7505 IPRO	56,0 d	11,8 b	29,0 b	1,99 a	189 c	21,7 b

Nível Alto de Fósforo (200 mg kg⁻¹ de P)						
TMG 2383 IPRO	71,9 c	11,9 b	39,3 c	2,29 a	181 a	32,5 a
TMG 2381 IPRO	101,0 a	19,0 a	40,7 b	1,86 a	160 b	27,0 c
TMG 2378 IPRO	77,7 b	14,3 b	42,3 b	2,21 a	150 b	28,2 c
TMG 7067 IPRO	81,8 b	12,7 b	33,0 c	1,96 a	182 a	23,5 d
TMG 7063 IPRO	67,8 d	14,3 b	44,3 b	2,10 a	165 b	30,7 b
TMG 2165 IPRO	65,5 d	13,2 b	39,0 c	2,29 a	184 a	32,7 a
TMG 7061 IPRO	70,0 c	14,3 b	34,7 c	2,02 a	185 a	25,8 c
97R50 IPRO	75,0 c	15,3 a	42,0 b	2,21 a	170 b	30,4 b
98R31 IPRO	69,4 c	15,3 a	48,0 a	2,23 a	149 b	31,8 a
98R35 IPRO	79,9 b	12,7 b	45,7 a	2,32 a	155 b	32,7 a
HO Cristalino IPRO	73,0 c	19,0 a	37,3 c	2,14 a	161 b	30,0 b
HO Maracaí IPRO	78,4 b	20,5 a	35,7 c	2,08 a	172 b	29,2 b
HO Paranaíba IPRO	71,3 c	15,0 a	37,0 c	2,19 a	181 a	29,0 b
BMX Foco IPRO	64,8 d	10,5 b	34,3 c	2,12 a	177 a	29,9 b
BMX Bônus IPRO	76,2 b	18,3 a	49,7 a	2,09 a	174 b	36,7 a
ST 777 IPRO	70,9 c	14,2 b	41,3 b	2,16 a	179 a	32,0 a
ST 797 IPRO	77,8 b	14,5 b	43,0 b	2,09 a	153 b	27,4 c
RK 8115 IPRO	77,7 b	12,8 b	43,0 b	2,06 a	199 a	33,6 a
RK 6719 IPRO	82,1 b	17,0 a	37,7 c	1,94 a	196 a	28,6 b
RK 7518 IPRO	83,1 b	15,7 a	40,0 b	2,17 a	169 b	29,0 b
RK 8317 IPRO	87,4 b	10,7 b	33,3 c	2,30 a	203 a	30,4 b
M 5917 IPRO	62,3 d	13,0 b	32,3 c	1,99 a	191 a	24,0 d
NS 8399 IPRO	75,0 c	15,5 a	36,7 c	1,95 a	219 a	31,1 b
NS 7007 IPRO	76,2 b	8,8 b	36,0 c	1,95 a	204 a	27,5 c
NS 7505 IPRO	66,1 d	9,8 b	34,0 c	2,11 a	159 b	22,5 d

Médias seguidas da mesma letra nas colunas, para cada nível de adubação fosfatada, não diferem pelo teste Scott-Knott, ao nível de 1% de probabilidade.

O número de vagens por planta em condições de baixa disponibilidade de P no solo variou de 19,7 a 39,0, e foi significativamente maior nos cultivares de soja TMG 2381 IPRO, 98R31 IPRO, 98R35 IPRO, HO Cristalino IPRO, HO Paranaíba IPRO, BMX Bônus IPRO, ST 777 IPRO, ao passo que o menor número de vagens por planta foi obtido nos cultivares TMG 7067 IPRO, TMG 7061 IPRO, TMG 2165 IPRO, M5917 IPRO, M5917 IPRO, NS 8399 IPRO e NS 7007 IPRO (Tabela 4). Em condições de alta disponibilidade de P no solo, o número de vagens por planta variou de 32,3 a 49,7, e foi significativamente maior nos cultivares de soja 98R31 IPRO, 98R35 IPRO e BMX Bônus IPRO, ao passo que o menor número de vagens por planta foi obtido nos cultivares TMG 2383 IPRO, TMG 7067 IPRO, TMG 2165 IPRO, TMG 7061 IPRO, HO Cristalino IPRO, HO Maracaí IPRO, HO Paranaíba IPRO, BMX Foco IPRO, RK 6719 IPRO, RK 8317 IPRO, M 5917 IPRO, NS 8399 IPRO e NS 7007 IPRO (Tabela 4).

O número de grãos por vagem em condições de baixa e alta disponibilidade de P no solo variou de 1,75 a 2,30 e de 1,86 a 2,32 grãos, respectivamente, e não houve diferença significativa entre os diferentes cultivares de soja (Tabela 4).

A massa de 1000 grãos em condições de baixa disponibilidade de P no solo variou de 138 a 257 g, e foi significativamente maior nos cultivares de soja TMG 2165 IPRO, TMG 7061 IPRO e NS 7007 IPRO, ao passo que o menor número de vagens por planta foi obtido nos cultivares TMG 2381 IPRO, TMG 2378 IPRO, 97R50 IPRO, 98R31 IPRO, 98R35 IPRO, HO Cristalino IPRO, HO Maracaí IPRO, HO Paranaíba IPRO, BMX Foco IPRO, BMX Bônus IPRO, ST 777 IPRO, ST 797 IPRO, RK 8115 IPRO, RK 6719 IPRO, RK 7518 IPRO, RK 8317 IPRO e NS 7505 IPRO (Tabela 4). Em condições de alta disponibilidade de P no solo, a massa de 1000 grãos variou de 149 a 219 g, e foi significativamente maior nos cultivares de soja TMG 2383 IPRO, TMG 7067 IPRO, TMG 2165 IPRO, TMG 7061 IPRO, HO Paranaíba IPRO, BMX Foco IPRO, ST 777 IPRO, RK 6719 IPRO, RK 8317 IPRO, RK 8115 IPRO, M 5917 IPRO, NS 8399 IPRO e NS 7007 IPRO (Tabela 4). Esses resultados corroboram com os reportados por Santos et al. (2015) e Silva et al. (2015), os quais observaram resposta positiva da aplicação de altos níveis de adubação fosfatada na massa de 1000 sementes de soja. O P tem papel vital nos processos divisão e crescimento celular, transferência e armazenamento de energia e, portanto, o P auxilia na formação e no enchimento dos grãos (DECHEN; NACHTIGALL, 2007). De modo similar, Serafim et al. (2012) também reportaram aumento na produtividade e na massa de mil grãos com a aplicação da adubação fosfatada.

A produção de grãos em condições de baixa disponibilidade de P no solo variou de 17,5 a 27,0 g, e foi significativamente maior nos cultivares de soja TMG 2383 IPRO, TMG 2378 IPRO, TMG 7063 IPRO, TMG 2165 IPRO, 97R50 IPRO, 98R31 IPRO, 98R35 IPRO, HO Cristalino IPRO, HO Maracaí IPRO, HO Paranaíba IPRO, BMX Bônus IPRO, ST 777 IPRO, ST 797 IPRO, RK 8115 IPRO, RK 6719 IPRO e NS 8399 IPRO, ao passo que a menor produção de grãos foi obtida nos cultivares M 5917 IPRO e NS 7007 IPRO (Tabela 4). Em condições de alta disponibilidade de P no solo, a produção de grãos variou de 22,5 a 36,7 g, e foi significativamente maior nos cultivares de soja TMG 2383 IPRO, TMG 2165 IPRO, 98R31 IPRO, 98R35 IPRO, BMX Bônus IPRO, ST 777 IPRO e RK 8115 IPRO, ao passo que a menor produção de grãos foi obtida nos cultivares TMG 7067 IPRO, M5917 IPRO e NS 7505 IPRO (Tabela 4). O P tem papel fundamental na produção da soja devido ao seu efeito direto em algumas características dos grãos, portanto, a

aplicação de níveis de adubação fosfatada pode resultar no aumentando linear da produtividade e da massa das sementes (GONÇALVES et al, 2008; BATISTELLA-FILHO et al. 2013).

O teor de P nas folhas de soja em condições de baixa disponibilidade de P no solo variou de 1,96 a 3,24 g kg⁻¹ de P, e foi significativamente maior nos cultivares de soja TMG 7061 IPRO, 98R31 IPRO, HO Cristalino IPRO, BMX Foco IPRO, BMX Bônus IPRO, ST 797 IPRO, RK 8115 IPRO, RK8317 IPRO e M5917 IPRO (Figura 2). A absorção de P pelas plantas de soja com a aplicação de nível baixo de adubação fosfatada evidencia que os teores de P no tecido foliar ficaram pouco abaixo da faixa considerada adequada para a cultura. Segundo Malavolta et al. (1997), a faixa de teores adequados de P para a cultura da soja situa-se entre 3,0 a 5,0 g kg⁻¹. No entanto, em condições de alta disponibilidade de P no solo, o teor de P nas folhas de soja variou de 3,7 a 6,7 g kg⁻¹, indicando que os teores de P no tecido foliar da soja ficaram no intervalo considerado adequado ou pouco acima do nível superior considerado ideal para a cultura. O aumento do teor de P nas folhas de soja com a aplicação do alto nível de adubação fosfatada reflete a maior disponibilidade desse nutriente no solo. Em condições de alta disponibilidade de P no solo, o teor de P nas folhas foi significativamente maior nos cultivares de soja TMG 7061 IPRO, BMX Foco IPRO e RK 8115 IPRO (Figura 2).

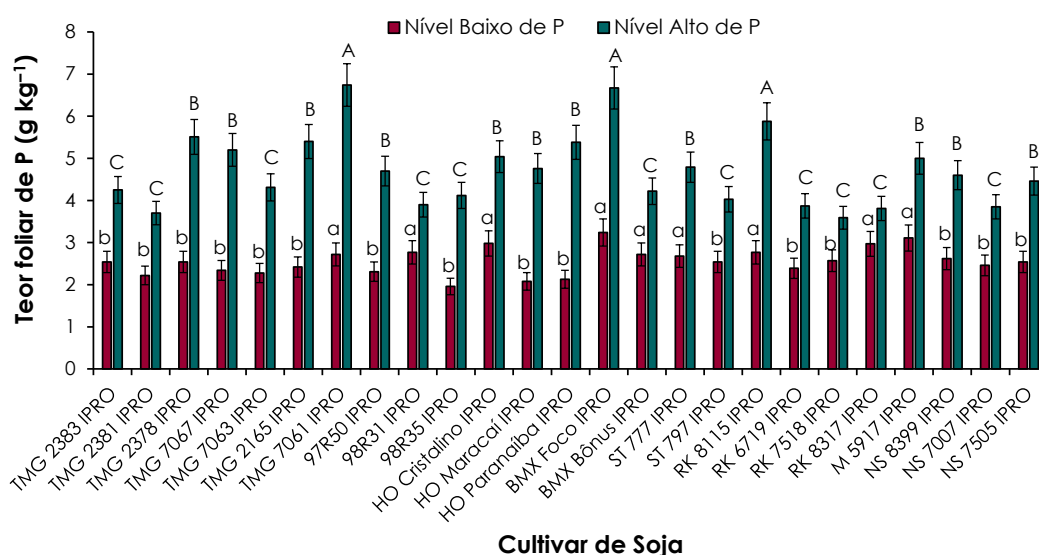


Figura 2. Efeito dos níveis de adubação fosfatada no teor de P nas folhas dos cultivares de soja [*Glycine max* (L.) Merrill.] cultivados em solo arenoso do Cerrado. Barras seguidas da mesma letra minúscula para o nível baixo de adubação fosfatada (20 mg kg⁻¹ de P), ou seguida da mesma letra maiúscula o nível alto de adubação fosfatada (200 mg kg⁻¹ de P) não diferem pelo teste Scott-Knott, ao nível de 1% de probabilidade. UEMS/Cassilândia,

2021.

A eficiência de utilização do P aplicado ao solo variou de 87,5 a 135,0 kg kg⁻¹ em condições de baixa disponibilidade de P no solo e de 11,7 a 18,4 kg kg⁻¹ em condições de alta disponibilidade de P no solo (Figura 3). Em condições de baixa disponibilidade de P no solo, a eficiência de utilização de P foi significativamente maior nos cultivares de soja TMG 2383 IPRO, TMG 7328 IPRO, TMG 2165 IPRO, 97R50 IPRO, 98R31 IPRO, HO Paranaíba IPRO, BMX Bônus IPRO, ST 777 IPRO, ST 797 IPRO, RK 8115 IPRO e RK 6719 IPRO, ao passo que a menor eficiência de utilização de P foi observada nos cultivares TMG 2381 IPRO, M5917 IPRO e NS 7007 IPRO (Figura 3). Em condições de alta disponibilidade de P no solo, a eficiência de utilização de P foi significativamente maior nos cultivares de soja TMG 2383 IPRO, TMG 7063 IPRO, TMG 2165 IPRO, 97R50 IPRO, 98R31 IPRO, 98R35 IPRO, HO Cristalino IPRO, HO Paranaíba IPRO, HO Maracá IPRO, BMX Foco IPRO, BMX Bônus IPRO, ST 777 IPRO, RK 8115 IPRO, RK 6719 IPRO, RK 7518 IPRO, RK 8317 IPRO e NS 8399 IPRO (Figura 3).

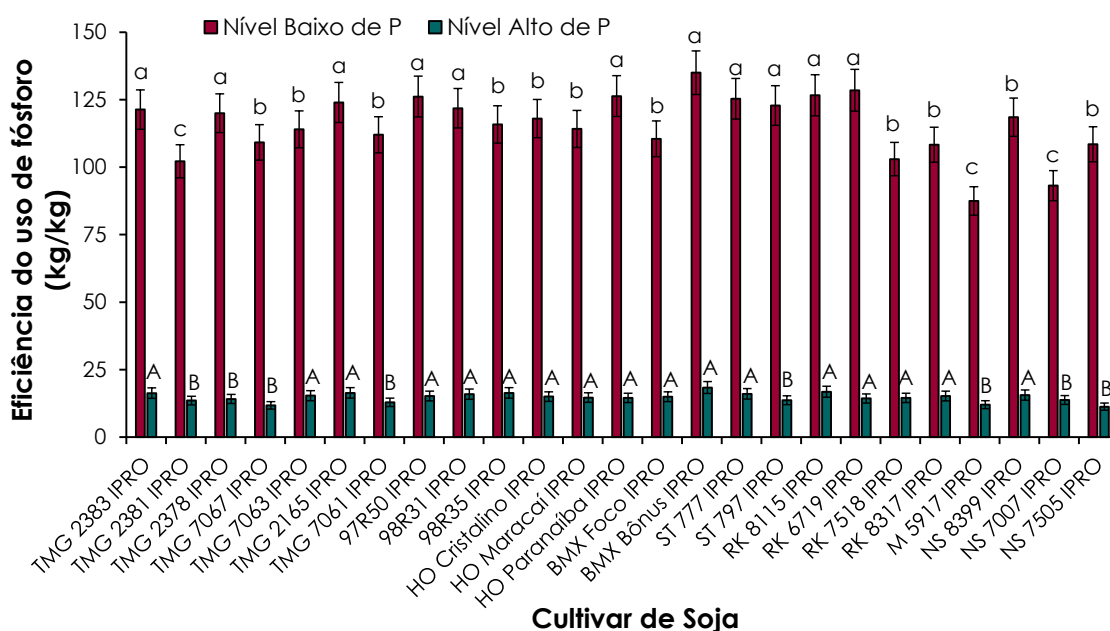


Figura 3. Efeito do nível de adubação fosfatada na eficiência de uso do P pelos cultivares de soja [*Glycine max* (L.) Merrill.] cultivados em solo arenoso do Cerrado. Barras seguidas da mesma letra minúscula para o baixo nível de adubação fosfatada (20 mg kg⁻¹ de P), ou seguida da mesma letra maiúscula o alto nível da adubação fosfatada (200 mg kg⁻¹ de P) não diferem pelo teste Scott-Knott, ao nível de 1% de probabilidade. UEMS/Cassilândia, 2021.

A menor eficiência do uso de P com a aplicação de alta dose de fertilizante fosfatado está relacionado à Lei dos Incrementos Decrescentes. A Lei dos Incrementos Decrescentes diz sobre o fato de que se “adicionar doses crescentes de um nutriente, o maior incremento em produção será obtido com a primeira dose, mas com aplicações sucessivas do nutriente os incrementos de produção e a eficiência do uso de nutrientes serão cada vez menores” (MALAVOLTA et al., 1997). Portanto, a aplicação de alta dose de fertilizante fosfatado (200 mg kg^{-1} de P, equivalente à 400 kg ha^{-1} de P ou 916 kg ha^{-1} de P_2O_5) resultou na menor eficiência de utilização do P quando comparado a menor dose de fertilizante fosfatado (20 mg kg^{-1} de P, equivalente à 40 kg ha^{-1} de P ou $91,6 \text{ kg ha}^{-1}$ de P_2O_5).

A eficiência de resposta à adubação fosfatada dos cultivares de soja variou de 0,44 a 5,39 (Figura 4). A maior resposta à adubação fosfatada foi observada para os cultivares 98R35 IPRO, BMX Bônus IPRO, RK 8115 IPRO, RK 7518 IPRO, RK 8317 IPRO e NS 7007 IPRO, ao passo que a menor resposta a adubação fosfatada foi obtida com os cultivares TMG 7067 IPRO e NS 7505 IPRO (Figura 4).

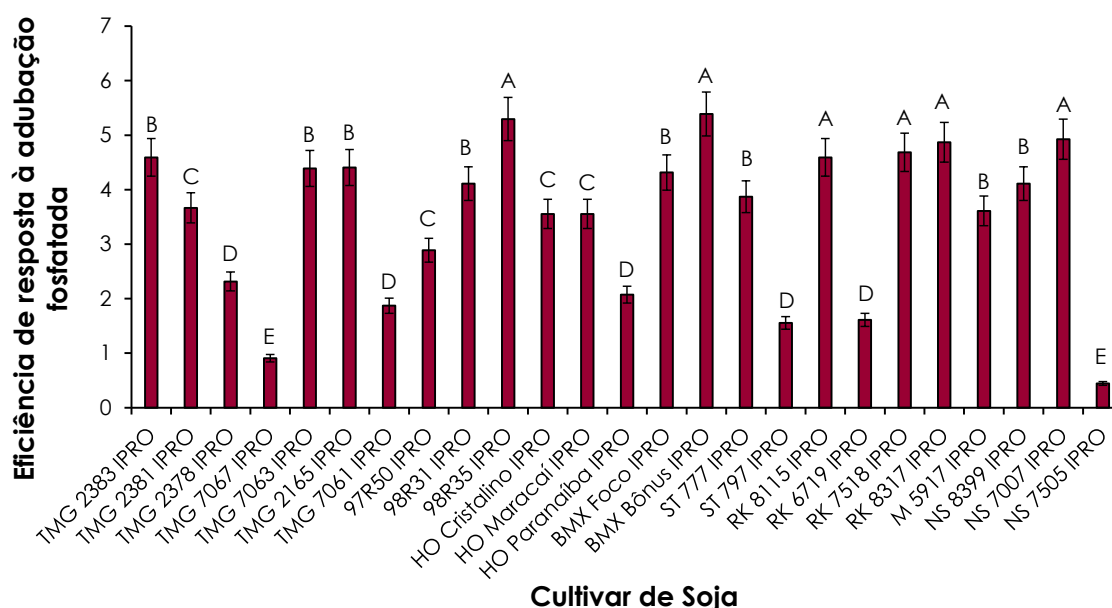


Figura 4. Eficiência de resposta à adubação fosfatada dos diferentes cultivares de soja [*Glycine max* (L.) Merrill.] quando cultivadas em solo arenoso do Cerrado. Barras seguidas da mesma letra não diferem pelo teste Scott-Knott, ao nível de 1% de probabilidade. UEMS/Cassilândia, 2021.

A classificação dos cultivares de soja quanto à eficiência do uso e a resposta à aplicação de P foi determinada pela metodologia proposta por Fageria e Kluthcouski

(1980). Com base nesta metodologia, 14 cultivares de soja foram classificados como eficientes no uso de P, pois apresentaram as maiores médias de produção de grãos quando cultivadas em condições de baixa disponibilidade de P no solo, portanto, estão representadas no primeiro e quarto quadrante da Figura 5. O uso de cultivares eficientes na absorção e na utilização de P é uma importante estratégia para aumentar a eficiência da adubação fosfatada e aumentar a produção de grãos de soja, quando esta cultura é cultivada em solos arenosos da região do Cerrado de baixa fertilidade natural. Por sua vez, 17 cultivares de soja foram classificados como responsivos a adubação fosfatada, pois apresentaram as maiores médias de produção de grãos quando cultivadas em condições de alta disponibilidade de P no solo, portanto, estes cultivares de soja estão representadas no primeiro e segundo quadrante da Figura 5. Vários estudos indicam a existência de variabilidade genética entre os genótipos quanto à capacidade de absorção e utilização de nutrientes, inclusive o P (REIS et al., 2005; FAGERIA, et al., 2007).

Com base na metodologia proposta por Fageria e Kluthcouski (1980), os cultivares de soja TMG 2383 IPRO, TMG 2165 IPRO, 98R31 IPRO, 98R35 IPRO, HO Cristalino IPRO, BMX Bônus IPRO, ST 777 IPRO, RK 8115 IPRO e NS 8399 IPRO foram classificados como eficientes quanto ao uso de P e responsivos à aplicação de fertilizante fosfatado, pois foram os cultivares com produção de grãos acima da média de todos os genótipos sob condições de baixa e alta disponibilidade de P no solo (primeiro quadrante da Figura 5) (Tabela 5). Os cultivares pertencentes a este grupo podem ser recomendados para o cultivo em áreas agrícolas com solos de baixa disponibilidade de P e em áreas agrícolas que serão adubadas com altas doses de fertilizantes fosfatados.

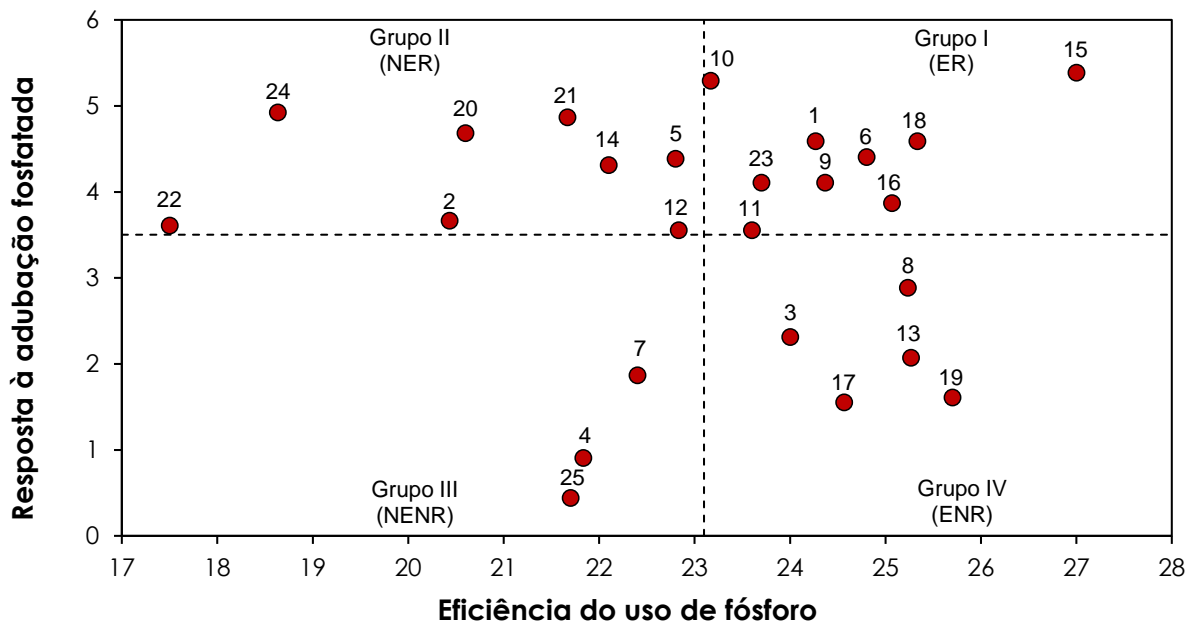


Figura 5. Posicionamento para a classificação dos 25 cultivares de soja [*Glycine max* (L.) Merrill.] em quatro categorias quanto à eficiência de uso do P do solo e a resposta à adubação fosfatada. (ER: Eficiente e responsivo; NER: Não-eficiente e responsivo; NENR: Não-eficiente e não-responsivo; ENR: Eficiente e não-responsivo). UEMS/Cassilândia, 2021.

Os cultivares de soja TMG 2381 IPRO, TMG 7063 IPRO, HO Maracaí IPRO, BMX Foco IPRO, RK 7518 IPRO, RK 8317 IPRO, M 5917 IPRO e NS 7007 IPRO foram classificados como não eficientes e responsivos, pois foram os cultivares com produção de grãos abaixo da média de todos os genótipos em condições de baixa disponibilidade de P no solo, no entanto, quando foram cultivados com a aplicação de alta dose de adubação fosfatada, teve resposta positiva na produção de grãos acima da média dos genótipos estudados (segundo quadrante da Figura 5) (Tabela 5). Os cultivares pertencente ao grupo dos genótipos não eficientes e responsivos são indicados para serem utilizados pelos produtores que empregam a utilização de alto nível de adubação fosfatada.

Os cultivares de soja TMG 7067 IPRO, TMG 7061 IPRO e NS 7505 IPRO foram classificados como não eficientes e não responsivos a aplicação de P, pois apresentaram produção de grãos abaixo da média em condições de baixa e alta disponibilidade de P do solo (terceiro quadrante da Figura 5) (Tabela 5). De acordo com a metodologia proposta nesse trabalho, os cultivares classificados como não eficientes e não responsivos não devem ser recomendados para serem cultivados em solos arenosos do Cerrado, independentemente da utilização de alta ou baixa dose de fertilizante fosfatado.

Tabela 5. Classificação dos 25 cultivares de soja [*Glycine max* (L.) Merrill.] quanto à eficiência do uso de P e à resposta à adubação fosfatada quando cultivados em solo arenoso do Cerrado. UEMS/Cassilândia, 2021.

Grupo	Classificação ¹	Cultivares
I	Eficiente e responsivo (ER)	TMG 2383 IPRO, TMG 2165 IPRO, 98R31 IPRO, 98R35 IPRO, HO Cristalino IPRO, BMX Bônus IPRO, ST 777 IPRO, RK 8115 IPRO, NS 8399 IPRO
II	Não-eficiente e responsivo (NER)	TMG 2381 IPRO, TMG 7063 IPRO, HO Maracaí IPRO, BMX Foco IPRO, RK 7518 IPRO, RK 8317 IPRO, M 5917 IPRO, NS 7007 IPRO
III	Não-eficiente e não-responsivo (NENR)	TMG 7067 IPRO, TMG 7061 IPRO, NS 7505 IPRO
IV	Eficiente e não-responsivo (ENR)	TMG 2378 IPRO, 97R50 IPRO, HO Paranaíba IPRO, ST 797 IPRO, RK 6719 IPRO

¹ Classificação com base no método proposto por Fageria e Kluthcouski (1980).

No quadrante das variedades eficientes e não responsivos estão os cultivares TMG 2378 IPRO, 97R50 IPRO, HO Paranaíba IPRO, ST 797 IPRO, RK 6719 IPRO (Figura 5 e Tabela 5). Estes cultivares de soja possui produção de grãos acima da média dos genótipos em condições de baixa disponibilidade de P, no entanto, tiveram índice de resposta a aplicação de P abaixo da média geral de todos os cultivares com a aplicação de alta dose de fertilizante fosfatado. Estes resultados evidenciam a falta de resposta destes cultivares de soja à melhoria do ambiente de produção com o aumento da disponibilidade de P do solo. Os cultivares de soja pertencente ao grupo dos genótipos eficientes e não responsivos devem ser recomendados para o cultivo em áreas agrícolas com baixa disponibilidade de P do solo ou, em situações, em que o produtor rural possui condição apenas de utilizar baixo nível de investimento com a adubação fosfatada para um determinado ano de cultivo de soja.

A diferenciação e a separação dos cultivares de soja eficientes a utilização de P do solo e responsivas à adubação fosfatada com a aplicação de baixa e alta dose de fertilizante fosfatado também foi realizada por meio do método de análise multivariada considerando-se todas as características morfológicas das plantas. Utilizando-se 50% de similaridade como critério para definição dos grupos, pelo método de agrupamento hierárquico da ligação de Ward, com base na distância euclidiana média padronizada (D), os 25 cultivares de soja cultivadas em condições de baixa disponibilidade de P foram separadas em quatro grupos, com desempenho similar dentro do grupo e divergente entre grupos (Figura 6).

O grupo 1, composto pelos cultivares de soja NS 7505 IPRO, TMG 2383 IPRO, TMG 2378 IPRO, ST 777 IPRO, RK 8115 IPRO, HO Cristalino IPRO e BMX Foco IPRO representou os genótipos com os valores variando de baixo a intermediário para a maioria das características morfológicas e componentes de produção da cultura e, portanto, foi considerado o grupo com desempenho de médio à inferior em condições de baixa disponibilidade de P do solo, ou seja, são os cultivares considerados estáveis e ineficientes quanto a utilização de P do solo.

O grupo 2, composto pelos cultivares M 5917 IPRO, NS 7007 IPRO, RK 7518 IPRO e RK 8317 IPRO representou os genótipos com os menores valores para as características morfológicas e componentes de produção, por isso, foram classificados com desempenho inferior em condições de baixa disponibilidade de P no solo, ou seja, são os cultivares de soja ineficientes na utilização de P do solo.

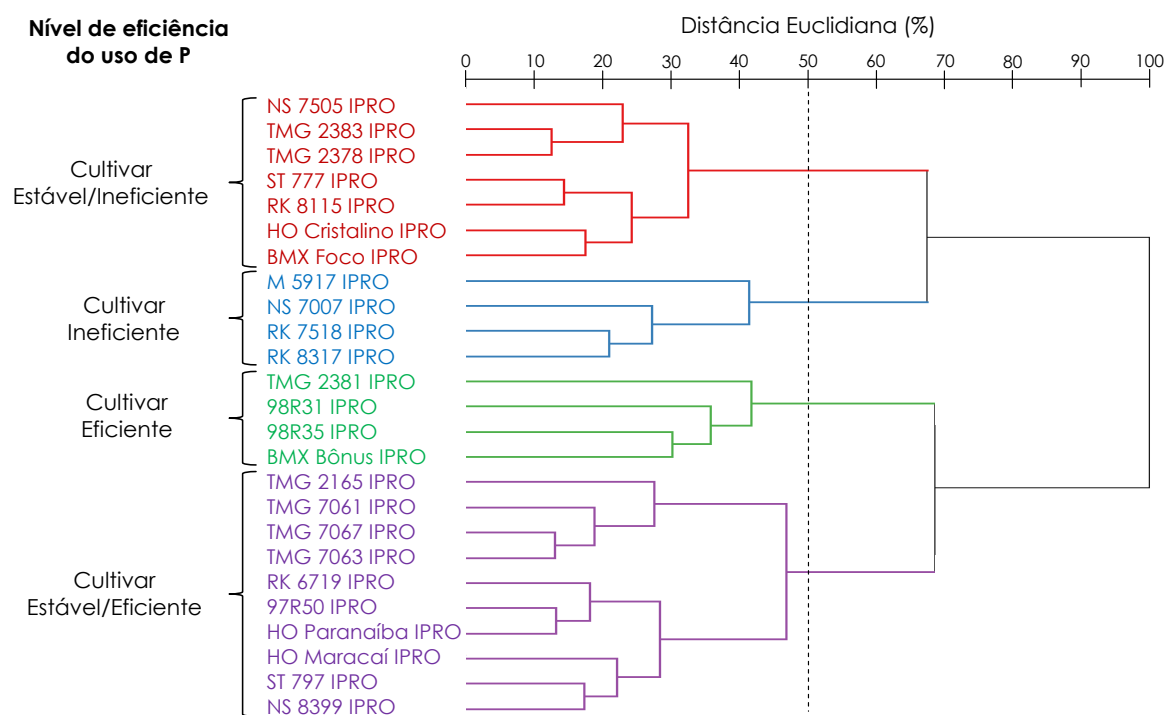


Figura 6. Dendrograma da análise de agrupamento hierárquico dos 25 cultivares de soja com base na distância Euclidiana e no método de variância mínima de Ward utilizando-se todas as características morfológicas e componentes de produção da cultura em condições de baixa disponibilidade de P no solo. UEMS/Cassilândia, 2021.

O grupo 3, composto pelos cultivares TMG 2381 IPRO, 98R31 IPRO, 98R35 IPRO e BMX Bônus IPRO representou os genótipos de soja com os maiores valores para a maioria das características morfológicas e componentes de produção da cultura e, portanto,

foi considerado o grupo de desempenho superior em condições de baixa disponibilidade de P do solo, ou seja, são os cultivares consideradas eficientes na utilização de P do solo.

O grupo 4, composto pelos cultivares de soja TMG 2165 IPRO, TMG 7061 IPRO, TMG 7067 IPRO, TMG 7063 IPRO, RK 6719 IPRO, 97R50 IPRO, HO Paranaíba IPRO, HO Maracaí IPRO, ST 797 IPRO e NS 8399 IPRO representou os genótipos com os valores variando de intermediários a superiores para a maioria das características morfológicas e componentes de produção da cultura e, portanto, foi considerado o grupo com desempenho de médio à superior em condições de baixa disponibilidade de P do solo, ou seja, são os cultivares consideradas estáveis e eficientes quanto a utilização de P do solo (Figura 6).

Com base nestes critérios de classificação, em condições de alta disponibilidade de P no solo, os cultivares RK 8317 IPRO, NS 7007 IPRO, TMG 7067 IPRO, RK 6719 IPRO, NS 8399 IPRO, TMG 2381 IPRO, BMX Bônus IPRO, 98R35 IPRO, ST 797 IPRO e RK 7518 IPRO, e são consideradas responsivas à adubação fosfatada quando comparado os demais cultivares de soja, pois apresentaram os maiores valores para a maioria das características morfológicas e componentes de produção da cultura com a aplicação da alta dose de fertilizante fosfatado. Por sua vez, os cultivares NS 7505 IPRO, HO Paranaíba IPRO, BMX Foco IPRO, TMG 7061 IPRO e M5917 IPRO são consideradas não responsivas à adubação fosfatada, por apresentarem os menores valores para a maioria das características morfológicas e dos componentes de produção da cultura quando houve aplicação de alta dose de fertilizante fosfatado (Figura 7).

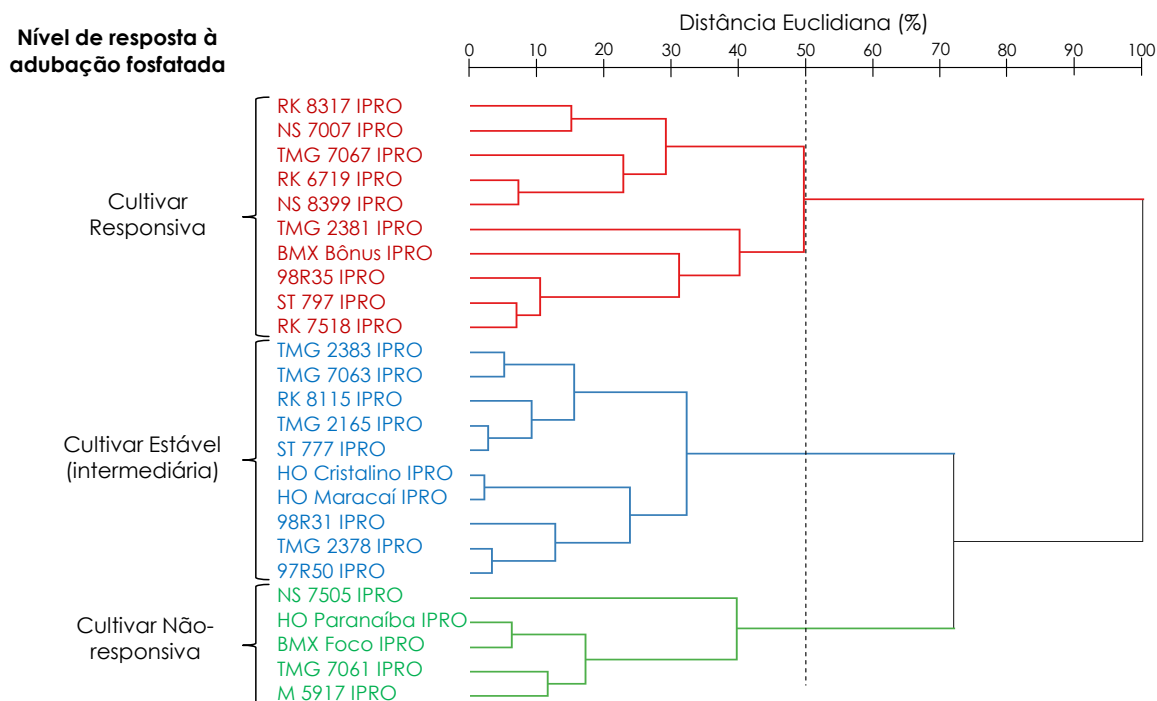


Figura 7. Dendrograma da análise de agrupamento hierárquico dos 25 cultivares de soja com base na distância Euclidiana e no método de variância mínima de Ward utilizando-se todas as características morfológicas e componentes de produção da cultura em condições de alta disponibilidade de P no solo. UEMS/Cassilândia, 2021.

Os cultivares de soja com menor dissimilaridade em condições de baixa disponibilidade de P do solo foram: TMG 2383 IPRO × TMG 2378 IPRO, ST 777 IPRO × RK 8115 IPRO, TMG 7067 IPRO × TMG 7063 IPRO e 97R50 IPRO × HO Paranaíba IPRO (Figura 6). Em condições de alta disponibilidade de P no solo, os cultivares de soja com menor dissimilaridade foram: HO Cristalino IPRO × HO Maracaí IPRO, TMG 2165 IPRO × ST 777 IPRO, TMG 2378 IPRO × 97R50 IPRO e TMG 2383 IPRO × TMG 7063 IPRO (Figura 7). A maior similaridade entre esses cultivares de soja indica que o cruzamento genético entre estes genótipos não deve ser utilizado, pois a ganho genético será pequeno ou nulo.

1.4. CONCLUSÕES

Os cultivares de soja TMG 2383 IPRO, TMG 2165 IPRO, 98R31 IPRO, 98R35 IPRO, HO Cristalino IPRO, BMX Bônus IPRO, ST 777 IPRO, RK 8115 IPRO e NS 8399 IPRO foram classificados como eficientes e responsivos à adubação fosfatada, e são os

cultivares que podem ser recomendados para o cultivo em áreas agrícolas com solos de baixa disponibilidade de P e áreas adubadas com altas doses de fertilizantes fosfatados.

Os cultivares TMG 2381 IPRO, TMG 7063 IPRO, HO Maracaí IPRO, BMX Foco IPRO, RK 7518 IPRO, RK 8317 IPRO, M 5917 IPRO e NS 7007 IPRO foram classificados como não eficientes e responsivos a adubação fosfatada, e são os cultivares de soja mais indicadas para serem cultivados em áreas agrícolas que utilizam a aplicação de altas doses de fertilizantes fosfatados.

Os cultivares de soja TMG 7067 IPRO, TMG 7061 IPRO e NS 7505 IPRO foram classificados como não eficientes e não responsivos a adubação fosfatada, e eses cultivares de soja não devem ser recomendados para serem cultivados em solos arenosos do Cerrado.

Os cultivares TMG 2378 IPRO, 97R50 IPRO, HO Paranaíba IPRO, ST 797 IPRO e RK 6719 IPRO foram classificadas como eficientes e não responsivos à adubação fosfatada, e são os cultivares de soja mais indicados para serem cultivados em áreas agrícolas com solos de baixa disponibilidade de P.

1.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALCÂNTARA, N. F., GRAVINA, G. A., SOUZA, N. O. S., BEZERRA, A. A. C. Adubação fosfatada na cultura da soja na microrregião do Alto Médio Gurgueia. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, n. 2, p. 266-271, 2010.

BARBOSA, N. C., ARRUDA, E. M., BRAD, E., PEREIRA, H. S. Distribuição vertical do fósforo no solo e função dos modos de aplicação. **Bioscience Journal**, v. 31, p. 87-95, 2015.

BATISTELLA-FILHO, F., FERREIRA, M. E., VIEIRA, R.D., CRUZ, M. C. P., CRUZ, M. A. C. P.; SYLVESTRE, T., RUIZ., J. G. C.L. Adubação com fósforo e potássio para produção e qualidade de sementes de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, n. 7, p.786-788, 2013.

CARGNELUTTI-FILHO, A.; RIBEIRO, N. D.; REIS, R. C. P.; SOUZA, J. R.; JOST, E. Comparison of cluster methods for the study of genetic diversity in common bean cultivars. **Revista Ciência Rural**, v.38, n.8, p. 2138-2145, 2008.

CHIEN, S. H., MENON, R. G. Factors affecting the agronomic effectiveness of phosphate rock for direct application. **Fertilizer Research**, v. 41, p. 227-234, 1995.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira: grãos**: sexto levantamento, outubro, 2021. Brasília: CONAB, 2021. Disponível em <http://www.conab.gov.br>. Acesso em: 01 Dez. 2021.

CRASWELL, E.T.; GODWIN, D.C. The efficiency of nitrogen fertilizers applied to cereals in different climates. In: TINKER, P.B.; LAUCHLI, A., eds. *Advances in plant nutrition*. New York, Praeger Scientific, 1984. v.1. p.1-55.

CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: UFV, 2003. 585p.

DECHEN AR.; NACHTIGALL, G.R. Elementos requeridos à nutrição de plantas. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.V.H.; BARROS, N. F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (eds). **Fertilidade do Solo**. Viçosa: SBCS/UFV. p. 92-132, 2007.

DICKIE, A., MAGNO, I., GIAMPIETRO, J., DOLGINOW, A. **Challenges and opportunities for conservation, agricultural production, and social inclusion in the Cerrado biome**. California Environmental Associates (CEA): San Francisco, CA-USA. 2016, p. 51

DONAGEMMA, G. K. et al. Characterization, agricultural potential, and perspectives for the management of light soils in Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 9, p. 1003-1020, 2016.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (Embrapa). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2009.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (Embrapa). **Tecnologias de produção de soja: região central do Brasil**. Londrina: Embrapa Soja, 2011.

FAGERIA, N.D.; KLUTHCOUSKI, J. **Metodologia para avaliação de cultivares de arroz e feijão para condições adversas de solo**. Brasília: Embrapa-CNPAF, 22 p, 1980.

FAGERIA, N.K. **Otimização da eficiência nutricional na produção das culturas**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.2, p. 6-16, 1998.

FAGERIA, N.K.; SANTOS, A.B.; CUTRIM, V.A. Produtividade de arroz irrigado e eficiência de uso do nitrogênio influenciada pela fertilização nitrogenada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, p.1029-1034, 2007

FAVARIN, J.L.; DOURADO-NETO, D.; Y GARCIA, A.G.; VILLA NOVA, N.A.; FAVARIN, M.G.G.V. Equações para a estimativa do índice de área foliar do cafeeiro.

Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.37, n.6, p.769-773, jun. 2002.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

FRAZÃO, L. A.; PÍCCOLO, M. C.; FEIGL, B. J.; CERRI, C. C.; CERRI, C. E. P. Propriedades químicas de um Neossolo Quartzarênico sob diferentes sistemas de manejo no Cerrado Mato-Grossense. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 5, p. 641-648, 2008.

GONÇALVES, J. A., HERBERT, N., MARENGONI, N. G., CARVALHO, E.A., COELHO, G. F. Produtividade e componentes de produção da soja adubada com diferentes doses de fósforo, potássio e zinco. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 34, n. 3, p.663-665 2010.

HEINEMANN, A.B., STONE, L.F., FAGERIA, N.K. Transpiration rate response to water deficit during vegetative and reproductive phases of upland rice cultivars. **Scientia Agricola**, v. 68, p. 24-30, 2011.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: Associação Brasileira de Potassa e do Fósforo, p. 1997. 31.

MOLL, R.H.; KAMPRATH, E.J.; JACKSON, W.A. Analysis and interpretation of factors which contribute to efficiency of N utilization. **Agronomy Journal**, v.74, p.562-564, 1982.

NOVAIS, R. F.; NEVES, J. C. L.; BARROS, N. F. Ensaio em ambiente controlado. In: OLIVEIRA, A. J. de; GARRIDO, W. E.; ARAUJO, J. D. de; LOURENÇO, S. (Coord.). **Métodos de pesquisa em fertilidade do solo**. Brasília: EMBRAPA-SEA, 1991. p. 189-253. (EMBRAPA-SEA. Documentos 3).

PEIXOTO, C., CRUZ, T., & PEIXOTO, M. DE F. Análise quantitativa do crescimento de plantas: conceitos e prática. **Enciclopédia Biosfera**, 7(13), p. 54- 60 , 2011.

PEREZ, M.J. Eficiencia de algunas leguminosas en la utilización de fósforo proveniente de rocas fosfóricas. **Revista de la Facultad de Agronomía de caracas Venezuela**. v. 24, n. 1, p3-7 2007.

REIS, M. de Sousa., SOARES, A. A., SOARES, P., CORNÉLIO, V. M. de Oliveira. Absorção de N, P, K, Ca, Mg e S pelo arroz irrigado influenciada pela adubação nitrogenada. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 29, n. 4, p 711-713 2005.

REZENDE, P. M., GRIS, C. F., CARVALHO, J. G., GOMES, L. L., BOTTINO, L. Adubação foliar. I. Épocas de aplicação de fósforo na cultura da soja. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 29, n. 06, p. 1105-1111, 2005.

RIBEIRO, G. R. S.; PELUZIO, J.M.; BARBOSA, T.F.; AFÉRRI, F.S.; FIDELIS, R.R. Eficiência agrônômica de cultivares de soja quanto ao uso de fósforo. **Tecnol. & Ciên. Agropec.**, João Pessoa, v.10, n.6, p.15-19, 2016.

ROSOLEM, C.A., MARCELLO, C.S. Crescimento radicular e nutrição mineral da soja em função da calagem e adubação fosfatada. **Scientia Agricola**, v. 55, n. 3, p 5,1998.

SANTOS, A.C.M.; CARNEIRO, J.S.S.; LEITE, R.C.; SOUZA, M.A.S.; FREITAS, G.A.; SILVA, R.R. Adubação fosfatada com fertilizante Basiduo[®] na cultura da soja no oeste da Bahia. **Journal of Bioenergy and Food Science**, Macapá, v.2, n.3, p.82-90, 2015.

SANTOS, D. R., GATIBONI, L. C., KAMINSKI, J. Fatores que afetam a disponibilidade de fósforo e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistema plantio direto. **Ciência Rural**, v. 38, n. 2, p. 576-586, 2008.

SANTOS, H. G. et al. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2013.

SCHONINGER, E. L., GATIBONI, L. C., ERNANI, P. R. Fertilização com fosfato natural e cinética de absorção de fósforo de soja e plantas de cobertura do cerrado. Semina: **Ciências Agrárias**, v. 34, n. 1, p. 95-106, 2013.

SEDIYAMA, T.; SILVA, F.; BORÉM, A. **Soja: do plantio à colheita**. Viçosa, MG: UFV, 2015, p.333.

SERAFIM, M.E.; ONO, F.B.; ZEVIANI, W.M.; NOVELINO, J.O.; SILVA, J.V. Umidade do solo e doses de potássio na cultura da soja. **Revista Ciência Agrônômica**, v.43, p.222-227, 2012.

SFREDO, G. J. Soja no Brasil: Calagem, Adubação e Nutriente Mineral. **Embrapa Soja**. Documento 305. Londrina. p. 28-30, 2008.

SILVA, A.F.; SEDIYAMA, T.; BORÉM, A.; SILVA, F.C.S. Cultivares. In: SEDIYAMA, T.; SILVA, F.; BORÉM, A.; (Eds). **Soja do plantio à colheita**. Viçosa: UFV, 2015, p. 149-167.

SILVA, R.R.; LEITE, R.C.; FREITAS, G.A.; SILVA, P.S.S.; CARNEIRO, J.S.S. Eficiência de fertilizante fosfatado na cultura da soja no cerrado baiano. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v.11, n.4, p.13-22, 2015.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. (Eds.). **Cerrado**: correção do solo e adubação. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. Porto Alegre: Artmed p., 2017. 858.

VALLADARES, G. S., PEREIRA, M. G., ANJOS, L. H. C. Adsorção de fósforo em solos de argila de atividade baixa. **Bragantia**, v. 62, n. 1, p. 111-118, 2003.

FOTOS ANEXADAS

Anexo 1. Ilustração dos vasos plásticos de 8L contendo o solo arenoso peneirado e com aplicação de calcário para a correção da acidez do solo (à esquerda) e os fertilizantes utilizados por ocasião da semeadura das cultivares de soja para os vasos plásticos no mês de Novembro de 2020. UEMS/Cassilândia. 2021.



Anexo 2. Ilustração do crescimento inicial das plantas de soja em condições de cultivo protegido aos 25 dias após a emergência das plantas. Detalhe da permanência de duas plantas por vaso. UEMS/Cassilândia, 2021.



Anexo 3. Ilustração do experimento e do crescimento das plantas de soja aos 25 dias após a emergência das plantas. Detalhe da permanência de duas plantas por vaso. UEMS/Cassilândia, 2021.





Anexo 4. Ilustração das plantas de soja aos 42 dias após a emergência das plantas durante o estágio reprodutivo R2 (plantas estavam no pleno florescimento) quando foram mensurados a altura de planta, diâmetro do caule, matéria seca da parte aérea e das raízes e teor de P nas folhas. UEMS/Cassilândia, 2021.



Anexo 5. Ilustração do processo de lavagem do sistema radicular das plantas de soja aos 40 dias após a emergência das plantas. UEMS/Cassilândia, 2021.



Anexo 6. Ilustração da secagem e da pesagem da matéria seca da parte aérea e das raízes das plantas de soja aos 40 dias após a emergência das plantas. UEMS/Cassilândia, 2021.



Anexo 7. Ilustração das plantas de soja aos 65 dias após a emergência das plantas (08/02/2021), quando as plantas estavam no estágio R4 (plantas com vagens completamente desenvolvidas). UEMS/Cassilândia, 2021.



Anexo 8. Ilustração das plantas de soja no momento da colheita entre os meses de abril e maio de 2021 para a mensuração dos componentes de produção (altura de planta, altura de inserção da primeira vagem, número de vagem por planta, número de grãos por vagem, massa de mil grãos) e da produção de grãos por vaso. UEMS/Cassilândia, 2021.



Anexo 9. Ilustração dos procedimentos adotados para a determinação do teor de P nas folhas de soja no Laboratório de Análises Química de Solo e Folhas. UEMS/Cassilândia, 2021.