

FERNANDA ROSA VELOSO TEIXEIRA

Dinâmica da atividade da fosfatase ácida como indicador da disponibilidade de fósforo em diferentes texturas de solo na cultura da soja

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Informações Geoespaciais da Universidade Federal de Uberlândia, *Campus* Monte Carmelo, como parte das exigências para obtenção do título de “Mestre”.

Orientador

Prof. Dr. Douglas José Marques

MONTE CARMELO
MINAS GERAIS – BRASIL

2022

FERNANDA ROSA VELOSO TEIXEIRA

Dinâmica da atividade da fosfatase ácida como indicador da disponibilidade de fósforo em diferentes texturas de solo na cultura da soja

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Informações Geoespaciais da Universidade Federal de Uberlândia, *Campus* Monte Carmelo, como parte das exigências para obtenção do título de “Mestre”.

APROVADA em 28 de Fevereiro de 2022

Banca examinadora

Prof. Dr. Douglas José Marques

(UFU)

Prof. Dr. Edmar Isaias de Melo

(UFU)

Prof. Dr. Hudson Carvalho Bianchini

(UNIFENAS)

DOUGLAS JOSÉ MARQUES
ICIAG - INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS (UFU)

MONTE CARMELO
MINAS GERAIS – BRASIL

2022

Ficha Catalográfica Online do Sistema de Bibliotecas da UFU
com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

T266
2022

Teixeira, Fernanda Rosa Veloso, 1991-
Dinâmica da atividade da fosfatase ácida como
indicador da disponibilidade de fósforo em diferentes
texturas de solo na cultura da soja [recurso eletrônico]
/ Fernanda Rosa Veloso Teixeira. - 2022.

Orientador: DOUGLAS JOSE MARQUES.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de
Uberlândia, Pós-graduação em Agricultura e Informações
Geoespaciais.
Modo de acesso: Internet.
Disponível em: <http://doi.org/10.14393/ufu.di.2022.117>
Inclui bibliografia.
Inclui ilustrações.

1. Agronomia. I. MARQUES, DOUGLAS JOSE, 1980-,
(Orient.). II. Universidade Federal de Uberlândia. Pós-
graduação em Agricultura e Informações Geoespaciais.
III. Título.

CDU: 631

Bibliotecários responsáveis pela estrutura de acordo com o AACR2:

Gizele Cristine Nunes do Couto - CRB6/2091



ATA DE DEFESA - PÓS-GRADUAÇÃO

Programa de Pós-Graduação em:	Agricultura e Informações Geoespaciais				
Defesa de:	Dissertação de Mestrado Acadêmico				
Data:	28/02/2022	Hora de início:	09:32	Hora de encerramento:	12:40
Matrícula do Discente:	32012AI016				
Nome do Discente:	Fernanda Rosa Veloso Teixeira				
Título do Trabalho:	Dinâmica da atividade da fosfatase ácida como indicador da disponibilidade de fósforo em diferentes texturas de solo na cultura da soja				
Área de concentração:	Informações geoespaciais e tecnologias aplicadas à produção agrícola				
Linha de pesquisa:	Sistemas integrados de produção vegetal				

Reuniu-se na sala virtual <https://conferenciaweb.rnp.br/webconf/douglas-jose-marques> a Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do Programa de Pós-graduação em Agricultura e Informações Geoespaciais, assim composta: Dr. Edmar Isaias de Melo (UFU), Dr. Hudson Carvalho Bianchini (UNIFENAS), Dr. Douglas José Marques (UFU) – orientador do candidato.

Iniciando os trabalhos o presidente da mesa, Dr. Douglas José Marques, apresentou a Comissão Examinadora e a candidata, agradeceu a presença do público, e concedeu ao Discente a palavra para a exposição do seu trabalho. A duração da apresentação do Discente e o tempo de arguição e resposta foram conforme as normas do Programa.

A seguir o senhor(a) presidente concedeu a palavra, pela ordem sucessivamente, aos(às) examinadores(as), que passaram a arguir o(a) candidato(a). Ultimada a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos regimentais, a Banca, em sessão secreta, atribuiu o resultado final, considerando o(a) candidato(a):

Aprovada.

Esta defesa faz parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre.

O competente diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos, conforme as normas do Programa, a legislação pertinente e a regulamentação interna da UFU.

Nada mais havendo a tratar foram encerrados os trabalhos. Foi lavrada a presente ata que após lida e achada conforme foi assinada pela Banca Examinadora.



Documento assinado eletronicamente por **Douglas José Marques, Professor(a) do Magistério Superior**, em 01/03/2022, às 23:58, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Hudson Carvalho Bianchini, Usuário Externo**, em 02/03/2022, às 08:31, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Edmar Isaias de Melo, Professor(a) do Magistério Superior**, em 02/03/2022, às 09:56, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orga_o_acesso_externo=0, informando o código verificador **3407475** e o código CRC **659CBAE0**.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus e a São José, que sou muito devota e minha família por estarem sempre comigo em todos os momentos da minha vida, por me apoiarem em todos os momentos e me darem força sempre que precisei, especialmente ao meu marido Wellington, por ter me ajudado em tudo.

Agradeço a UFU, aos professores, aos técnicos, aos laboratórios e as dependências do *campus* Monte Carmelo pela grande ajuda, ao Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Informações Geoespaciais por ter oferecido condições e apoio para o desenvolvimento deste trabalho.

Obrigada ao meu orientador professor Dr. Douglas José Marques por me apoiar, aconselhar e ajudar sempre que precisei, aos professores Dr. Edmar Isaias de Melo e Dr. Hudson Carvalho Bianchini por serem membros da banca, pelas contribuições e pela disponibilidade em estarem presentes.

Aos meus professores que ajudaram a tornar esse sonho realidade, com seus ensinamentos, a eles minha eterna gratidão e amizade.

Muito obrigada!

BIOGRAFIA

Fernanda Rosa Veloso Teixeira nasceu em Monte Carmelo, Minas Gerais, Brasil, 1991. Graduada em Ciências Biológicas pelo Centro Universitário Mário Palmério (UNIFUCAMP) em 2012 e Agronomia pela Universidade Federal de Uberlândia (UFU), Campus Monte Carmelo, Minas Gerais, Brasil, em 2019. Interessa-se na área de Fertilidade do Solo, Nutrição e estresse de Plantas.

SUMÁRIO

RESUMO	i
ABSTRACT	ii
INTRODUÇÃO.....	3
MATERIAL E MÉTODOS.....	4
Localização do estudo e condições de crescimento	4
Planta e solo	4
Delineamento experimental.....	5
Análises químicas e físicas do solo	6
Condutividade elétrica no solo.....	6
Análises das características agronômicas.....	7
Análise de massa de matéria seca	7
Volume de raiz	7
Análise do tecido foliar	7
Translocação de P	8
Atividade da fosfatase ácida.....	8
Análise dos dados.....	8
RESULTADOS.....	9
Análise multivariada para parâmetros nutricionais, químicos, bioquímicos e agrômicos	9
Plantas de soja em condições de estresse de P	11
Determinação de P no solo.....	12
Determinação da condutividade elétrica no solo.....	12
Crescimento e desenvolvimento da soja	13
Massa de matéria seca da soja.....	14
Volume e comprimento da raiz da soja.....	15
Imagens das raízes em função dos estresses de P e textura do solo.....	15
Teor de P na folha de soja	16
Atividade da fosfatase ácida no solo	16
DISCUSSÃO	17
CONCLUSÕES	21
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	21

RESUMO

TEIXEIRA, FERNANDA ROSA VELOSO. **Dinâmica da atividade da fosfatase ácida como indicador da disponibilidade de fósforo em diferentes texturas de solo na cultura da soja.** 2022, 25 páginas. Dissertação (Mestrado em Agricultura e Informações Geoespaciais) – Universidade Federal de Uberlândia, Campus Monte Carmelo, Minas Gerais, Brasil. DOI: <http://doi.org/10.14393/ufu.di.2022.117>

Para alcançar uma atividade agrícola sustentável, a determinação da enzima fosfatase é uma prática importante para melhorar a eficiência do manejo do fósforo (P) na agricultura tropical. O objetivo deste trabalho foi avaliar a atividade da fosfatase ácida em diferentes texturas do solo e níveis de estresse de P afetando os aspectos nutricionais, químicos, bioquímicos e agrônômicos da soja. O estudo foi conduzido sob o delineamento em blocos casualizados em esquema fatorial de 3x3, os tratamentos foram compostos por três texturas de solo (argilosa, média e arenosa) e três níveis de estresse de P (severo, moderado e controle) com quatro repetições. Os solos utilizados foram: Latossolo Vermelho distrófico (LVd) de textura argilosa, coletado na mata nativa; Cambissolo Háptico tb distrófico (CXbd) de textura média e Latossolo Amarelo distrófico (LAd) de textura arenosa coletados em campo natural. Os solos foram coletados e amostrados a uma profundidade de 0 a 20 cm. Foram avaliados os aspectos agrônômicos, condutividade elétrica do solo, teor de P no solo, translocação de P nas folhas e atividade da fosfatase ácida no solo. Os resultados mostraram que o solo de textura argilosa proporcionou os melhores resultados para o crescimento da planta, teor de matéria seca da raiz, caule e folha, teor de P no solo, volume e comprimento de raiz, translocação de P e teor de P nas folhas, e maior atividade da fosfatase ácida no solo sob estresse de P. Concluiu-se que a atividade da fosfatase ácida pode ser utilizada para indicar a atividade do P em diferentes texturas do solo.

Palavras-chaves: Solo tropical, translocação de P, raiz, estresse de P.

ABSTRACT

TEIXEIRA, FERNANDA ROSA VELOSO. **Dynamics of acid phosphatase activity as an indicator of phosphorus availability in different soil textures in soybean.** 2022, 25 pages. Dissertation (Master in Agriculture and Geospatial Information) – Federal University of Uberlândia, Campus Monte Carmelo, Minas Gerais, Brazil. DOI: <http://doi.org/10.14393/ufu.di.2022.117>

To achieve sustainable agricultural activity, phosphatase determination is an important practice for improving the efficiency of phosphorus (P) management in tropical agriculture. The objective of this study was to evaluate acid phosphatase activity in different soil textures and P stress levels affecting the nutritional, chemical, biochemical, and agronomic aspects of soybean. Treatments resulted from factorial combination in a 3x3 factorial scheme, consisting of three soil textures (clay, medium, and sandy) and three P stress levels (severe, moderate, and control) with four replications. Methods used were three different soil textures were used in the research: dystrophic Red Latosol (LVd) with clay texture, collected in the native forest; dystrophic Haplic Tb Cambisol (CXbd) of medium texture; and dystrophic Yellow Latosol (LAd) of sandy texture collected in the natural field. Soils were collected and sampled at a depth of 0–20 cm. Were agronomic determination, soil electrical conductivity, P content, P translocation, and acid phosphatase activity were also evaluated. Results showed the clayey textured soil provided the best results for plant growth, root, stem, and leaf dry matter content, P content, root volume and length, P translocation, and P content in the soil, and higher acid phosphatase activity under P stress. Concluded that acid phosphatase activity can be used to indicator P activity in different soil textures.

Keywords: Tropical soil, P translocation, root, P stress.

INTRODUÇÃO

O manejo da adubação fosfatada é um dos principais problemas na produtividade da soja em solo tropical, pois a cultura é muito sensível às condições do solo com deficiências de fósforo (P) (ZHANG et al., 2017). O P desempenha um papel fundamental na produção agrícola, no entanto, a sua disponibilidade é muito baixa em solo tropical devido à alta adsorção ao ferro (Fe) e alumínio (Al), reduzindo sua disponibilidade na forma assimilável pelas plantas (WITHERS et al., 2018). Esta disponibilidade também depende da mineralização de P nos solos, por meio de processos enzimáticos realizados por um grupo de fosfatases que catalisam reações hidrolíticas de grupos fosfato (mono ou diésteres), fornecendo assim P inorgânico para a solução do solo (NASTO et al., 2017). As fosfatases são enzimas produzidas por raízes de plantas, fungos ou bactérias micorrízicas e saprotróficas e apresentam diferentes pH e temperaturas ótimas (MARGALEF et al., 2021). Sua atividade, em combinação com outras propriedades do solo, fornece informações para avaliar a sua qualidade e para indicar estresse de P, pois reflete as características do P do solo, sendo regulada por vários fatores, como a disponibilidade de carbono e nutrientes, matéria orgânica, biomassa microbiana e pH nas camadas superiores do solo (VINHAL-FREITAS et al., 2017).

Baixos teores de P no solo são influenciados pela textura do solo, reduzindo a disponibilidade do nutriente às plantas (MACHADO; SOUZA, 2012). Os solos com textura arenosa e média apresentam maiores deficiências de P, devido a menor capacidade de adsorção de fosfatos quando comparados aos solos argilosos (OLIVEIRA et al., 2014). A baixa quantidade deste nutriente se deve principalmente a reduzida adsorção do P às partículas de areia do solo e, principalmente, devido à baixa porção de argila e silte, o que diminui a capacidade de adsorção bem como a área superficial específica (KLEIN, 2014). O P presente no solo pode ser solubilizado através das enzimas fosfatases (MARGALEF et al., 2017), o que facilita a liberação de ésteres de fosfato inorgânico em condições ácidas e alcalinas. Assim, plantas cultivadas em solos deficientes em P aumentam a secreção de fosfatase ácida na região da rizosfera para hidrolisar o P orgânico como uma estratégia de adaptação para aquisição de P devido a esse mecanismo, uma vez que o P orgânico pode compreender de 30% a 60% do P do solo, formando uma fonte de P disponível quando mineralizado pelas enzimas fosfatase (GUILBEAULT-MAYERS et al., 2020).

A forte adsorção de P é afetada pela textura do solo, que por sua vez é influenciada pelo teor e mineralogia da fração argila, que influencia a retenção de P da fase sólida do solo (VÁSCONEZ; PINOCHET, 2018). Assim, a disponibilidade de P no solo desempenha um papel crítico em

diferentes sistemas de produção, e o desenvolvimento de métodos e estratégias para identificar o estado nutricional das plantas e reduzir a aplicação desse elemento se torna cada vez mais importante para os sistemas agrícolas, visando a sustentabilidade da atividade agrícola. A secreção de fosfatase se torna importante para melhorar a eficiência e o manejo de P na agricultura tropical, desenvolvimento das culturas e absorção de P pelas plantas. Assim, pesquisas relacionadas a atividade da fosfatase do solo são necessárias para um melhor entendimento da dinâmica de P no solo.

Nesta pesquisa, como ainda faltam informações sobre a atividade da fosfatase ácida como indicador do teor de estresse de P em texturas de solo tropical, que são amplamente utilizados para o cultivo da soja, a nossa hipótese é que a atividade da fosfatase ácida na rizosfera é influenciada pelo estresse de P e pela textura do solo. Sendo assim, o objetivo da pesquisa foi avaliar a atividade da fosfatase ácida em diferentes texturas de solo e os níveis de estresse de P afetando os aspectos nutricionais, químicos, bioquímicos e agronômicos na cultura da soja.

MATERIAL E MÉTODOS

Localização do estudo e condições de crescimento

O experimento foi conduzido em casa de vegetação do tipo arco, coberta com filme plástico de 150 micras aditivado e as laterais revestidas com tela branca do tipo antiafídeo. A casa de vegetação está localizada no Campo Demonstrativo e Experimental – CaDEx, da Universidade Federal de Uberlândia, *campus* Monte Carmelo-MG (18°43'36.26" S; 47°31'28.50" O; 903m).

Planta e solo

A cultivar de soja utilizada foi a M8372 IPRO, cujas características agronômicas são altura de 76 cm, crescimento determinado, com flores brancas, pubescência e hilo de cor marrom médio, acamamento moderadamente resistente, alta estabilidade, resistência ao nematoide do cisto (raças 1, 3, 6 e 10), elevado potencial produtivo e ampla adaptação as condições brasileiras (BAYER BRASIL, 2021).

Foram utilizados na pesquisa três diferentes solos: Latossolo Vermelho Distrófico (LVd) de textura argilosa, coletado em mata nativa (18° 43'48.3" S, 47° 30'16.6" W); Cambissolo Háplico Tb Distrófico (CXbd) de textura média (18° 31'40.3" S, 47° 27'53.7" W) e Latossolo Amarelo

Distrófico (LAd) de textura arenosa (18° 54'12.0" S, 47° 35'50.5" W), coletados em campo natural, as classificações dos solos seguiram as recomendações de Santos et al., (2018). Os solos foram coletados e amostrados na profundidade de 0 a 20 cm, em seguida foram secos ao ar, passados em peneira com malha de 5 mm e, em seguida, homogeneizados para se determinar as características químicas e físicas (Tabela 1).

Os cálculos para a correção da acidez dos solos seguiram as recomendações de Ribeiro et al., (1999), visando a neutralização do Al^{3+} e a elevação dos teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} . O calcário utilizado apresenta Poder de Neutralização: 92,5%, Eficiência Relativa: 100% e Poder Real Neutralização Total: 92,5%, que foi aplicado ao solo, acondicionado em vasos com 7 dm³, em seguida os solos foram umedecidos, ficando incubados por 30 dias para favorecer a reação do corretivo com o solo. Para a adubação de base foram usados os fertilizantes ureia ($CO(NH_2)_2$), superfosfato simples ($Ca(H_2PO_4)_2 \cdot CaSO_4 \cdot 2H_2O$), sulfato de potássio (K_2SO_4), ácido bórico (H_3BO_3), sulfato de cobre ($CuSO_4$), molibdato de amônio ($(NH_4)_6Mo_7O_{24}$), sulfato de zinco ($ZnSO_4$), sulfato de manganês ($MnSO_4$), sulfato ferroso ($FeSO_4$). A recomendação de adubação para os macros e micronutrientes foi baseada nas recomendações de Novais et al., (1991), adaptada por Marques et al., (2021).

Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi um fatorial de 3x3 com quatro repetições: o primeiro fator foram os diferentes tipos de solos: Latossolo Vermelho Distrófico (LVd) de textura argilosa (teor de argila variando de 36 a 100%), coletado em mata nativa (18° 43'48.3" S, 47° 30'16.6" W); Cambissolo Háptico Tb Distrófico (CXbd) de textura média (teor de argila+silte maior que 15% e argila menor ou igual 35%) (18° 31'40.3" S, 47° 27'53.7" W) e Latossolo Amarelo Distrófico (LAd) de textura arenosa coletados em campo natural (teor de argila+silte menor ou igual 15%) (18° 54'12.0" S, 47° 35'50.5" W), conforme classificação de Santos et al., (2018). O segundo fator foram os três níveis de estresse de P: severo (0 mg dm³ P₂O₅), moderado (150 mg dm³ P₂O₅) e controle (300 mg dm³ P₂O₅), baseados nas recomendações de Novais et al., (1991), adaptado por Marques et al., (2021) para a cultura da soja. Como fonte de P para aplicação dos tratamentos foi utilizado o fertilizante superfosfato simples ($Ca(H_2PO_4)_2 \cdot CaSO_4 \cdot H_2O$) com teores de (P₂O₅ = 18%, S = 10%, Ca = 18%). As plantas foram conduzidas em vasos com volume de 7 dm³.

Análises químicas e físicas do solo

As análises químicas e físicas do solo antes da adubação de plantio se encontram na Tabela 1. Ao final do experimento foram coletadas amostras de solo dos vasos para quantificar o teor de P pelo método da resina trocadora de ânions (VAN RAIJ et al., 2001).

TABELA 1. Características químicas e físicas dos solos (LVd, CXbd e LAd) antes da adubação de plantio.

Química ¹	Unidade	LVd	CXbd	LAD
pH em H ₂ O		5,70	4,80	4,80
pH		5,10	4,20	4,20
P	mg dm ⁻³	57	77	33
K	mg dm ⁻³	113	50	27
Ca	cmol _c dm ⁻³	3,29	0,32	0,23
Mg	cmol _c dm ⁻³	1,29	0,06	0,09
Al ³⁺	cmol _c dm ⁻³	0	0,89	0,33
H+Al	cmol _c dm ⁻³	3,40	1,70	1,40
SB	cmol _c dm ⁻³	4,87	0,51	0,39
t	cmol _c dm ⁻³	4,87	1,40	0,72
T	cmol _c dm ⁻³	8,27	2,21	1,79
V	%	59	23	22
m	%	0	64	46
MO	dag kg ⁻¹	4,40	1,40	1,40
CO	dag kg ⁻¹	2,60	0,80	0,80
B	mg dm ⁻³	0,21	0,45	0,04
Cu	mg dm ⁻³	15	0,60	0,60
Fe	mg dm ⁻³	168	17	10
Mn	mg dm ⁻³	5,40	2,10	2,10
Zn	mg dm ⁻³	2	0,50	8,70
Física²				
Areia	g kg ⁻¹	305	680	825
Silte	g kg ⁻¹	100	100	25
Argila	g kg ⁻¹	595	220	150

¹pH em água (1:2,5), P e K pelo extrator Mehlich¹, Mg e Al³⁺ extraídos por solução de KCl 1M; P na solução de equilíbrio (EP); teor de matéria orgânica (MO) e carbono orgânico (CO). Saturação por bases (SB); T = Capacidade de troca catiônica em pH 7,0; t= Capacidade de troca catiônica efetiva; m = índice de saturação de alumínio; V = Índice de saturação por bases. ²A granulometria do solo foi determinada pelo método da pipeta.

Condutividade elétrica no solo

Ao final da pesquisa foram coletadas amostras do solo para a determinação da condutividade elétrica (CE), que foi determinada através da mistura de uma parte de solo para duas partes e meia

de água destilada (1:2,5), agitadas por 15 minutos seguidas por repouso de uma hora. A determinação foi feita coletando o sobrenadante dos extratos aquosos de solo, sendo os valores expressos em $\mu\text{S cm}^3$ (RHOADES; MIYAMOTO, 1990).

Análises das características agronômicas

As análises das características agronômicas foram realizadas ao final da pesquisa avaliando-se a altura das plantas (cm), tomando como base o colo da planta até o final da caule principal; o número de hastes das plantas, contando-se o número de hastes que proviam do caule principal; o número de folhas, padronizando-se a contagem em folhas totalmente expandidas após a emissão das folhas cotiledonares, denominadas “VC”.

Análise de massa de matéria seca

Para determinação de massa de matéria seca das plantas de soja foram coletados raiz, parte aérea (caule e folhas). As raízes foram separadas da parte aérea através de um corte no colo da planta, lavadas com água deionizada para retirar o excesso de solo aderido às raízes. Em seguida, os componentes foram secos em estufa a 65°C , com ventilação forçada, até atingirem massa constante. Após a secagem em estufa, o material vegetal foi pesado em balança semi-analítica digital Modelo: 6200g x 0,01g, Shimadzu UX6200H e seu peso expresso em gramas.

Volume de raiz

O volume de raiz foi obtido por meio da imersão das raízes em uma proveta graduada e determinada em uma solução preparada com 70% de álcool absoluto e 30% de água destilada (MARTINS et al., 2012).

Análise do tecido foliar

Para determinação do teor de P nas plantas de soja foram coletadas as folhas do quarto trifólio (sem pecíolo), a partir do ápice, na haste principal no início do florescimento (estádio R1), o teor de P no tecido foliar foi determinado conforme metodologia adaptada de Moller et al., (1997) e Silva et al., (2009).

Translocação de P

A concentração de P nas folhas foi expressa em porcentagem [(massa do nutriente/massa seca da folha) × 100] em mg kg. Para determinar a concentração total de P foliar, utilizou-se a equação $NC = (NL/100) \times MS$, onde NC é a concentração de P, NL é o nível de P expresso em porcentagem e MS é a massa seca da folha. Os resultados foram expressos em gramas. Para determinar a translocação de nutrientes (transporte da raiz para a parte aérea), utilizou-se a equação $NT = (NC/TNP) \times 100$, onde NT representa a translocação de nutrientes, NC é a massa de nutrientes e TNP é a concentração total de nutrientes da planta. Os resultados foram expressos em porcentagem, conforme descrito por Marques et al., (2021).

Atividade da enzima fosfatase

Ao final da pesquisa foram coletadas amostras de solo para a determinação da atividade da enzima fosfatase ácida ($\mu\text{g p-PNP g}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$) (TABATABAI; BREMNER, 1969).

Análises dos dados

Os dados foram submetidos à análise de variância e quando encontradas diferenças significativas, foi aplicado o teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade de erro. Os erros padrão foram calculados para todas as médias, os procedimentos estatísticos foram realizados no software SAS versão 9.3 (SAS, 1996).

Foi realizada análise estatística descritiva das diferentes texturas dos solos e níveis de estresse de P. Em seguida, foram realizadas análises multivariadas com os parâmetros nutricionais, químicos, bioquímicos e agrônômicos na cultura da soja a fim de determinar a dissimilaridade entre as diferentes texturas dos solos e níveis de estresse de P, obtendo-se a matriz de dissimilaridade pela distância generalizada de Mahalanobis. A dissimilaridade foi representada pelo dendrograma obtido pelo método hierárquico UPGMA e pelo método Tocher, método de otimização. A contribuição relativa dos caracteres quantitativos foi calculada de acordo com o critério de Singh (1981). Os dados obtidos foram analisados no software Genes v. 2015.5.0 (CRUZ, 2013).

RESULTADOS

Análise multivariada para parâmetros nutricionais, químicos, bioquímicos e agronômicos

Foi utilizado o dendrograma pelo método da ligação média entre grupos (UPGMA) nas análises nutricionais, químicas, bioquímicas e agronômicas em função das diferentes texturas do solo e níveis de estresse de P na cultura da soja, gerado a partir da matriz de dissimilaridade por meio da distância de Mahalanobis (Figura 1). A delimitação dos grupos foi realizada a partir de uma linha de corte considerando 10% de similaridade entre os tratamentos. A linha de corte foi estabelecida no local em que se observou mudança abrupta nas ramificações presentes no dendrograma (CRUZ, 2012). Com esse corte tem-se a formação de três grupos distintos. O grupo I foi formado por 55,56 % dos tratamentos, representado pelo solo LAd em todos nos níveis de estresse de P e os solos CXbd e LVd no nível severo. O grupo II foi constituído pelo solo CXbd (níveis moderado e controle) e o grupo III pelo solo LVd (níveis moderado e controle) (Figura 1). Os grupos formados pelo método UPGMA hierárquico apresentou um coeficiente de correlação cofenética de 88%, sendo possível afirmar que o dendrograma reproduziu, de forma satisfatória, as informações contidas na matriz e, conseqüentemente, na formação de grupos.

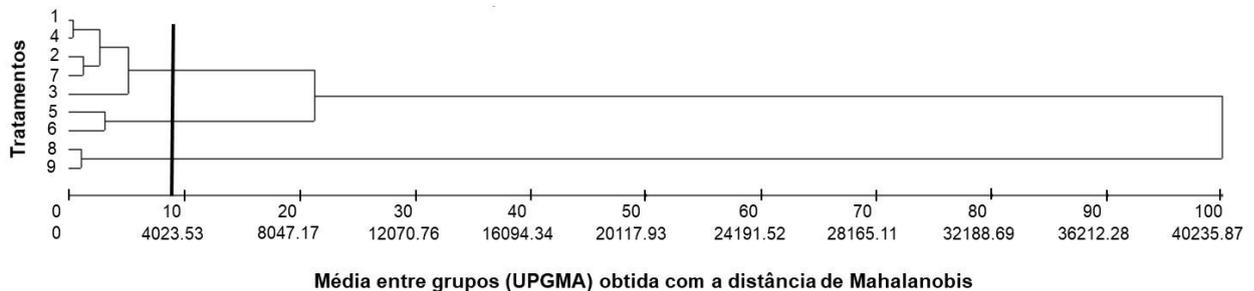


FIGURA 1. Dendrograma ilustrativo da análise de nove tratamentos pelo método da ligação média entre grupos (UPGMA) obtido com a distância de Mahalanobis com média gerada a partir de 13 variáveis em função de diferentes texturas do solo (LVd, CXbd e LAd) e níveis de estresse de P (severo, moderado e controle). Legenda dos tratamentos: 1= Solo textura LAd - nível severo ($0 \text{ mg dm}^3 \text{ P}_2\text{O}_5$); 2 = Solo textura LAd - nível moderado ($150 \text{ mg dm}^3 \text{ P}_2\text{O}_5$), 3 = Solo textura LAd - nível controle ($300 \text{ mg dm}^3 \text{ P}_2\text{O}_5$); 4 = Solo textura CXbd – nível severo ($0 \text{ mg dm}^3 \text{ P}_2\text{O}_5$); 5 = Solo textura CXbd - nível moderado ($150 \text{ mg dm}^3 \text{ P}_2\text{O}_5$), 6 = Solo textura CXbd - nível controle ($300 \text{ mg dm}^3 \text{ P}_2\text{O}_5$); 7 = Solo textura LVd – nível severo ($0 \text{ mg dm}^3 \text{ P}_2\text{O}_5$); 8 = Solo textura LVd - nível moderado ($150 \text{ mg dm}^3 \text{ P}_2\text{O}_5$), 9 = Solo textura LVd - nível controle ($300 \text{ mg dm}^3 \text{ P}_2\text{O}_5$).

O método de Singh (1981) foi utilizado para avaliar a importância relativa dos caracteres e sua contribuição relativa para a formação dos grupos. A maior contribuição relativa foi o teor de P no solo determinado pela resina trocadora de ânions, que foi responsável pela a maior contribuição relativa de divergência das variáveis respostas (83,1833%), seguido pela

translocação de P nas folhas (6,2677%), número de hastes (4,7161%), teor de P nas folhas (1,6916%) e altura da planta (1,415%) (Tabela 2).

TABELA 2. Contribuição relativa (%) das características para a dissimilaridade, estimadas pelo método proposto por Singh (1981) em diferentes texturas do solo (LAd, CXbd e LVd) e níveis de estresse de P (severo, moderado e controle).

Características para a dissimilaridade	Contribuição relativa (%)
Matéria seca da raiz	0,9979
Matéria seca do caule	0,7173
Matéria seca da folha	0.0000
Comprimento de raiz	0.0000
Volume de raiz	0,1282
Altura da planta	1,415
Número de hastes	4,7161
Número de folhas	0.0000
Teor de P no solo	83,1833
Teor de P na folha	1,6916
Translocação de P nas folhas	6,2699
Condutividade elétrica do solo	0.0000
Fosfatase ácida no solo	0,8807
Total	100.00

Comparando os resultados dos métodos Tocher e UPGMA, eles foram similares. Assim, os grupos encontrados no método UPGMA são semelhantes aos grupos formados pelo método Tocher, o que mostra a coerência na formação dos grupos entre os tratamentos (Figura 2). Para o Tocher, pode-se observar que os tratamentos do grupo I (1, 2, 3, 4 e 7), grupo II (5 e 6) e grupo III (8 e 9) foram similares entre si (cor amarelo). Em contrapartida, os tratamentos 1, 4, 8 e 9, ao cruzar as informações (cores preto e vermelho), apresentaram dissimilaridade, indicativo de que há um comportamento diferente entre eles.

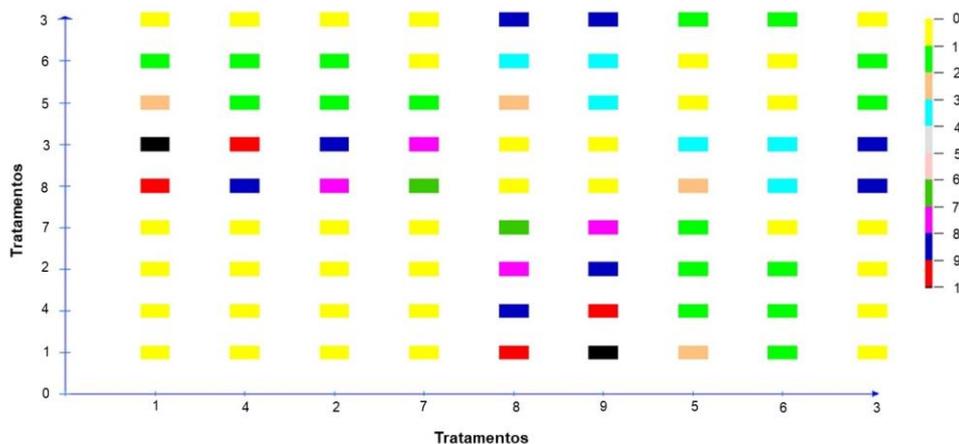


FIGURA 2. Tocher gráfico ilustrativo da análise de nove tratamentos pelo método de otimização em função de diferentes texturas do solo (LVd, CXbd e LAd) e níveis de estresse de P (severo, moderado e controle). Legenda dos tratamentos: 1= Solo textura LAd - nível severo ($0 \text{ mg dm}^3 \text{ P}_2\text{O}_5$); 2 = Solo textura LAd - nível moderado ($150 \text{ mg dm}^3 \text{ P}_2\text{O}_5$); 3 = Solo textura LAd - nível controle ($300 \text{ mg dm}^3 \text{ P}_2\text{O}_5$); 4 = Solo textura CXbd – nível severo ($0 \text{ mg dm}^3 \text{ P}_2\text{O}_5$); 5 = Solo textura CXbd - nível moderado ($150 \text{ mg dm}^3 \text{ P}_2\text{O}_5$); 6 = Solo textura CXbd - nível controle ($300 \text{ mg dm}^3 \text{ P}_2\text{O}_5$); 7 = Solo textura LVd – nível severo ($0 \text{ mg dm}^3 \text{ P}_2\text{O}_5$); 8 = Solo textura LVd - nível moderado ($150 \text{ mg dm}^3 \text{ P}_2\text{O}_5$); 9 = Solo textura LVd - nível controle ($300 \text{ mg dm}^3 \text{ P}_2\text{O}_5$).

Plantas de soja em condições de estresse de P

Na Figura 3 podem ser observadas as imagens das plantas de soja aos 15, 30 e 45 dias após a semeadura, em diferentes texturas do solo (LVd, CXbd e LAd) e níveis de estresse de P (severo, moderado e controle).

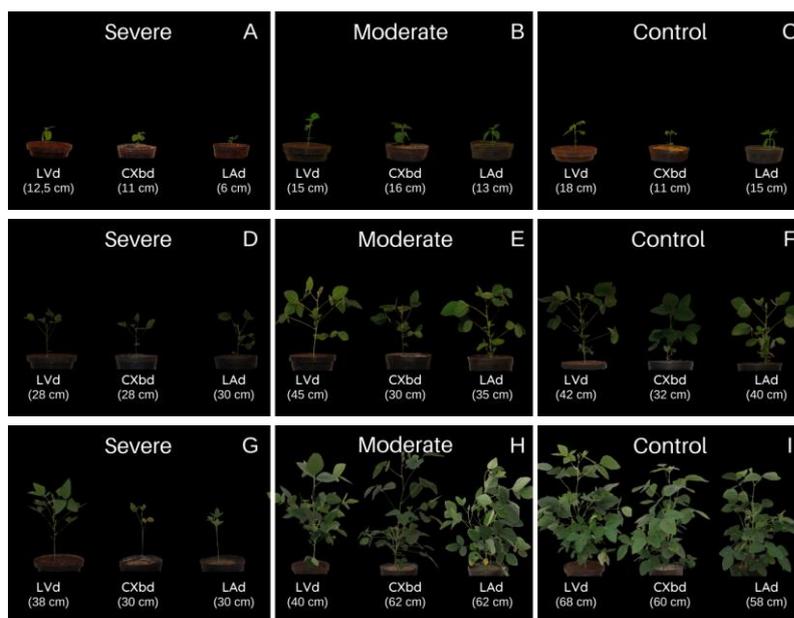


FIGURA 3. Altura das plantas aos 15, 30 e 45 dias após a semeadura com três níveis de estresse de P: severo (A, D e G), moderado (B, E e H) e controle (C, F e I) e três tipos textura dos solos (LVd, CXbd e LAd).

Determinação do P no solo

Para determinação do P no solo foi utilizado como extrator a resina trocadora de ânions, o estresse de P controle foi 70% superior para o solo com textura LVd (Figura 4).

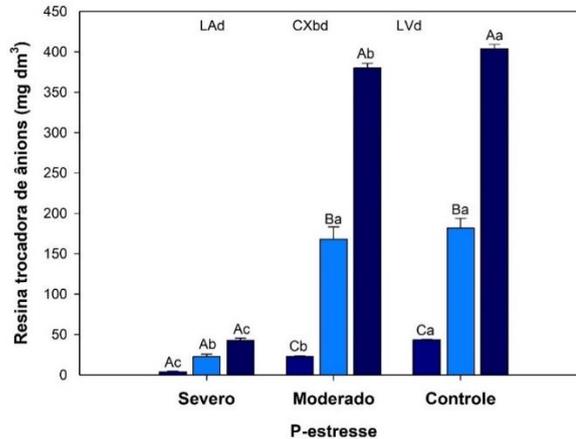


FIGURA 4. Determinação de P no solo pelo extrator resina trocadora de ânions, com três níveis de estresse de P (severo, moderado e controle) e três tipos textura dos solos (LAd, CXbd e LVd). Colunas com diferentes letras maiúsculas (cores diferentes) entre os níveis de estresse de P e letras minúsculas (mesma cor) entre tipos de solo indicam diferenças significativas do teste de Scott-Knott ($P < 05$). Colunas correspondentes a médias de quatro repetições e desvios-padrão.

Determinação da condutividade elétrica no solo

Para a textura do solo CXdb a condutividade elétrica foi 50% superior com aumento dos níveis de estresse de P (Figura 5).

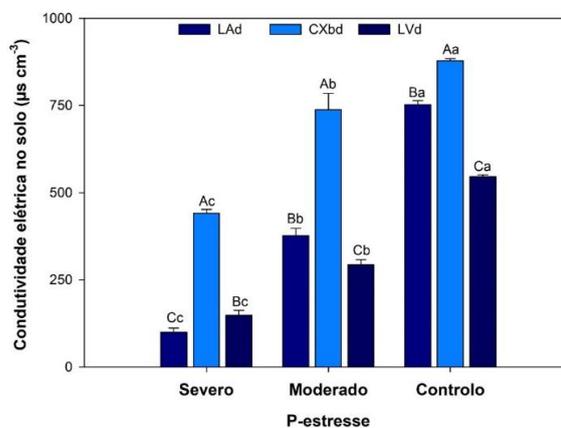


FIGURA 5. Condutividade elétrica no solo, com três níveis de estresse de P (severo, moderado e controle) e três tipos textura dos solos (LAd, CXbd e LVd). Colunas com diferentes letras maiúsculas (cores diferentes) entre os níveis de estresse de P e letras minúsculas (mesma cor) entre tipos de solo indicam diferenças significativas do teste de Scott-Knott ($P < 05$). Colunas correspondentes a médias de quatro repetições e desvios-padrão.

Crescimento e desenvolvimento da soja

A produção de folhas (Figura 6A) e o número de hastes (Figura 6B) da cultura da soja no solo de textura LVd foi 70% superior em função dos estresses de P. A altura das plantas para os solos LVd e CXbd foram superiores em relação ao solo de textura LAd nos níveis moderado e controle de estresse de P (Figura 6C).

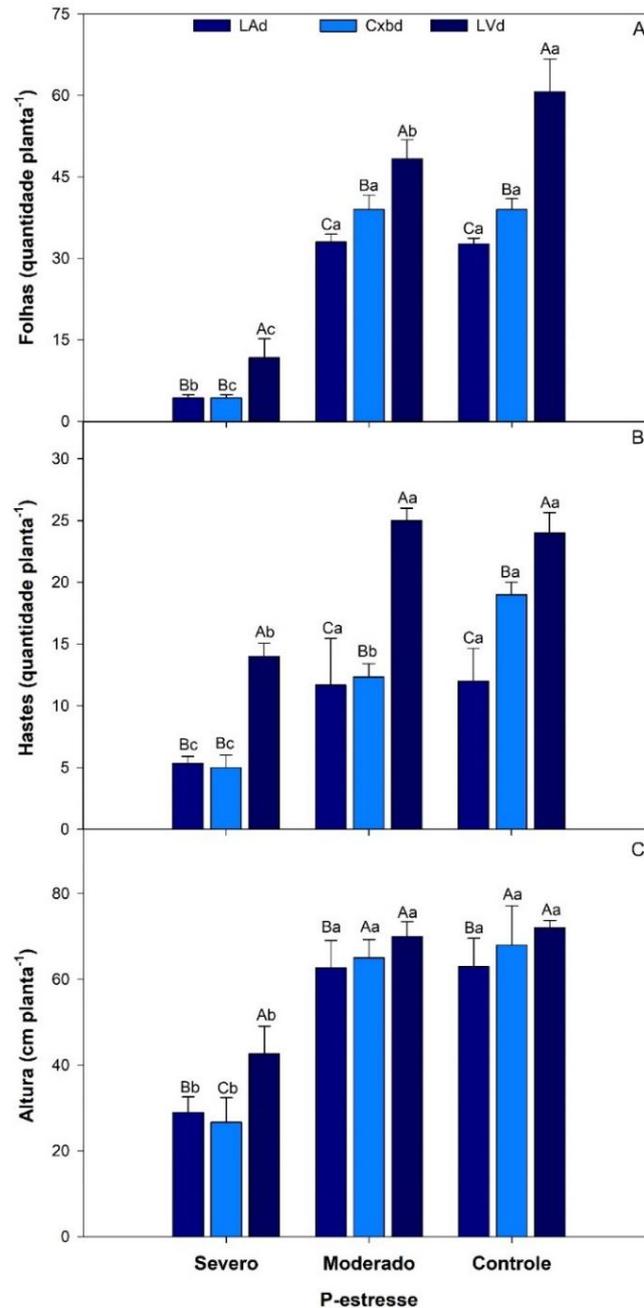


FIGURA 6. Folhas (A), hastes (B) e altura (C) de plantas de soja, com três níveis de estresse de P (severo, moderado e controle) e três tipos textura dos solos (LAd, CXbd e LVd). Colunas com diferentes letras maiúsculas (cores diferentes) entre os níveis de estresse de P e letras minúsculas (mesma cor) entre tipos de solo indicam diferenças significativas do teste de Scott-Knott ($P < 05$). Colunas correspondentes a médias de quatro repetições e desvios-padrão.

Massa de Matéria seca da soja

Para a matéria seca das folhas, independente do nível estresse de P, o solo com textura LVd foi 45% superior em relação aos outros tipos de textura de solo usados na pesquisa (Figura 7A). Para a matéria seca do caule, o solo LVd foi superior em 25% nos diferentes níveis de estresse de P (Figura 7B). Já para a matéria seca da raiz foi 60% superior com o uso do LVd (Figura 7C).

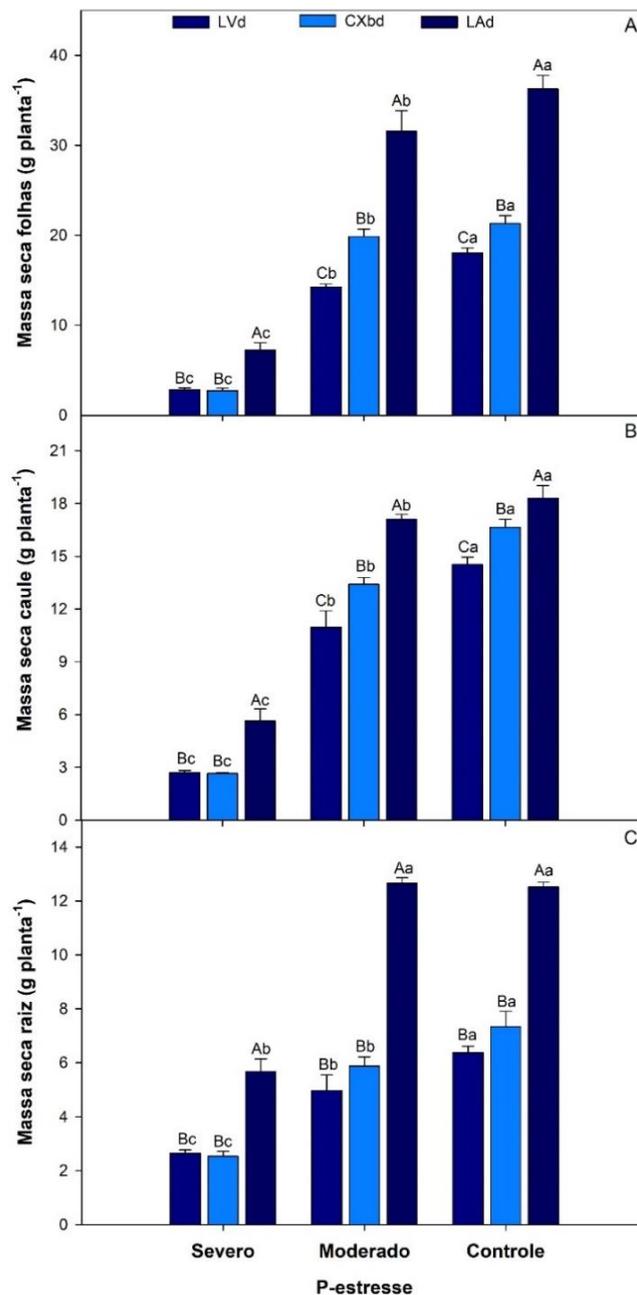


FIGURA 7. Massa de matéria seca de plantas de soja, folhas (A), caules (B) e raízes (C), com três níveis de estresse de P (severo, moderado e controle) e três tipos textura dos solos (LVd, CXbd e LAd). Colunas com diferentes letras maiúsculas (cores diferentes) entre os níveis de estresse de P e letras minúsculas (mesma cor) entre tipos de solo indicam diferenças significativas do teste de Scott-Knott ($P < 05$). Colunas correspondentes a médias de quatro repetições e desvios-padrão.

Volume e comprimento da raiz da soja

Para o volume da raiz na cultura da soja, independente do nível do estresse de P, o solo com textura LVd foi 33% superior (Figura 8A). A mesma tendência foi observada no solo com textura LVd foi 35% superior para o comprimento da raiz independente dos níveis de estresse de P (Figura 8B).

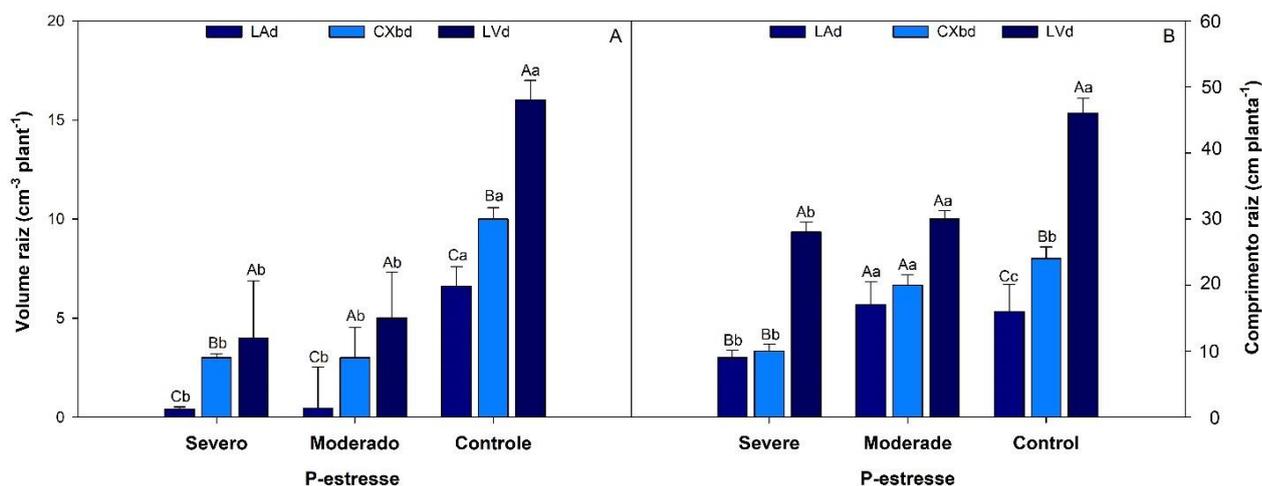


FIGURA 8. Volume (A) e comprimento (B) da raiz de plantas de soja, com três níveis de estresse de P (severo, moderado e controle) e três tipos textura dos solos (LAd, CXbd e LVd). Colunas com diferentes letras maiúsculas (cores diferentes) entre os níveis de estresse de P e letras minúsculas (mesma cor) entre tipos de solo indicam diferenças significativas do teste de Scott-Knott ($P < 0.05$). Colunas correspondentes a médias de quatro repetições e desvios-padrão.

Imagens das raízes em função de estresse de P e textura do solo

As raízes da soja, ao final da pesquisa, estão apresentadas na Figura 9 nos três níveis de estresse de P: severo (A), moderado (B) e controle (C), em função dos tipos de solo (LVd, CXbd e LAd).

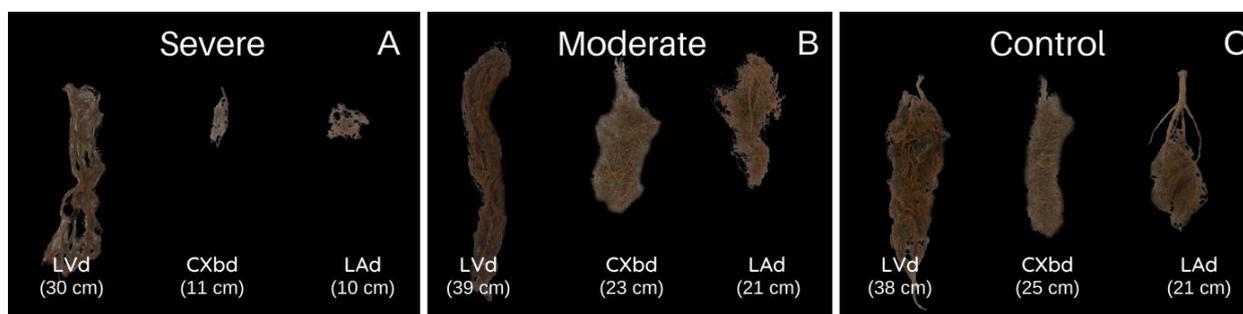


FIGURA 9. Raiz da planta soja analisada no final da pesquisa, com três níveis de estresse de P severo (A), moderado (B) e controle (C) e três tipos textura dos solos (LAd, CXbd e LVd).

Teor de P na folha da soja

Para o acúmulo de P nas folhas, os teores foram 25% maiores no estresse de P moderado e 20% maiores no estresse de P controle para o solo com textura LAd. Estes resultados estão relacionados ao efeito de diluição, pela menor produção de matéria seca na folha (Figura 10). No solo com textura LVd (Figura 10A), o acúmulo de P na folha foi 15% maior no estresse de P severo. Para a translocação de P, independente dos níveis de estresse de P, a maior translocação ocorreu no solo com textura LVd (Figura 10B).

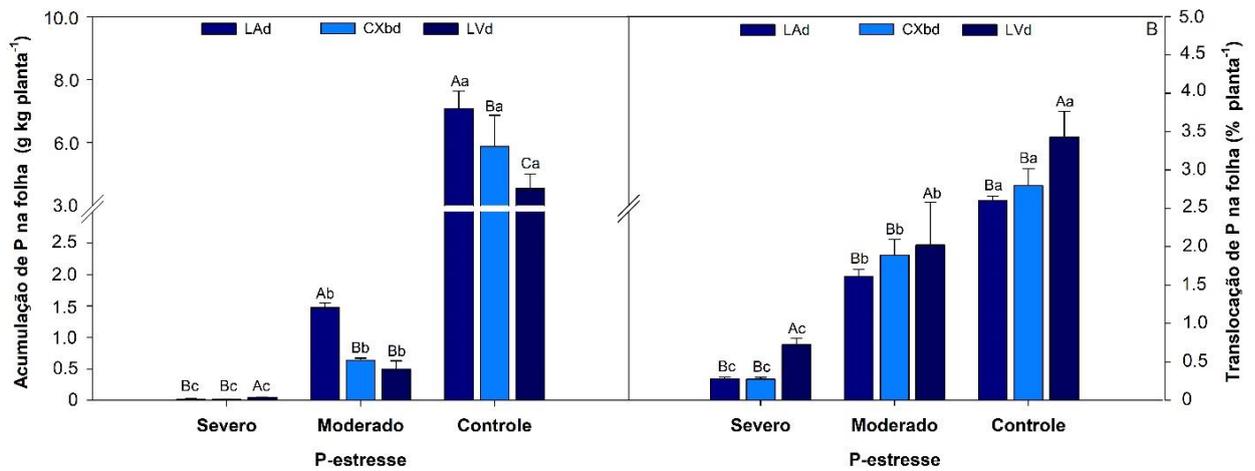


FIGURA 10. Acumulação de P na folha (A) e translocação de P na folha de plantas de soja, com três níveis de estresse de P (severo, moderado e controle) e três tipos textura dos solos (LAd, CXbd e LVd). Colunas com diferentes letras maiúsculas (cores diferentes) entre os níveis de estresse de P e letras minúsculas (mesma cor) entre tipos de solo indicam diferenças significativas do teste de Scott-Knott ($P < 0.05$). Colunas correspondentes a médias de quatro repetições e desvios-padrão.

Atividade da fosfatase ácida no solo

A atividade da fosfatase ácida foi superior em 15% para o solo com textura LVd, observando-se aumento da fosfatase com o aumento do estresse de P (severo, moderado e controle) (Figura 11).

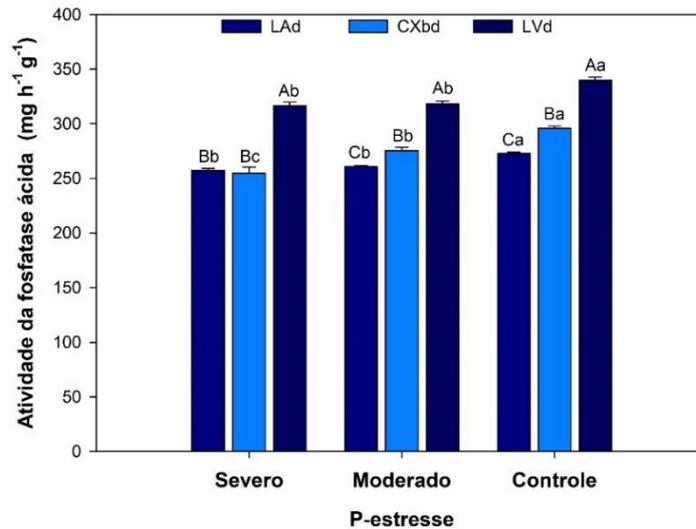


FIGURA 11. Atividade da fosfatase ácida no solo usado no cultivo da soja, com três níveis de estresse de P (severo, moderado e controle) e três tipos de solo (LAd, CXbd e LVd). Colunas com diferentes letras maiúsculas (cores diferentes) entre os níveis de estresse de P e letras minúsculas (mesma cor) entre tipos de solo indicam diferenças significativas do teste de Scott-Knott ($P < 05$). Colunas correspondentes a médias de quatro repetições e desvios-padrão.

DISCUSSÃO

O uso da análise multivariada para os tratamentos aplicados permite uma visualização mais explícita da dissimilaridade nas variáveis respostas desta pesquisa. O uso de diferentes métodos permite uma maior potência de discriminação, eliminando aquelas variáveis difíceis de se avaliar e aquelas que pouco contribuem para explicar as variações. Em geral, os métodos de análises multivariadas (UPGMA e Tocher), que foram usados para estimar a dissimilaridade, foram semelhantes e satisfatórios, sendo ferramentas importantes para apresentar os efeitos nas variáveis respostas que os tratamentos foram capazes de provocar. O método UPGMA visa agrupar os tratamentos de acordo com o critério de classificação para que haja homogeneidade dentro de cada grupo e heterogeneidade entre grupos. Os dendrogramas são gerados ajustando modelos com a menor dissimilaridade (CRUZ et al., 2012). Assim, este método pode formar mais grupos a partir de um determinado número de tratamentos, como observado nesta pesquisa. Segundo Gonçalves et al., (2008) e Araújo et al., (2016), o método UPGMA é eficiente na formação de grupos, bem como o método de Tocher (MATTEDI et al., 2014). Vale ressaltar que todos os tratamentos do grupo I tem em comum o nível de estresse de P severo em todos os tipos de textura do solo e o solo de textura LAd em todos os níveis de estresse de P. Sugere-se que esses fatores possam justificar o enquadramento desses tratamentos no mesmo grupo (Figura 1). Tratamentos

pertencentes ao mesmo grupo são similares, enquanto tratamentos de grupos diferentes são divergentes. Segundo Singh (1981), as variáveis respostas que apresentaram contribuição relativa nula seriam descartadas juntamente com as de baixa contribuição, sendo dispensáveis nos limites desta pesquisa, respeitando as condições de tipos de textura dos solos e níveis de estresse de P.

No Brasil a resina trocadora de ânions é um dos métodos considerados oficiais para extração de P, sendo que as interpretações dos resultados devem estar de acordo com as correspondentes calibrações feitas para cada região do país, respeitando suas particularidades (MOREIRA et al., 2020). O comportamento de extração muda de acordo com a quantidade de argila no solo, aumentando a potência de extração de P, o que ocorreu no solo com textura LVd (Figura 4), pois esse tipo de solo apresenta maior teor de argila, a capacidade de extração também sofre influência do tamanho das partículas do solo e de sua composição (MUMBACH et al., 2018). A resina trocadora de ânions apresenta maior sensibilidade na quantificação da disponibilidade de nutrientes no solo, pois apresenta melhor relação com os valores absorvido pelas plantas, sendo considerada de boa precisão (VAN RAIJ et al., 2009). Portanto, o teor de argila deve ser levado em consideração ao avaliar a disponibilidade de P no solo (MUMBACH et al., 2020). Nessa pesquisa, de acordo com Seixas et al., (2020), os valores de P extraídos pela resina trocadora de ânions (Figura 4) são considerados como alto e muito alto no solo, exceto para o tipo de textura do solo LAd no nível severo, com teor de P no solo considerado como baixo.

A condutividade elétrica (CE) do solo expressa indiretamente as concentrações de íons e sais na fase líquida do solo (CORWIN; LESCH, 2003). A CE do solo foi influenciada pela textura do solo (Figura 5), como se observa no solo com textura CXbd, onde o teor da CE foi maior para o nível de estresse controle. No solo CXbd, (Tabela 1), a adição de P aumentou o teor de cátions e ânions na solução do solo, aumentando a CE em até $890 \mu\text{S cm}^3$ para o nível de estresse controle (Figura 5). A formação de complexos orgânicos pode reduzir a concentração de íons na solução do solo, consequentemente reduzindo a condutividade elétrica da solução do solo (ROSA et al., 2020), o que explica CE baixa no solo LVd, que apresenta maior teor de matéria orgânica.

As hastes e folhas das plantas, como são órgãos fotossintéticos, mostram que são afetadas pela fertilização com P, que promove o aumento do crescimento da planta e de sua área foliar. Moreira et al., (2020) encontraram plantas de soja com maior altura quando foram fertilizadas com P. Faozi et al., (2019), afirmam que a área foliar de diferentes cultivares de soja foram incrementadas pela fertilização com P em comparação com plantas sem fertilizante P. Sebetha et al., (2018), apresentam resultados semelhantes aos observados nessa pesquisa, relatando que a cultura da soja adubada com fontes de P em solo argiloso apresentou maior número de folhas e altura da planta do que a soja cultivada em solo arenoso. Nossos resultados mostraram que os

níveis de estresse de P apresentam efeitos no crescimento da planta, produção de folhas e hastes, a resposta de crescimento variou entre os tipos de textura do solo (Figura 6), com aumentos significativos para o solo com textura LVd nos níveis de estresse moderado e controle, com o maior nível de P.

Os resultados obtidos nesse estudo são semelhantes aos de Rosa et al., (2018), que encontraram maior teor de matéria seca da raiz, da parte aérea e da planta total quando a soja foi cultivada em solo de textura argilosa, utilizando superfosfato simples como fonte de P, quando comparada com a soja cultivada em solo de textura média. Faozi et al., (2019), relatam que o peso seco de cultivares de soja aumentaram quando foram fertilizadas com P. Tian et al., (2020), também encontraram aumentos significativos na matéria seca de brotos, caules e raízes em cultivares de soja quando foram fertilizadas com P. Os níveis de estresse de P e os tipos de textura do solo aumentaram significativamente a matéria seca da raiz, caule e folha, sendo maior em soja cultivada em solo de textura LVd nos níveis de estresse de P moderado e controle (Figura 7).

A obtenção de P pela planta é determinada em parte pela expansão da raiz em todo o volume do solo, para capturar o P disponível e mecanismos fisiológicos da raiz alteram o ambiente do solo para aumentar a disponibilidade de P na superfície da raiz, onde a absorção ocorre (LAMBERS et al., 2006). Maior crescimento no comprimento da raiz com a aplicação de P significa um maior volume de solo explorado e maior aquisição de nutrientes, consequentemente maior crescimento da planta, como pode ser observado na Figura 3. O volume e comprimento de raiz mais longo foi encontrado no solo com textura LVd, independente dos níveis de estresse de P (Figura 8). Nossos resultados indicam que o tipo e textura do solo influenciam no comprimento da raiz, como também foi observado por Sebetha et al., (2018), onde a soja cultivada em solo de textura argilosa apresentou comprimento de raiz significativamente maior do que a soja cultivada em solo de textura arenosa. Paul e Rakshi (2021), encontraram maior comprimento de raiz em plantas de soja que foram fertilizadas com P e afirmam que o comprimento da raiz influenciou o conteúdo de P em partes vegetativas e nas sementes por meio da melhor exploração do solo.

O acúmulo e posterior remobilização de P às outras partes da planta apresenta um padrão mais lento, pois o P absorvido pela planta está principalmente concentrado nas folhas (FAOZI et al., 2019). De acordo com Xue et al., (2014), o adequado fornecimento de P, aumenta o seu acúmulo nas folhas e no caule em doses baixas a moderadas de P, diminuindo a aplicação em altas doses. O acúmulo e translocação de P nas folhas foram influenciados pelos estresse de P e tipo de textura do solo (Figura 10), com maior acumulação nos níveis de estresse moderado e controle em solo de textura LAd (Figura 10A), ocorrendo maior translocação de P em solo de textura LVd independente do nível de estresse de P (Figura 10B). Alguns valores de acumulação de P (Figura

10A) estavam dentro da faixa indicada como satisfatória, em contraste com valores considerados como não adequados, segundo Seixas et al., (2020), para os níveis severo e moderado os valores (g kg^{-1}) de P são considerados baixo (0,05 para LAd, 0,05 para CXbd e 0,1 para LVd) e (1,5 para LAd, 0,6 para CXbd e 0,5 para LVd), no nível controle houve maiores concentrações de P com valores considerados alto para LAd e CXbd, com 7 e 6 g kg^{-1} , respectivamente, e adequado para LVd, com 3,5 g kg^{-1} .

A atividade da fosfatase é influenciada pelo teor de P orgânico do solo, favorecendo a disponibilização de P para as plantas, mesmo com altas adições de fertilizantes fosfatados aplicados ao solo, mas sua importância deve ser maior em sistemas com baixo uso de fertilizantes, devido a maior participação no atendimento da demanda de P pelas culturas (CONTE et al., 2002). A alta atividade da fosfatase ácida detectada nessa pesquisa (Figura 11), pode ser atribuída a ocorrência de alta fixação de P nos coloides minerais, principalmente os óxidos de Fe e de Al (WITHERS et al., 2018), presentes nos solos utilizados nesse estudo. A adsorção de P reduz o efeito inibidor sobre a atividade da fosfatase (CONTE et al., 2002), que diminui com a fertilização com P (ZHENG et al., 2015) e aumenta quando a disponibilidade de P é limitada (GUILBEAULT-MAYERS et al., 2020). Esse padrão nem sempre é observado (ZALAMEA et al., 2016), como ocorreu nessa pesquisa, onde a atividade enzimática não foi menor com o fornecimento de P.

Outras possíveis razões para a alta atividade enzimática da fosfatase é o não reconhecimento pela planta se a fonte de P é orgânica ou inorgânica e, devido a sua necessidade de crescimento, continua a secretar mais fosfatase (MA et al., 2021), que às vezes pode ser derivada de enzimas extracelulares velhas e estabilizadas, que são insensíveis ao conteúdo de P (TURNER; WRIGHT, 2014). Também pode ser devido ao fato dos solos terem sido coletados em mata nativa e campos naturais, que quando comparados com solos agrícolas que já estão sob cultivo, apresentam maior teor de resíduos orgânicos e maior atividade biológica, sendo que a atividade da fosfatase está ligada ao teor de matéria orgânica do solo (MOS) (LUO et al., 2019). Isso pode explicar a alta atividade da fosfatase ácida em LVd, que é um solo que apresenta maior teor de MOS. A disponibilidade de P em solos de matas e campos naturais se deve a maior atividade microbiana de liberação de fosfatases, pois esses solos não são adubados e a disponibilidade de P é proveniente da transformação do P orgânico em formas inorgânicas (SEELING; SASOSKI, 1993). Conforme se aplica P via adubações, a atividade da fosfatase tende a diminuir ao longo do tempo (WEERASEKARA et al., 2017).

CONCLUSÕES

O solo de textura argilosa proporcionou os melhores resultados para o crescimento da planta, teor de matéria seca da raiz, caule e folha, volume e comprimento de raiz, teor de P no solo, translocação e teor de P nas folhas e maior atividade da fosfatase ácida sob estresse de P.

Esta pesquisa concluiu que a atividade da fosfatase ácida pode ser usada para determinar a atividade do P em diferentes texturas do solo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, J. et al. Univariate and multivariate procedures for agronomic evaluation of organically grown tomato cultivars. **Horticultura Brasileira**, v. 34, p. 374-380, 2016. <https://doi.org/10.1590/S0102-05362016003011>

BAYER BRASIL AGRO. Sementes Monsoy M 8372 Ipro. Disponível via <https://www.agro.bayer.com.br/essenciais-do-campo/sementes/monsoy/m-8372-ipro>. Acessado em 10 de dezembro de 2021

CONTE, E.; ANGHINONI, I.; RHEINHEIMER, D. S. Fósforo da biomassa microbiana e atividade de fosfatase ácida após aplicação de fosfato em solo no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, p. 925-930, 2002. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832002000400009>

CORWIN, D. L.; LESCH, S. M. Application of soil electrical conductivity to precision agriculture: theory, principles, and guidelines. **Agronomy journal**, v. 95, n. 3, p. 455-471, 2003. <https://doi.org/10.2134/agronj2003.4550>

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. Modelos biométricos aplicados ao melhoramento. **UFV, Viçosa**, 2012.

CRUZ, C. D. Genes: a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 35, n. 3, p. 271-276, 2013. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v35i3.21251>

FAOZI, K. et al. Effectiveness of phosphorus fertilizer on soybean plants in the coastal sands soil. In: **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**. IOP Publishing, 2019. p. 012060. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/250/1/012060>

GONÇALVES, L. S. et al. Divergência genética em tomate estimada por marcadores RAPD em comparação com descritores multicategóricos. **Horticultura Brasileira**, v. 26, p. 364-370, 2008. <https://doi.org/10.1590/S0102-05362008000300014>

GUILBEAULT-MAYERS, X.; TURNER, B. L.; LALIBERTÉ, E. Greater root phosphatase activity of tropical trees at low phosphorus despite strong variation among species. **Ecology**, v.

101, n. 8, p. e03090, 2020. <https://doi.org/10.1002/ecy.3090>

KLEIN, V. A. Física do solo. 3. ed. Passo Fundo: EDIUPF, 2014. 263 p.

LAMBERS, H. et al. Root structure and functioning for efficient acquisition of phosphorus: matching morphological and physiological traits. **Annals of botany**, v. 98, n. 4, p. 693-713, 2006. <https://doi.org/10.1093/aob/mcl114>

LUO, G. et al. Understanding how long-term organic amendments increase soil phosphatase activities: insight into phoD-and phoC-harboring functional microbial populations. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 139, p. 107632, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2019.107632>

MA, X. et al. Spatiotemporal Pattern of Acid Phosphatase Activity in Soils Cultivated With Maize Sensing to Phosphorus-Rich Patches. **Frontiers in plant science**, v. 12, 2021. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.650436>

MACHADO, V.J.; SOUZA, C.H.E. Disponibilidade de fósforo em solos com diferentes texturas após aplicação de doses crescentes de fosfato monoamônico de liberação lenta. **Bioscience Journal**, p. 1-7, 2012.

MARGALEF, O. et al. Global patterns of phosphatase activity in natural soils. **Scientific Reports**, v. 7, n. 1, p. 1-13, 2017. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-01418-8>

MARGALEF, O. et al. The effect of global change on soil phosphatase activity. **Global Change Biology**, v. 27, n. 22, p. 5989-6003, 2021. <https://doi.org/10.1111/gcb.15832>

MARQUES, D.J. et al. Morphophysiological changes resulting from the application of silicon in corn plants under water stress. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 41, n. 2, p. 569-584, 2022. <https://doi.org/10.1007/s00344-021-10322-5>

MARTINS, L.D. et al. Função de crescimento vegetativo de mudas de cafeeiro conilon a níveis de ciproconazol+ tiametoxam e nitrogênio. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 35, n. 1, p. 173-183, 2012. <https://doi.org/10.19084/rca.16171>

MATTEDI, A.P. et al. Genetic divergence of tomato subsamples. **Revista Ceres**, v. 61, n. 1, p. 70-76, 2014. <https://doi.org/10.1590/S0034-737X2014000100009>

MOLLER, M.R.F. et al. **Análises de tecido vegetal: manual de laboratório**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 1997.

MOREIRA, A.; MORAES, L.A.C; PETINELI, R. Phosphate Fertilizer in Soybean-Wheat Cropping System Under No-Till Management. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 4, p. 146, 2020. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.564586>

MUMBACH, G.L. et al. Quantificação de fósforo por Mehlich 1, Mehlich 3 e Resina Trocadora de Ânions em solos com diferentes teores de argila. **Revista Ceres**, v. 65, p. 546-554, 2018. <https://doi.org/10.1590/0034-737X201865060010>

MUMBACH, G.L. et al. Phosphorus extraction with soil test methods affected by soil P sorption capacity. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 20, n. 4, p. 1882-1890, 2020.

<https://doi.org/10.1007/s42729-020-00259-1>

NASTO, M.K. et al. Nutrient acquisition, soil phosphorus partitioning and competition among trees in a lowland tropical rain forest. **New Phytologist**, v. 214, n. 4, p. 1506-1517, 2017.
<https://doi.org/10.1111/nph.14494>

NOVAIS, R.F. et al. Ensaio em ambiente controlado. **Métodos de pesquisa em fertilidade do solo**, v. 1, p. 89-253, 1991.

OLIVEIRA, L.B. et al. Formas de fósforo no solo sob pastagens naturais submetidas à adição de fosfatos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 3, p. 867-878, 2014.
<https://doi.org/10.1590/S0100-06832014000300018>

PAUL, S.; RAKSHIT, A. Effect of seed bio-priming with *Trichoderma viride* strain BHU-2953 for enhancing soil phosphorus solubilization and uptake in soybean (*Glycine max*). **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 21, n. 2, p. 1041-1052, 2021.
<https://doi.org/10.1007/s42729-021-00420-4>

RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ, V.H. Comissão de fertilidade do solo do Estado de Minas Gerais: Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais-5ª Aproximação. **Viçosa, MG, Brasil**, 1999.

RHOADES, J.D.; MIYAMOTO, S. Testing soils for salinity and sodicity. **Soil testing and plant analysis**, v. 3, p. 299-336, 1990. <https://doi.org/10.2136/sssabookser3.3ed.c12>

ROSA, S.D.; SILVA, C.A.; MALUF, H.J.G.M. Wheat nutrition and growth as affected by humic acid-phosphate interaction. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 181, n. 6, p. 870-877, 2018. <https://doi.org/10.1002/jpln.201700532>

ROSA, S.D.; SILVA, C.A.; MALUF, H.J.G.M. Phosphorus availability and soybean growth in contrasting Oxisols in response to humic acid concentrations combined with phosphate sources. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v. 66, n. 2, p. 220-235, 2020.
<https://doi.org/10.1080/03650340.2019.1608527>

SANTOS, H.G. et al. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, DF: Embrapa, 2018., 2018.

SAS Institute. **SAS/STAT User's Guide, Version 6**. 12 SAS Institute, Cary, NC, 1996.

SEBETHA, E.T.; MFANTA, A.; ADEBAYO, R. Effect of different phosphorus fertilizer sources, cultivar and soil type on growth performance of soybean. **Research on Crops**, v. 19, n. 4, p. 616-621, 2018. <https://doi.org/10.31830/2348-7542.2018.0001.38>

SEELING, B.; ZASOSKI, R.J. Microbial effects in maintaining organic and inorganic solution phosphorus concentrations in a grassland topsoil. **Plant and Soil**, v. 148, n. 2, p. 277-284, 1993.
<https://doi.org/10.1007/BF00012865>

SEIXAS, C.D.S. et al. Tecnologias de produção de soja. **Embrapa Soja-Sistema de Produção (INFOTECA-E)**, 2020.

SILVA, F.C. et al. (Ed.). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009.

SINGH, D. The relative importance of characters affecting genetic divergence. **The Indian Journal of Genetic and Plant Breeding**, v. 41, n. 2, p. 237-245, 1981.

TABATABAI, M.A.; BREMNER, J.M. Use of p-nitrophenyl phosphate for assay of soil phosphatase activity. **Soil biology and biochemistry**, v. 1, n. 4, p. 301-307, 1969.
[https://doi.org/10.1016/0038-0717\(69\)90012-1](https://doi.org/10.1016/0038-0717(69)90012-1)

TIAN, J. et al. Phosphorus fertilization affects soybean rhizosphere phosphorus dynamics and the bacterial community in karst soils. **Plant and Soil**, p. 1-16, 2020.
<https://doi.org/10.1007/s11104-020-04662-6>

TURNER, B.L.; WRIGHT, S.J. The response of microbial biomass and hydrolytic enzymes to a decade of nitrogen, phosphorus, and potassium addition in a lowland tropical rain forest. **Biogeochemistry**, v. 117, n. 1, p. 115-130, 2014. <https://doi.org/10.1007/s10533-013-9848-y>

VAN RAIJ, B.; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. **Análise Química para Avaliação da Fertilidade de Solos Tropicais**. Campinas, Instituto Agrônômico, 285p. 2001.

VAN RAIJ, B.; CATARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; PROCHNOW, L.I. Ion exchange resin for assessing phosphorus availability in soils. **Better Crops**, v. 93, p. 1-3, 2009.

VÁSCONEZ, G.; PINOCHET, D. Residual value of the phosphate added to ecuadorian and chilean soils with different phosphorus retention capacity. **Journal of soil science and plant nutrition**, v. 18, n. 1, p. 60-72, 2018. <http://dx.doi.org/10.4067/S071895162018005000301>

VINHAL-FREITAS, I.C. et al. Soil textural class plays a major role in evaluating the effects of land use on soil quality indicators. **Ecological indicators**, v. 74, p. 182-190, 2017.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.11.020>

XUE, A.O. et al. Effect of phosphorus fertilization to P uptake and dry matter accumulation in soybean with different P efficiencies. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 13, n. 2, p. 326-334, 2014. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(13\)60390-1](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(13)60390-1)

WEERASEKARA, C.S. et al. Effects of cover crops on soil quality: selected chemical and biological parameters. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 48, n. 17, p. 2074-2082, 2017. <https://doi.org/10.1080/00103624.2017.1406103>

WITHERS, P.J.A. et al. Transitions to sustainable management of phosphorus in Brazilian agriculture. **Scientific Reports**, v. 8, n. 1, p. 1-13, 2018. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-20887-z>

ZALAMEA, P.C. et al. Seedling growth responses to phosphorus reflect adult distribution patterns of tropical trees. **New Phytologist**, v. 212, n. 2, p. 400-408, 2016.
<https://doi.org/10.1111/nph.14045>

ZHANG, D. et al. Integrating QTL mapping and transcriptomics identifies candidate genes

underlying QTLs associated with soybean tolerance to low-phosphorus stress. **Plant molecular biology**, v. 93, n. 1, p. 137-150, 2017. <https://doi.org/10.1007/s11103-016-0552-x>

ZHENG, M. et al. Responses of soil acid phosphatase and beta-glucosidase to nitrogen and phosphorus addition in two subtropical forests in southern China. **European Journal of Soil Biology**, v. 68, p. 77-84, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2015.03.010>