

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
CAMPUS DE CHAPADÃO DO SUL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

SINOMAR MOREIRA ANDRADE

**FENOTIPAGEM DE ALTA PERFORMANCE DE GENÓTIPOS DE
SOJA CULTIVADOS EM SOLOS COM DIFERENTES SATURAÇÃO
POR BASES**

CHAPADÃO DO SUL – MS

2020

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
CAMPUS DE CHAPADÃO DO SUL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

SINOMAR MOREIRA ANDRADE

**FENOTIPAGEM DE ALTA PERFORMANCE DE GENÓTIPOS DE
SOJA CULTIVADOS EM SOLOS COM DIFERENTES SATURAÇÃO
POR BASES**

Orientador: Prof. Dr. Paulo Eduardo Teodoro

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Agronomia, área de concentração: Produção Vegetal.

CHAPADÃO DO SUL – MS

2020



Serviço Público Federal
Ministério da Educação
Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

DISCENTE: Sinomar Moreira Andrade

ORIENTADOR: Dr. Paulo Eduardo Teodoro

TÍTULO: Fenotipagem de alta performance de genótipos de soja cultivados em solos com diferentes saturação por bases

AVALIADORES:

Prof. Dr. Presidente Paulo Eduardo Teodoro

Prof. Dr. Hebert Hernan Soto Gonzales

Prof. Dr. Jorge Gonzalez Aguilera

Chapadão do Sul, 10 de dezembro de 2020.



Documento assinado eletronicamente por **Paulo Eduardo Teodoro, Professor do Magisterio Superior**, em 10/12/2020, às 13:47, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Jorge Gonzalez Aguilera, Professor do Magisterio Superior - Visitante**, em 10/12/2020, às 14:12, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **HEBERT HERNAN SOTO GONZALES, Usuário Externo**, em 10/12/2020, às 15:14, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).

DEDICATÓRIA

*À minha esposa Mônica e minha filha Aline,
companheiras de todas as horas, por estarem
sempre ao meu lado e ter me apoiado desde o
início para que eu pudesse desenvolver esse
projeto.*

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por todas as oportunidades proporcionadas em minha vida e por permitir que completasse mais essa etapa.

À minha família, em especial a minha esposa (Mônica) e minha filha (Aline) que foram a minha fonte de inspiração ao longo dessa caminhada. Muito obrigado por todo amor, incentivo e suporte.

Ao meu Orientador, Prof. Dr. Paulo Eduardo Teodoro, pela oportunidade de trabalharmos juntos, pela amizade, pelos ensinamentos, por seu exemplo profissional de dedicação à pesquisa, ensino e, sobretudo, pela disponibilidade e paciência em todos os momentos.

Aos docentes do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, pelo apoio e pela disponibilidade que sempre demonstraram, em especial aos professores, Dr. Fábio Henrique Rojo Baio e Dra. Larissa Pereira Ribeiro Teodoro, por enriquecerem esse trabalho com preciosas sugestões.

Aos membros da banca examinadora, Prof. Dr. Hebert Hernan Soto Gonzales e Prof. Dr. Jorge Gonzalez Aguilera, pela disponibilidade e contribuição na melhoria do trabalho.

À Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS) e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia pela oportunidade e estrutura, por ter me acolhido como aluno de mestrado e por todo o aprendizado que me proporcionou.

Por fim, agradeço a todos que contribuíram, de alguma forma, para essa conquista e me incentivaram durante esse projeto.

EPÍGRAFE

“A verdadeira viagem de descobrimento não consiste em procurar novas paisagens, mas em ter novos olhos”.

Marcel Proust

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Condições climáticas ao longo das safras 2017/2018 (A) e 2018/2019 (B)..... 15
- Figura 2.** Gráfico de correlações e dispersão entre as variáveis avaliadas em 10 populações F₃ de soja cultivadas sem e após aplicação de calcário. 23

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Genealogia das 10 populações de soja F ₃ e grupo de maturidade relativa (GMR) das cultivares IPRO utilizadas como pais avaliadas nas safras 2017/2018 e 2018/2019 em Chapadão do Sul, MS, Brasil.	15
Tabela 2. Equações e referências dos índices de vegetação (IVs) utilizados para fenotipagem de alta performance.	16
Tabela 3. P-valor da análise de variância para os caracteres teor de cálcio (Ca) e magnésio (Mg), índices de vegetação (NDVI, SAVI, GNDVI, EVI e MSAVI) e produtividade de grãos (PROD) avaliados em 10 populações F ₃ de soja cultivadas sem e após aplicação de calcário (C).....	18
Tabela 4. Agrupamento de médias para populações F ₃ de soja e calagem para o teor de cálcio (Ca) e magnésio (Mg) foliar.....	19
Tabela 5. Agrupamento de médias para populações F ₃ de soja e calagem para os índices de vegetação NDVI, SAVI, GNDVI e MSAVI.	20
Tabela 6. Desdobramento da interação significativa entre populações F ₃ de soja e saturação de bases para o índice de vegetação EVI.	21
Tabela 7. Desdobramento da interação significativa entre populações F ₃ de soja e saturação de bases para a variável produtividade de grãos (PROD, kg ha ⁻¹).	22

FENOTIPAGEM DE ALTA PERFORMANCE DE GENÓTIPOS DE SOJA CULTIVADOS EM SOLOS COM DIFERENTES SATURAÇÃO POR BASES

RESUMO

A busca por genótipos de alta produtividade e que sejam tolerantes aos estresses abióticos tem sido prioridade no melhoramento de plantas. Com isso, aumentou-se o uso de tecnologias como a agricultura de precisão, associada as ferramentas do sensoriamento remoto para fenotipagem de plantas. O objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho agrônômico de genótipos de soja via fenotipagem de alta performance em solos com diferentes níveis de saturação por bases. O experimento foi conduzido durante duas safras agrícolas no campo experimental da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – Campus de Chapadão do Sul. Em cada safra foram instalados dois experimentos. No experimento I as populações F₃ foram avaliadas sem a correção do solo. No experimento II foi aplicado calcário três meses antes da semeadura para elevar a saturação por bases a 60%. Cada experimento foi delineado em blocos ao acaso com 10 populações F₃ (P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8, P9 e P10) em três repetições. As avaliações das características relacionadas a fenotipagem de alta performance ocorreram aos 60 dias após a emergência (DAE) em cada safra. Foi avaliado o comportamento espectral do dossel nos seguintes comprimentos de onda: verde (550 nm), vermelho (660 nm), borda do vermelho (735 nm) e infravermelho próximo (790 nm) e calculado os índices de vegetação. Além disso, foram avaliados o teor de cálcio e magnésio foliar aos 60 DAE e a produtividade de grãos na maturação. O uso do sensoriamento remoto se mostrou eficiente na avaliação do desempenho das populações F₃ de soja nos diferentes níveis de saturação por bases. O EVI (enhanced vegetation index) apresentou correlação de causa e efeito com as variáveis nutricionais e agrônômicas mensuradas, em cada nível de saturação por bases.

Palavras-chave: *Glycine max* L. Merrill, melhoramento de plantas, sensoriamento remoto, estresse abiótico, índice de vegetação.

HIGH-THROUGHPUT PHENOTYPING OF SOYBEAN GENOTYPES CULTIVATED IN SOILS WITH DIFFERENT BASE SATURATION

ABSTRACT

The search for high productivity genotypes that are tolerant to abiotic stresses has been a priority in plant breeding. As a result, the use of technologies such as precision agriculture has increased, associated with remote sensing tools for plant phenotyping. The objective of this work was to evaluate the agronomic performance of soybean genotypes via high-throughput phenotyping in soils with different levels of base saturation. The experiment was conducted during two crop seasons in the experimental field of the Federal University of Mato Grosso do Sul - Campus of Chapadão do Sul. In each crop two experiments were installed. In experiment I, F₃ populations were evaluated without soil correction. In experiment II, lime was applied three months before sowing to increase base saturation to 60%. Each experiment was designed in randomized blocks with 10 F₃ populations (P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8, P9 and P10) in three replications. The evaluations of the characteristics related to high yield phenotyping occurred at 60 days after emergence (DAE) in each crop season. The spectral behavior of the canopy at the following wavelengths was evaluated: green (550 nm), red (660 nm), rededge (735 nm) and near infrared (790 nm) and vegetation indices were calculated. In addition, leaf calcium and magnesium content at 60 DAE and grain yield at maturation were evaluated. The use of remote sensing proved to be efficient in evaluating the performance of the F₃ soybean populations at different levels of base saturation. The EVI (enhanced vegetation index) showed cause and effect correlation with the measured nutritional and agronomic variables, at each base saturation level.

Keywords: *Glycine max* L. Merrill, plant breeding, remote sensing, abiotic stress, vegetation index.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
2. MATERIAL E MÉTODOS	14
2.1. Condução do experimento	14
2.2. Delineamento experimental e material genético	15
2.3. Fenotipagem de alta performance	16
2.4. Avaliações nutricionais e agronômicas	16
2.5. Análises estatísticas	17
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	17
4. CONCLUSÃO	25
5. REFERÊNCIAS	26

1. INTRODUÇÃO

A soja [*Glycine max* (L.) Merrill] é um dos principais insumos da indústria alimentícia com grande importância para alimentação humana e animal. O Brasil é o maior exportador e o segundo maior produtor mundial de soja estando atrás apenas dos Estados Unidos. Na safra 2018/2019 o Brasil alcançou uma produção de 155 milhões de toneladas com área plantada de 35,8 milhões de hectares (Conab, 2020). O complexo agroindustrial da soja apresenta contribuições significativas para economia brasileira com áreas cultivadas em diversas regiões do país. Atualmente grande parte da produção brasileira de soja está concentrada na região do Cerrado, onde há o predomínio dos Latossolos (Prado, 2003). Até o final dos anos 70 a produção brasileira de soja se concentrava na região sul, com a necessidade de expansão das fronteiras agrícolas a cultura passou a ocupar também as áreas do Cerrado na região central do país, principalmente a partir dos anos 80. Em 2007, o Cerrado se tornou responsável por 58% da produção brasileira de soja com tendência de crescimento a cada nova safra (Dall' Agnol et al., 2007).

O Cerrado é o segundo maior bioma do país, com grande importância para sistema agrícola nacional e mundial. Possui topografia plana, permitindo a mecanização com uso de máquinas de grande porte e boas condições físicas do solo (Lourente et al., 2011). Entretanto a incorporação do Cerrado ao sistema produtivo nacional só foi possível a partir do desenvolvimento de técnicas de correção e adubação, pois os solos dessas áreas são pobres em nutrientes e a acidez é um problema recorrente e está associada com o excesso de alumínio e os baixos teores de cálcio e magnésio (Fageria e Stone, 1999). O processo de acidificação pode ocorrer naturalmente pelas condições do ambiente ou ser induzido pelas práticas de adubação, especialmente pelos fertilizantes nitrogenados nos solos cultivados (Primavesi e Primavesi, 2004). Na agricultura brasileira, o calcário é o principal material corretivo empregado na correção do solo (Ronquim et al., 2010).

A calagem é necessária para elevar a saturação por bases, corrigir a acidez trocável, neutralizar o alumínio tóxico e fornecer cálcio e magnésio ao solo, além de aumentar a disponibilidade de outros nutrientes para as plantas (Caires et al., 2004; Caires et al., 2006 e Joris et al., 2016). A correção do solo juntamente com as práticas de adubação revolucionou a agricultura brasileira, pois até 1950 a agricultura no país dependia basicamente da fertilidade natural do solo (Lacerda et al., 2015). Para atingir bons índices de produtividade de grãos nos solos do Cerrado Sousa e Lobato (2004), recomendam manter o pH entre 5,5 a 6,3 e saturação por bases entre 40% e 60%. Para o cultivo da soja em solos do Cerrado a recomendação é

aplicar calcário para elevar a saturação por bases a 50% (Sousa e Lobato, 2004). Segundo Altmann (2012), é recomendável também que a saturação por bases não seja superior a 60%, pois valores de pH em água maiores que 6,0 em lavouras de soja cultivadas nos solos do Cerrado pode inibir a atividade de fungos benéficos e favorecer a proliferação de nematoides.

A busca por cultivares que sejam adaptadas aos estresses abióticos e que maximizem o uso dos recursos naturais disponíveis tem exigido avanços nas técnicas de fenotipagem de plantas. As técnicas tradicionais de fenotipagem tem sido um fator limitante para o avanço do conhecimento e desenvolvimento de variedades de culturas e ganhos de produtividade (Holman et al., 2016). A fenotipagem consiste na caracterização dos recursos genéticos e envolve a medição e avaliação das características físicas mensuráveis. Esses procedimentos são necessários para avaliar a expressão dos genótipos nas diferentes condições ambientais e fazem parte da essência do melhoramento de plantas (Fasoula et al., 2020).

Observações terrestres limitam a capacidade de coleta de dados fenotípicos de alta qualidade em campos abertos. Nesse sentido, o sensoriamento remoto tem se tornado uma importante ferramenta para caracterizar os recursos genômicos disponíveis, inclusive, para fenotipagem de plantas em campo (Costa et al., 2019). Os veículos aéreos não tripulados (VANTs) tem se tornado um importante instrumento do sensoriamento remoto. Equipados com câmeras e sensores multiespectrais são capazes de efetuar o mapeamento detalhado das lavouras. Dentre as informações contidas nos mapas, estão os índices de vegetação usados para medir desempenho das plantações.

Os índices de vegetação são modelos matemáticos desenvolvidos a partir da refletância das coberturas vegetais com base em diferentes bandas espectrais e comprimentos de ondas (Atzberger, 2013). Em geral, a vegetação apresenta baixa refletância na faixa do visível em função da forte absorção da radiação pelos pigmentos fotossintéticos, principalmente nas regiões do azul (450 nm) e do vermelho (660 nm). Na região do infravermelho próximo (NIR - acima de 700 nm) a refletância é alta devido a interação da radiação incidente com as estruturas das folhas e pela baixa absorção dessa energia pelos pigmentos fotossintéticos (Canata et al., 2019). A refletância capturada pelos sensores permite estabelecer correlações espaciais e temporais da atividade fotossintética e das variações estruturais do dossel (Brandão et al., 2018). Dada essa dependência, os índices de vegetação se constituem em importantes indicadores para estimativas de produtividade, avaliação nutricional e identificação de pragas e doenças (Zarco-Tejada et al., 2005).

O objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho agrônômico de genótipos de soja via fenotipagem de alta performance em solos com diferentes níveis de saturação por bases.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Condução do experimento

Foram realizados dois experimentos, sendo o primeiro na safra 2017/2018 e o segundo na safra 2018/2019, com soja em condição de campo no campo experimental da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, campus de Chapadão do Sul, MS - Brasil (18°46'26"S, 52°37'28"W e altitude média de 810 m). O clima da região é classificado como tropical úmido, com estação chuvosa no verão e seca no inverno, com precipitação anual média de 1.850 mm e temperatura anual média de $20,5 \pm 7,5$ °C.

O solo da área experimental foi identificado como Latossolo vermelho distrófico (EMBRAPA, 2018), onde previamente a instalação do experimento foi realizada análise química do solo na camada de 0,00 – 0,20 m, segundo Raij et al. (2001) apresentando as seguintes características: pH (CaCl₂) = 4,80; matéria orgânica = 17,60 g dm⁻³; P = 5,00 mg dm⁻³; H + Al = 5,32 cmolc dm⁻³; K = 0,18 cmolc dm⁻³; Ca = 1,60 cmolc dm⁻³; Mg = 0,50 cmolc dm⁻³; capacidade de troca catiônica (CTC) = 7,60 cmolc dm⁻³; saturação de bases (V) = 30%. As proporções de argila, areia e silte foram 46, 46 e 8%, respectivamente.

No experimento I as populações geração F₃ foram avaliadas sem aplicação de calcário. No experimento II foi aplicado calcário três meses antes da semeadura em cada safra para elevar a saturação de bases a 60%, conforme recomendação de Sousa e Lobato (2004). O calcário utilizado possui poder relativo de neutralização total (PRNT) de 90% e poder de neutralização (PN) de 107%. A porcentagem de CaO e MgO é de 31 e 21%, respectivamente.

Para implantação dos experimentos, foi utilizado preparo convencional do solo com uma aração e duas gradagens (com grade leve). A abertura e a adubação das linhas foram realizadas de forma mecanizada com uma semeadora Semeato[®] de cinco linhas no espaçamento de 0,45 m entre linhas. A adubação de base utilizada foi 300 kg ha⁻¹ do formulado NPK 04-14-08.

A semeadura foi realizada manualmente com a distribuição de 15 sementes por metro. As sementes foram tratadas com fungicida (Piraclostrobina + Metil Tiofanato) e inseticida (Fipronil), na dose de 200 mL do produto comercial para cada 100 kg de sementes afim de se garantir proteção contra o ataque de pragas e fungos de solo.

Para a fixação biológica de nitrogênio, as sementes foram inoculadas com bactérias do gênero *Bradyrhizobium*, sendo utilizada a dose de 200 mL de inoculante líquido concentrado para cada 100 kg de sementes (Silva et al., 2011). O controle de plantas daninhas, pragas e doenças foi realizado conforme recomendações técnicas para a cultura (Sediyama et al., 2015). A Figura 1 contém as condições climáticas observadas no decorrer do experimento.

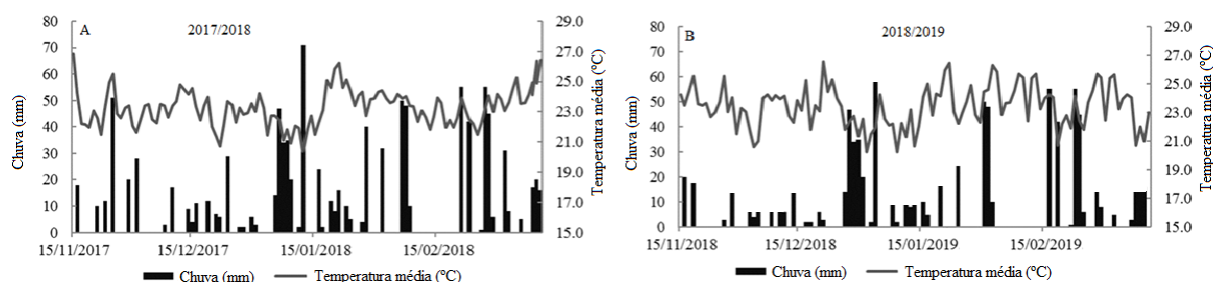


Figura 1. Condições climáticas ao longo das safras 2017/2018 (A) e 2018/2019 (B).

2.2. Delineamento experimental e material genético

Cada experimento foi delineado em blocos ao acaso sendo 10 populações F_3 (P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8, P9 e P10) em três repetições. A unidade experimental foi formada de três linhas de 3 m para cada tratamento, espaçadas em 0,45 m. As populações segregantes foram obtidas pelo método da população (*bulk*) nas gerações anteriores sendo registrado a genealogia de cada população (Tabela 1).

Tabela 1. Genealogia das 10 populações de soja F_3 e grupo de maturidade relativa (GMR) das cultivares IPRO utilizadas como pais avaliadas nas safras 2017/2018 e 2018/2019 em Chapadão do Sul, MS, Brasil.

População	Genitor masculino		Genitor feminino	
	Cultivar	GMR	Cultivar	GMR
P1	BMX Prisma	7.5	SYN 13671	7.1
P2	BMX Bônus	7.9	SYN 13671	7.1
P3	BMX Flecha	6.6	SYN 13671	7.1
P4	M6410	6.4	SYN 13671	7.1
P5	NS 6909	6.9	BMX Ponta	6.1
P6	BMX Prisma	7.5	DM 6563 RSF	6.3
P7	BMX Bônus	7.9	DM 6563 RSF	6.3
P8	BMX Flecha	6.6	DM 6563 RSF	6.3
P9	M6410	6.4	DM 6563 RSF	6.3
P10	M7739	7.7	DM 6563 RSF	6.3

2.3. Fenotipagem de alta performance

As características relacionadas a fenotipagem de alta performance foram aos 60 dias após a emergência (DAE) em cada safra. Foram avaliados os seguintes comprimentos de onda: verde (550 nm), vermelho (660 nm), borda do vermelho (735 nm) e infravermelho próximo (790 nm). Foi utilizado uma aeronave remotamente pilotada (UAV) de asa fixa Sensefly eBee RTK, com controle autônomo de decolagem, plano de voo e aterrissagem. O eBee foi equipado com o sensor multiespectral Sensefly Sequoia. O sensor multiespectral Sequoia fez aquisição da reflectância nos comprimentos supracitados, possuindo um sensor de luminosidade permitindo a calibração dos valores adquiridos.

As informações adquiridas nesses comprimentos de ondas permitiram o cálculo dos diversos mapas dos índices de vegetação demonstrados na Tabela 2. O levantamento aéreo foi realizado das 8 às 10 horas em condições de céu aberto sem presença de nebulosidade, com o uso da tecnologia RTK (*Real Time Kinematics*), possibilitando estimar a posição da câmera no instante de coleta da imagem com acurácia de 2,5 cm. As imagens foram mosaicadas e ortoretificadas pelo programa computacional Pix4Dmapper. A acurácia posicional das ortoimagens foi verificada com pontos de controle em campo (GCP – *Ground Control Points*), levantados com o RTK.

Tabela 2. Equações e referências dos índices de vegetação (IVs) utilizados para fenotipagem de alta performance.

IVs	Equação
NDVI	$\frac{Nir - Red}{Nir + Red}$
SAVI	$(1 + 0,5) \frac{nir - red}{nir + red + 0,5}$
GNDVI	$\frac{Nir - Green}{Nir + Green}$
EVI	$\frac{nir - red}{(nir + 6red - 7,5green) + 1}$
MSAVI	$\frac{2Nir + 1 - \sqrt{(2Nir + 1)^2 - (8Nir - Red)}}{2}$

2.4. Avaliações nutricionais e agronômicas

Aos 60 DAE, foi coletada terceira folha totalmente desenvolvida a partir do ápice da planta, considerada diagnóstica para análise nutricional da soja, pois é nesse ponto que ocorre

a maioria dos processos metabólicos responsáveis pela aquisição de energia pelas plantas (Malavolta et al., 1997). Na análise nutricional foi determinado os teores foliares de cálcio e de magnésio em g Kg^{-1} através de digestão via úmida com ácido nítrico-perclórico seguido por leitura em espectrofotômetro de absorção atômica (Carmo et al., 2000).

A produtividade de grãos foi avaliada após as plantas atingirem a maturidade fisiológica pela colheita manual de 1 m central de cada unidade experimental, correção da umidade para 13% e extrapolada para kg ha^{-1} .

2.5. Análises estatísticas

Inicialmente, os dados foram submetidos a análise de variância individual, considerando genótipos e os ambientes como fixos. Após verificar que a relação entre o maior e o menor quadrado médio do resíduo não excedeu a 7,0 foi realizada análise conjunta, conforme preconizado por Banzatto e Kronka (2006). Para agrupamento das médias foi utilizado o critério de Scott & Knott. Posteriormente, foram estimadas as correlações de Pearson entre as variáveis. Foi construído um gráfico de correlação e dispersão contendo as correlações entre as variáveis em função da saturação por bases. As análises foram realizadas com software R.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O efeito safra não apresentou valores significativos nem interação com os demais caracteres avaliados. Esses resultados podem ser atribuídos as condições climáticas semelhantes durante as duas safras (Figura 1). Todos os fatores avaliados apresentaram coeficiente de variação (CV) inferiores a 15%, sendo a maioria menor que 10%. Esses valores são importantes, pois revelam boa precisão dos resultados estatísticos.

A interação entre população e calagem foi significativa para EVI e Produtividade de grãos. Para os demais caracteres avaliados, os resultados foram significativos tanto para população quanto para calagem, porém sem haver interação entre os dois fatores (Tabela 3). Miranda et al. (2005) observaram efeito semelhante, ao estudar a eficiência da calagem nos sistemas de plantio direto e convencional, com aumento significativo de produtividade da soja em ambos sistemas após a aplicação do calcário.

Esses resultados possibilitaram a obtenção de informações relevantes sobre o comportamento dos genótipos nos diferentes níveis de saturação por bases (com e sem calagem).

Tabela 3. P-valor da análise de variância para os caracteres teor de cálcio (Ca) e magnésio (Mg), índices de vegetação (NDVI, SAVI, GNDVI, EVI e MSAVI) e produtividade de grãos (PROD) avaliados em 10 populações F₃ de soja cultivadas sem e após aplicação de calcário (C).

Fonte de variação	Ca	Mg	NDVI	SAVI	GNDVI	EVI	MSAVI	PROD
Blocos	0.24	0.56	0.01	0.01	0.02	0.75	0.66	0.09
População (P)	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Calagem (C)	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00
safr (S)	0.25	0.12	0.07	0.11	0.18	0.06	0.17	0.08
PxC	0.11	0.15	0.10	0.08	0.15	0.04	0.06	0.00
PxS	0.10	0.28	0.09	0.23	0.43	0.12	0.28	0.09
CxS	0.29	0.34	0.24	0.30	0.67	0.08	0.41	0.36
PxCxS	0.71	0.71	0.31	0.56	0.29	0.19	0.50	0.55
CV (%)	9.45	8.23	7.31	10.79	2.92	14.36	13.08	8.81

CV: coeficiente de variação.

A seleção de genótipos que sejam adaptados as diferentes condições de saturação por bases, assim como identificar aqueles que possuem boa resposta a calagem é fundamental para a agricultura, pois a acidez e a baixa saturação por bases são fatores limitantes para o desenvolvimento das culturas. O desempenho de plantas de soja submetidas ao estresse abiótico provocado pela baixa saturação por base foi estudado por Andrade et al. (2020), que relataram diferenças significativas no desempenho fisiológico de populações de soja nos diferentes níveis de saturação por bases.

As populações P4, P5 e P9 apresentaram as maiores médias para os teores de cálcio (Ca) e magnésio (Mg) (Tabela 4) o que sugere maior eficiência desses genótipos na absorção dos nutrientes. Nas condições de saturação recomendada (V=60%) observou-se maior concentração de cálcio e magnésio no tecido foliar das plantas.

Dessa forma, percebe-se que a elevação da saturação por bases influenciou na absorção dos nutrientes. Castro e Crusciol (2015), ao avaliar os efeitos da aplicação de calcário nos atributos químicos do solo e a nutrição da soja, também observaram aumentos nas concentrações foliares de Ca, Mg e produtividades de grãos.

Tabela 4. Agrupamento de médias para populações F₃ de soja e calagem para o teor de cálcio (Ca) e magnésio (Mg) foliar.

População	Ca	Mg
	----- g kg ⁻¹ -----	
P1	9.05 b	3.25 c
P2	8.95 b	3.10 c
P3	8.88 b	2.91 c
P4	11.75 a	4.31 a
P5	11.69 a	4.28 a
P6	9.56 b	3.65 b
P7	9.25 b	3.58 b
P8	9.28 b	3.67 b
P9	11.71 a	4.24 a
P10	9.66 b	2.93 c

Calagem	Ca	Mg
	----- g kg ⁻¹ -----	
Com calagem	11.46 a	3.92 a
Sem calagem	9.05 b	3.06 b

Médias seguidas por letras diferentes na mesma coluna diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Simultaneamente, a avaliação dos índices de vegetação, foram realizadas medições do teor de cálcio e magnésio foliar, além da produtividade de grãos. As informações espectrais capturadas pelo VANT permitiram correlacionar os dados do sensoriamento remoto com os elementos presentes no solo e as características das plantas, como índice de área foliar, produção de biomassa e os tecidos fotossinteticamente ativos (Brandão et al., 2018).

A partir da análise dos índices de vegetação foi possível verificar as alterações promovidas pelo calcário no dossel das plantas. Os índices de vegetação são calculados com base na refletância do dossel da vegetação e apresentam fortes associações com o desenvolvimento das plantas e são considerados ferramentas promissoras para o monitoramento das culturas agrícolas (Motomiya et al, 2014).

O uso dessas tecnologias permite avaliar com maior agilidade o desempenho das culturas agrícolas através da coleta de dados remotamente (Motomiya et al., 2012 e Shiratsuchi et al., 2014). Essas técnicas vêm sendo empregadas com frequência pelos pesquisadores em

substituição as técnicas tradicionais, pois a coleta de dados em larga escala é dispendiosa e tem sido um obstáculo para o melhoramento de plantas (Bai et al., 2016). Diante da necessidade de rapidez na aquisição de dados os métodos tradicionais tornaram-se insuficientes para atender a demanda, sobretudo para ensaios em culturas que demandam uma grande quantidade de medições (Holman et al., 2016).

Assim, os sensores remotos se tornaram importantes instrumentos para coleta de dados e podem ser instalados em plataformas como, máquinas agrícolas, satélites, aeronaves e veículos aéreos não tripulados (Brandão et al., 2018). Dentre as plataformas mais usadas para coleta de dados tem se destacado os veículos aéreos não tripulados. Esses equipamentos proporcionaram inovações e economia para o sensoriamento remoto, minimizaram os problemas da falta de resolução e os elevados custos que inviabilizava o uso de satélites e aviões (Holman et al., 2016). Os índices de vegetação avaliados nessa pesquisa foram maiores onde houve correção do solo e menores na ausência de calagem (Tabela 5).

Tabela 5. Agrupamento de médias para populações F₃ de soja e calagem para os índices de vegetação NDVI, SAVI, GNDVI e MSAVI.

População	NDVI	SAVI	GNDVI	MSAVI
P1	0.72 b	0.50 b	0.74 b	0.50 c
P2	0.76 b	0.55 b	0.76 b	0.57 b
P3	0.77 b	0.56 b	0.77 b	0.58 b
P4	0.83 a	0.62 a	0.80 a	0.66 a
P5	0.74 b	0.53 b	0.75 b	0.54 b
P6	0.75 b	0.52 b	0.76 b	0.53 b
P7	0.77 b	0.54 b	0.77 b	0.58 b
P8	0.72 b	0.50 b	0.75 b	0.45 c
P9	0.85 a	0.66 a	0.80 a	0.71 a
P10	0.79 a	0.58 b	0.78 b	0.62 a
Calagem	NDVI	SAVI	GNDVI	MSAVI
Com calagem	0.80 a	0.58 a	0.78 a	0.60 a
Sem calagem	0.74 b	0.53 b	0.75 b	0.55 b

Médias seguidas por letras diferentes na mesma coluna diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

As populações que apresentaram os maiores valores para os índices de vegetação foram as mais vigorosas e produtivas. Por outro lado, quanto menor o índice de vegetação menor o vigor e a produtividade. Essas tendências nos os índices de vegetação se justificam devido as alterações provocada pela calagem no vigor das plantas de soja. Já que o aumento da disponibilidade de Ca^{2+} e Mg^{2+} no solo favorece o crescimento radicular das leguminosas e eleva a absorção desses nutrientes pelas raízes (Joris et al., 2016).

As populações P4 e P9 apresentaram os maiores valores para os índices NDVI, SAVI, GNDVI e MSAVI (Tabela 5) e as maiores médias de produtividade (Tabela 7). Dentre os índices de vegetação avaliados apenas o EVI detectou a interação entre população e calagem, indicando este índice como ferramenta potencial para seleção de genótipos que sejam adaptados aos diferentes níveis de saturação por bases.

Na saturação recomendada ($V=60\%$) as populações P4, P7, P9 e P10 apresentaram as maiores médias para o EVI. Enquanto que para as populações P1, P3, P4, P5, P7 e P9 os maiores valores do EVI foram observados na ausência de calagem ($V=30\%$). Para as populações P2, P4, P6, P7, P8 e P9 a calagem não afetou de forma significativa o valor do EVI. Já nas populações P1, P3 e P5 o EVI foi maior na ausência de calagem e apenas em P10 foi maior na presença de calagem (Tabela 6).

Tabela 6. Desdobramento da interação significativa entre populações F_3 de soja e saturação de bases para o índice de vegetação EVI.

População	Saturação	
	Recomendada – 60%	Baixa – 30%
P1	0.21 bB	0.32 aA
P2	0.22 bA	0.26 bA
P3	0.26 bB	0.32 aA
P4	0.31 aA	0.30 aA
P5	0.22 bB	0.30 aA
P6	0.24 bA	0.25 bA
P7	0.34 aA	0.34 aA
P8	0.20 bA	0.22 bA
P9	0.31 aA	0.30 aA
P10	0.29 aA	0.24 bB

Médias seguidas por letras minúsculas diferentes na mesma coluna e maiúscula diferentes na mesma linha diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

O Índice EVI foi capaz de detectar as maiores produtividades de grãos das populações P4 e P9 na dose recomenda, assim como o bom desempenho das populações P1 e P9 nas condições de baixa saturação por bases (Tabela 6 e 7). A principal vantagem do EVI em relação aos demais índices avaliados é a sua maior sensibilidade nas áreas de alta biomassa, bem como a capacidade de reduzir as influências do solo e da atmosfera na resposta do dossel (Galford et al., 2008). O EVI também é sensível às variações do índice de área foliar (IAF) e arquitetura do dossel (Huete et al., 2002).

As populações P4, P6 e P8 foram as que apresentaram as melhores respostas a calagem com aumento significativo de produtividade após a correção do solo. Para a população P5, embora a resposta a calagem seja considerada positiva, sua produtividade foi significativamente menor em relação aos demais genótipos (Tabela 7). O efeito positivo da calagem na produtividade também foi relatado nos estudos de Indrasumunar et al. (2012), Paradelo et al. (2015), Serafim et al. (2019) e Sfredo (2008).

Tabela 7. Desdobramento da interação significativa entre populações F₃ de soja e saturação de bases para a variável produtividade de grãos (PROD, kg ha⁻¹).

População	Saturação	
	Recomendada – 60%	Baixa – 30%
P1	5181 aA	5662 aA
P2	3176 bA	2951 bA
P3	2927 bA	2506 bA
P4	6522 aA	3105 bB
P5	3511 bA	2491 bB
P6	6294 aA	3147 bB
P7	2709 bA	2588 bA
P8	5053 aA	3677 bB
P9	5227 aA	5225 aA
P10	2710 bA	2567 bA

Médias seguidas por letras minúsculas diferentes na mesma coluna e maiúscula diferentes na mesma linha diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Nas condições de saturação recomendada (V=60%) as populações P1, P4, P6, P8 e P9 obtiveram as maiores médias de produtividade. Enquanto que na baixa saturação (V=30%) as

populações P1 e P9 foram as que apresentaram os melhores desempenhos (Tabela 7). Patinni et al. (2020) observaram que a elevação da saturação por bases a 60% aumentou o desempenho agrônômico e a eficiência no uso da água em populações de soja.

A populações responsáveis pelas maiores absorções de cálcio e magnésio (Tabela 4) apresentaram as maiores médias para os índices de vegetação (Tabela 5) e as maiores produtividades de grãos, com destaque para P4 e P9 (Tabela 7). Desta forma, observou-se uma correlação positiva entre a calagem e a produtividade, indicativo de que o desenvolvimento das plantas foi influenciado pela aplicação do calcário. Estudos de Joris et al. (2016) demonstraram que a produtividade da soja é afetada positivamente pela aplicação de calcário.

Dentre as populações de melhor desempenho, observou-se que P1 e P9 apresentaram produtividades semelhantes tanto na dose recomendada como nas condições de baixa saturação por bases (Tabela 7). Isso demonstra maior rusticidade dessas populações aos estresses abióticos provocados pela baixa saturação por bases se comparada aos demais genótipos avaliados. A seleção de genótipos que apresentem bom desempenho em solos com baixa saturação por base é uma busca constante dos programas de melhoramento. Já que a acidez do solo consiste em um problema que limita a produtividade das culturas em escala mundial (Fageria, 2001). As correlações e dispersão entre as variáveis avaliadas estão apresentados na Figura 2.

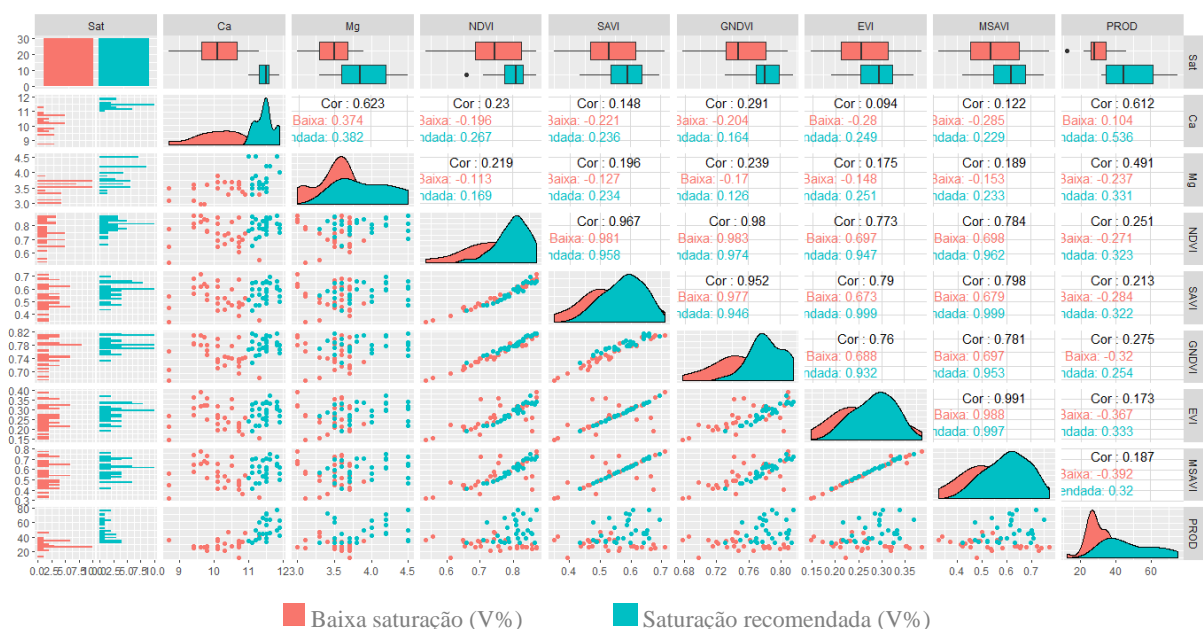


Figura 2. Gráfico de correlações e dispersão entre as variáveis avaliadas em 10 populações F₃ de soja cultivadas sem e após aplicação de calcário.

O cálcio e o magnésio estabeleceram correlações positivas com todas as demais variáveis avaliadas na saturação recomendada. Por outro lado, na baixa saturação por bases tanto o cálcio como o magnésio obtiveram correlações negativa com a maioria das variáveis, exceto na correlação direta entre eles que foi positiva e superior a 0,6 (Figura 2).

A produtividade de grãos obteve correlações positivas com todas as demais variáveis na saturação recomendada e negativas com a maioria das variáveis na baixa saturação por bases, exceto com cálcio. A correlação entre produtividade e o teor de cálcio foi positiva tanto na ausência como na presença da calagem com valores de 0,1 e 0,5 respectivamente. A correção total entre produtividade de grãos e teor de cálcio foi positiva de 0,6. Isso indica que a maior disponibilidade de cálcio contribuiu para o aumento da produtividade de grãos, confirmando a importância do cálcio para a cultura da soja.

Todos os índices de vegetação se correlacionaram positivamente entre si tanto na ausência de calagem como na saturação recomendada, obtendo correlação total positiva superior a 0,7. Isso, demonstra que os índices avaliados nessa pesquisa podem ser utilizados como complementares na avaliação do desempenho de plantas de soja submetidas a diferentes níveis de saturação por bases no solo. Os índices de vegetação têm sido usados, inclusive, durante o ciclo de desenvolvimento da cultura com objetivo de obter informações adicionais sobre status nutricional, bem como seu potencial produtivo (Rissini et al., 2015).

O sensoriamento remoto, por meio dos índices de vegetação, mostrou-se capaz de detectar as alterações provocadas pelas diferentes condições de saturação por bases no solo em populações geração F₃ de soja. Assim, essas ferramentas podem ser utilizadas na fenotipagem de alta performance. Segundo Costa et al. (2019) a fenotipagem moderna de planta se caracteriza, principalmente, pelo uso de tecnologias digitais não invasivas capazes de fornecer informações essenciais relacionadas a genética, pressões ambientais e ao gerenciamento das culturas, com potencial para seleção de plantas com produtividades adequadas para cada ambiente.

As medições não destrutivas e de alto rendimento se constituem em pilares da fenotipagem de alta performance, pois permitem rastrear muitos genótipos em condições semelhantes, fornecendo informações que podem ser correlacionadas com a produtividade (Costa et al., 2019). O melhoramento de plantas via fenotipagem de alta performance tem se consolidado com uso das imagens espectrais, sem necessidade de remoção das plantas para estimativa de biomassa e mensuração de parâmetros agronômicos.

Todavia, para se obter confiabilidade e significância estatística nos levantamentos em campo são necessários vários testes experimentais para que os dados obtidos remotamente

possam apoiar ou substituírem as investigações em laboratório e também as observações in loco no campo (Hott et al., 2019). A estimativa de produtividade através do sensoriamento remoto vem se tornando uma prática importante para agricultura, pois possibilita estimar o rendimento da cultura ainda no estágio vegetativo (Zarco-Tejada et al., 2005).

Além de serem importantes para estimar produtividade os índices de vegetação são usados também para detectar de forma precoce possíveis estresses abióticos nas culturas (Brandão et al., 2018). Nesse sentido os índices de vegetação se apresentam como ferramentas promissoras para avaliar o desempenho das populações de soja nos diferentes níveis de saturação por base. Sendo úteis tanto para selecionar genótipos tolerantes aos solos com baixa saturação por bases como identificar aqueles que melhor respondam a calagem.

4. CONCLUSÃO

Na saturação recomendada as populações P4 e P9 apresentaram os maiores teores foliares de cálcio e magnésio, as maiores médias de produtividades de grãos e os maiores valores para os índices de vegetação.

Na baixa saturação por bases as populações P1 e P9 apresentaram os maiores valores para o índice EVI e as maiores médias de produtividade de grãos.

As populações P4, P6 e P8 apresentaram as melhores respostas a calagem, sendo indicadas para áreas onde se deseja efetuar a correção do solo.

Os índices de vegetação avaliados nessa pesquisa apresentam características complementares e mostraram-se eficientes para caracterização de plantas de soja em condições contrastantes de saturação por bases. O desenvolvimento dessas ferramentas são essências para fenotipagem de alta performance, pois garantem maior agilidade na triagem de grandes ensaios de campo.

5. REFERÊNCIAS

ALTMANN, N. Adubação de sistemas integrados de produção em plantio direto: resultados práticos no cerrado. *Informações Agronômicas*, Piracicaba, n.140, p.1-8, 2012.

ANDRADE, C. A.; PATINNI, I. R. G.; PANTALEÃO, A. A.; TEODORO, L. P. R.; CAMPOS, C. N. S.; SOUZA JUNIOR, J. P.; PRADO, R. M.; SILVA JUNIOR, C. A.; TEODORO, P. E. Physiological response and earliness of soybean genotypes to soil base saturation conditions. *Journal of Agronomy and Crop Science*, p. 1-7, 2020.

ATZBERGER, C. Advances in Remote Sensing of Agriculture: Context Description, Existing Operational Monitoring Systems and Major Information Needs. *Remote Sensing*, v. 5, p. 949-981, 2013.

BAI, G., GE, Y., HUSSAIN, W., BAENZIGER, P.S., GRAEF, G. A multi-sensor system for high throughput field phenotyping in soybean and wheat breeding. *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 128, p. 181–192, 2016.

BANZATTO, D. A.; KRONKA, S. N. Experimentação agrícola. Jaboticabal-SP: FUNEP, 2006.

BRANDÃO, Z. N.; ZONTA, J. H.; SHIRATSUCHI, L. S. Sensoriamento remoto na cultura do algodão. In: Leonardo Tullio. (Org.). *Aplicações e Princípios do Sensoriamento Remoto*. 1. ed. Ponta Grossa: Atena, v. 1, p. 209-224, 2018.

CAIRES, E. F.; BARTH, G.; GARBUIO, F. J. Lime application in the establishment of a no-till system for grain crop production in Southern Brazil. *Soil & Tillage Research*, v. 89, p. 3-12, 2006.

CAIRES, E.F.; KUSMAN, M.T.; BARTH, G.; GARBUIO, F.J. & PADILHA, J.M. Alterações químicas do solo e resposta do milho à calagem e aplicação de gesso. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 28, p. 125-136, 2004.

CANATA, T. F.; WEI, M. C. F.; MOLIN, J. P. Sensores ópticos ativos. USP-ESALQ. *Agricultura de precisão: Boletim Técnico 05*, Piracicaba, p.1-4, 2019.

CARMO, C. A. F. S.; ARAÚJO, W. S. A.; BERNARDI, A. C. C.; SALDANHA, M. F. C. Métodos de análise de tecidos vegetais utilizados na Embrapa Solos. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 47 p. (Embrapa Solos. Circular Técnica; 6), 2000.

CASTRO, G. S. A.; CRUSCIOL, C. A. C. Effects of surface application of dolomitic limestone and calcium-magnesium silicate on soybean and maize in rotation with green manure in a tropical region. *Bragantia*, Campinas, v. 74, n. 3, p.311-321, 2015.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira de grãos. v. 7, n. 9, 2020.

COSTA, C.; SCHURR, U.; LORETO, F.; MENESATTI, P.; CARPENTIER S. Plant Phenotyping Research Trends, a Science Mapping Approach. *Frontiers in Plant Science*, v. 9, n.1933, 2019.

DALL'AGNOL, A.; ROESSING, A. C.; LAZZAROTTO, J. J.; HIRAKURI, M. H.; OLIVEIRA, A. B. de. O complexo agroindustrial da soja brasileira. Londrina: Embrapa Soja, 11 p. (Embrapa Soja. Circular técnica, 43), 2007.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 5 ed., rev. e ampl., Brasília, DF: Embrapa, 356p, 2018.

FAGERIA, N. K. Efeito da calagem na produção de arroz, feijão, milho e soja em solo de Cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 36, n. 11, p. 1419-1424, 2001.

FAGERIA, N. K.; STONE, L. F. Manejo da acidez dos solos de Cerrado e de Várzea do Brasil. Santo Antônio, GO: Embrapa Arroz e Feijão, 42 p. (Embrapa Arroz e Feijão. Documento, 92), 1999.

FASOULA, D. A.; IOANNIDES, I. M.; OMIROU, M. Phenotyping and Plant Breeding: Overcoming the Barriers. *Frontiers in Plant Science*, v. 10, n. 1713, 2020.

GALFORD, G. L.; MUSTARD, J. F.; MELILLO, J.; GENDRIN, A.; CERRI, C. C.; CERRI, C. E. P. Wavelet analysis of MODIS time series to detect expansion and intensification of row-crop agriculture in Brazil. *Remote Sensing of Environment*, v.112, p.576-587, 2008.

HOLMAN, F. H.; RICHE, A. B.; MICHALSKI, A.; CASTLE, M.; WOOSTER, M. J.; HAWKESFORD, M. J. High throughput field phenotyping of wheat plant height and growth rate in field plot trials using UAV based remote sensing. *Remote Sensing*, v. 8, n.1031, 2016.

HOTT, M. C.; ANDRADE, R. G.; MAGALHÃES JUNIOR, W. C. P.; BENITES, F. R. G. uso de veículo aéreo não tripulado (VANT) para estimativa de vigor e de correlações agronômicas em genótipos de capim cynodon. In: Silva, H. C. (Org.). *Engenharia Sanitária e Ambiental*. 1. ed. Ponta Grossa, PR: Atena Editora, v. 1, p. 235-244, 2019.

HUETE, A. R.; DIDAN, K.; MIURA, T.; RODRIGUEZ, E. P.; GAO, X.; FERREIRA, L. G. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sensing of Environment*, v.83, p.195-213, 2002.

INDRASUMUNAR, A.; MENZIES, N.W.; DART, P.J. Calcium Affects the Competitiveness of Acid-Sensitive and Acid-Tolerant Strains of *Bradyrhizobium Japonicum* in Nodulating and Fixing Nitrogen with Two Soybean Cultivars in Acid Soil. *Soil Biology & Biochemistry*, v. 46, p. 115-122, 2012

JORIS, H. A. W.; CAIRES E. F.; SCHARR D. A.; BINI A. R.; HALISKI A. Liming in the conversion from degraded pastureland to a no-till cropping system in Southern Brazil. *Soil & Tillage Research*, v. 162, p. 68-77, 2016.

LACERDA, J. J. de J.; RESENDE, A. V. de; FURTINI NETO, A. E.; HICKMANN, C.; CONCEIÇÃO, O. P. da. Adubação, produtividade e rentabilidade da rotação entre soja e milho em solo com fertilidade construída. *Revista Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.50, n.9, p.769-778, 2015.

LOURENTE, E. R. P.; MERCANTE, F. M.; ALOVISI, A. M. T.; GOMES, C. F.; GASPARINI, A. S.; NUNES, C. M. Atributos microbiológicos, químicos e físicos de solo sob diferentes sistemas de manejo e condições de cerrado. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, Goiânia, v. 41, n. 1, p. 20-28, 2011.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações, 2. ed. Potafos, Piracicaba, 1997. 319 p.

MIRANDA L. N.; MIRANDA. J. C. C.; REIN. T. A.; GOMES. A. C. Utilização de calcário em plantio direto e convencional de soja e milho em Latossolo Vermelho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.40, n.6, p.563-572, 2005.

MOTOMIYA, A. V. A.; MOLIN, J. P.; MOTOMIYA, W. R.; BAILO, F. H. R. Mapeamento do índice de vegetação da diferença normalizada em lavoura de algodão. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, Goiânia, v. 42, n. 1, p. 112-118, 2012.

MOTOMIYA, A. V. A.; VALENTE, I. M. Q.; MOLIN, J. P.; MOTOMIYA, W. R.; BISCARO, G. A.; JORDAN, R. A. Índice de vegetação no algodoeiro sob diferentes doses de nitrogênio e regulador de crescimento. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v. 35, n. 1, p. 169-178, 2014.

PARADELO, R.; VIRTO, I.; CHENU, C. Net effect of liming on soil organic carbon stocks: a review. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 202, p. 98-107, 2015.

PATINNI, I. R. G.; ANDRADE, C. A.; CAMPOS, C. N. S.; TEODORO, L. P. R.; ANDRADE, S. M.; ROQUE, C. G.; SILVA JUNIOR, C. A.; TEODORO, P. E. Agronomic performance and water-use efficiency of F3 soybean populations grown under contrasting base saturation. *Journal of Agronomy and Crop Science*. p. 1-9, 2020.

PRADO, R. M. A calagem e as propriedades físicas de solos tropicais: revisão de literatura. *Revista Biociências*, v. 9, n. 3, 2003.

PRIMAVESI, A. C.; PRIMAVESI, O. Características de corretivos agrícolas. São Carlos, SP: Embrapa Agropecuária Sudeste, 28 p. (Embrapa Agropecuária Sudeste. Documentos, 37), 2004.

RAIJ, B. V.; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. 285p.

RISSINI, A. L. L.; KAWAKAMI, J.; GENÚ, A. M. Índice de Vegetação por Diferença Normalizada e Produtividade de Cultivares de Trigo Submetidas a Doses de Nitrogênio. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 39, p. 1703-1713, 2015.

RONQUIM, C. C. Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais. Campinas, SP: Embrapa Monitoramento por Satélite, 26 p. (Embrapa Monitoramento por Satélite. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 8), 2010.

SEDIYAMA, T.; SILVA, F. L.; BOREM, A. Soja: do plantio à colheita. 1. ed. Viçosa: Editora UFV, 2015. v. 1. 333p.

SERAFIM, M. E.; ZEVIANI, W. M.; ONO, F. B.; NEVES, L. G.; SILVA, B. M.; LAL, R. Reference values and soil quality in areas of high soybean yield in Cerrado region, Brazil. Soil & Tillage Research, v. 195, n.104362, 2019.

SFREDO, G. J. Calagem e adubação da soja. Londrina: Embrapa Soja, 12 p. (Embrapa Soja. Circular técnica, 61), 2008.

SHIRATSUCHI, L. S.; BRANDAO, Z. N.; VICENTE, L. E.; VICTORIA, D. C.; DUCATI, J. R.; OLIVEIRA, R. P.; VILELA, M. F. Sensoriamento Remoto: conceitos básicos e aplicações na Agricultura de Precisão. In: BERNARDI, A. C. C.; NAIME, J. M.; RESENDE, A. V.; BASSOI, L. H.; INAMASU, R. Y. (Ed.). Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar. Brasília, DF: Embrapa, p. 58-73, 2014.

SILVA, A. F.; CARVALHO, M. A. C.; SCHONINGER, E. L.; MONTEIRO, S.; CAIONE, G.; SANTOS, P. A. Doses de inoculante e nitrogênio na semeadura da soja em área de primeiro cultivo. Bioscience Journal, Uberlândia, v. 27, n. 3, p. 404-412, 2011.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. Cerrado: correção do solo e adubação. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2004. 416 p.

ZARCO-TEJADA P. J.; USTIN S. L.; WHITING M. L. Temporal and spatial relationships between within-field yield variability in cotton and high-spatial hyperspectral remote sensing imagery. Agronomy Journal, v. 97, p. 641– 653, 2005.