

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL

CÂMPUS DE CHAPADÃO DO SUL

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

ARIANE DE ANDRÉA PANTALEÃO

**SELEÇÃO DE LINHAGENS F<sub>3:4</sub> PARA CONDIÇÕES  
CONTRASTANTES DE SATURAÇÃO POR BASES**

CHAPADÃO DO SUL – MS

2020

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

ARIANE DE ANDRÉA PANTALEÃO

**SELEÇÃO DE LINHAGENS F<sub>3:4</sub> PARA CONDIÇÕES  
CONTRASTANTES DE 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:** Ariane de Andréa Pantaleão

**ORIENTADOR:** Dr. Paulo Eduardo Teodoro

**TÍTULO:** Seleção de Linhagens F3:4 para condições contrastantes de saturação por bases

#### AVALIADORES:

Prof. Dr. Presidente Paulo Eduardo Teodoro

Profa. Dra. Larissa Pereira Ribeiro Teodoro

Prof. Dr. Leandris Argentelel Martinez

Chapadão do Sul, 18 de dezembro de 2020.



Documento assinado eletronicamente por **Paulo Eduardo Teodoro, Professor do Magisterio Superior**, em 18/12/2020, às 14:01, 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 **Larissa Pereira Ribeiro, Professor do Magisterio Superior**, em 18/12/2020, às 14:04, 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 **LEANDRIS ARGENTEL MARTÍNEZ, Usuário Externo**, em 18/12/2020, às 14:05, 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**

A Deus, por me conceder a vida e tudo que tenho e sou e por guiar em todo meu caminho.

Aos meus pais, João Pantaleão Filho e Jorgina de Andréa **in memoriam**, que sempre me apoiaram e se dedicaram à minha formação, por todos os ensinamentos, conselhos para que eu pudesse conquistar meus sonhos e objetivos de vida.

**Dedico**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a DEUS, pela vida e por proporcionar tudo que sou e tenho. A minha mãe Jorgina de Andréa (in memoriam), infelizmente não pode estar presente neste momento tão feliz da minha vida, no qual sempre me apoiou e me fortaleceu, no fundo do meu coração sinto sua presença, não poderia deixar de agradecê-la, pois se hoje estou aqui, devo muitas coisas a ela e ao meu pai João Pantaleão Filho, pelo apoio, incentivo e por todo amor e carinho a mim dedicados.

Aos meus irmãos Adalzira de Andréa Nazareth Barco e Peterson de Andréa Pantaleão, meu namorado Márcio Augusto Gomes de Figueiredo, meu cunhado Reginaldo Hernandes Barco, meus sobrinhos Felipe de Andréa Barco e Julie Ane de Andréa Barco por serem o meu suporte e minha inspiração durante esta caminhada.

Ao meu orientador Dr. Paulo Eduardo Teodoro pelos ensinamentos, amizade e por ser um modelo de profissional a ser seguido.

A minha querida amiga e Professora Dra. Larissa Pereira Ribeiro Teodoro, pela nossa amizade, apoio durante o mestrado e pela grandiosa disponibilidade de compartilhar seu conhecimento.

Aos membros da banca de qualificação e defesa, pela contribuição na melhoria deste trabalho.

A Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, em especial ao corpo docente do Programa de Pós-graduação em Agronomia, pela excelência e oportunidade de ter aprendido com cada um com quem tive as disciplinas. Agradeço ao Grupo de Estudos em Melhoramento de Plantas (GEMP) pela parceria e contribuição na execução dos experimentos.

Aos meus amigos, Mayara dos Santos Simões, Mariana Souza, Katiane Secco Castro, Evelize Gomes de Figueiredo, Suellen Ramalho, Vanessa Medina, Luan Fernandes, Janaina Persi, Joilson Michael, Hadassa kathyuci Antunes de Abreu, Pamella Mingotti Dias, Ana Carolina Sales, Andressa Prado Souza, Francieli Amaral, Aline Cordeiro Taveira e Luiz Renato Cadore, pelo companheirismo e aprendizado durante a caminhada de estudos do mestrado.

Ao secretário Sinomar e ao Programa de Pós-graduação em Agronomia da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul por toda atenção, dedicação e serviços prestados durante o mestrado.

À Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS) e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia – área de concentração Produção Vegetal, pela excelência e oportunidade de prosseguir meus estudos.

Ao Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de mestrado.

A todos que de alguma forma contribuíram com carinho, atenção, amizade, apoio e incentivo para a conclusão desta importante etapa da minha vida. Deixo aqui meus sinceros e eternos agradecimentos.

## **EPÍGRAFE**

**Entrega teu caminho ao Senhor, confia nele, e Ele tudo fará (Salmo 37:5).**

## LISTA DE TABELAS

### CAPÍTULO - SELEÇÃO DE LINHAGENS F<sub>3:4</sub> PARA CONDIÇÕES CONTRASTANTES DE SATURAÇÃO POR BASES

Tabela 1. Genealogia das 10 populações F<sub>3</sub> de soja e grupo de maturidade relativa (GMR) das cultivares IPRO utilizadas como genitores.....18

Tabela 2. Relação dos índices de vegetação calculados pelo uso do sensor multiespectral Sequoia.....19



## LISTA DE FIGURAS

### CAPÍTULO - SELEÇÃO DE LINHAGENS F<sub>3:4</sub> PARA CONDIÇÕES CONTRASTANTES DE SATURAÇÃO POR BASES

- Figura 1. Balanço hídrico no decorrer do experimento.....20
- Figura 2. Boxplot dos macronutrientes cálcio (Ca), potássio (K) e magnésio (Mg) avaliados em populações F<sub>3</sub> de soja cultivada sob saturação por bases baixa e recomendada.....21
- Figura 3. Boxplot para os caracteres fisiológicos fotossíntese líquida (A), condutância estomática (gs), concentração interna de CO<sub>2</sub> (Ci) e transpiração (E) avaliados em populações F<sub>3</sub> de soja cultivada sob saturação por bases baixa e recomendada.....22
- Figura 4. Boxplot dos índices de vegetação (NDVI, SAVI, NDRE e GNDVI) avaliados em populações F<sub>3</sub> de soja cultivada sob saturação por bases baixa e recomendada.....23
- Figura 5. Boxplot para os caracteres agrônômicos altura de inserção da vagem (AIV), altura de planta (AP), número de ramificações (NR) e produtividade (PROD) avaliados em populações F<sub>3</sub> de soja cultivada sob saturação por bases baixa e recomendada.....24
- Figura 6. Análise de variáveis canônicas para os caracteres fisiológicos fotossíntese líquida (A), condutância estomática (gs), concentração interna de CO<sub>2</sub> (Ci) e transpiração (E) avaliados em populações F<sub>3</sub> de soja cultivada sob saturação por bases baixa.....25
- Figura 7. Análise de variáveis canônicas para os caracteres fisiológicos fotossíntese líquida (A), condutância estomática (gs), concentração interna de CO<sub>2</sub> (Ci) e transpiração (E) avaliados em populações F<sub>3</sub> de soja cultivada sob saturação por bases recomendada.....26
- Figura 8. Análise de variáveis canônicas para os caracteres índices de vegetação (NDVI, SAVI, NDRE e GNDVI) avaliados em populações F<sub>3</sub> de soja cultivada sob baixa saturação por bases.....27

Figura 9. Análise de variáveis canônicas para os caracteres índices de vegetação (NDVI, SAVI, NDRE e GNDVI) avaliados em populações F <sub>3</sub> de soja cultivada sob saturação por bases recomendada.....	28
Figura 10. Análise de variáveis canônicas para os caracteres dos macronutrientes cálcio (Ca), potássio (K) e magnésio (Mg) avaliados em populações F <sub>3</sub> de soja cultivada sob baixa saturação por bases.....	29
Figura 11. Análise de variáveis canônicas para os caracteres dos macronutrientes cálcio (Ca), potássio (K) e magnésio (Mg) avaliados em populações F <sub>3</sub> de soja cultivada sob saturação por bases recomendada.....	30
Figura 12. Análise de variáveis canônicas para os caracteres agrônômicos altura de inserção da vagem (AIV), altura de planta (AP), número de ramificações (NR) e produtividade (PROD) avaliados em populações F <sub>3</sub> de soja cultivada sob baixa saturação por bases.....	31
Figura 13. Análise de variáveis canônicas para os caracteres agrônômicos altura de inserção da vagem (AIV), altura de planta (AP), número de ramificações (NR) e produtividade (PROD) avaliados em populações F <sub>3</sub> de soja cultivada sob saturação por bases recomendada.....	32
Figura 14. Rede de correlações para os caracteres fisiológicos fotossíntese líquida (A), condutância estomática (gs), concentração interna de CO <sub>2</sub> (Ci) e transpiração (E); índices de vegetação (NDVI, SAVI, NDRE e GNDVI); macronutrientes cálcio (Ca), potássio (K) e magnésio (Mg); agrônômicos altura de inserção da vagem (AIV), altura de planta (AP), número de ramificações (NR) e produtividade (PROD) avaliados em populações F <sub>3</sub> de soja cultivada sob baixa saturação por bases.....	34
Figura 15. Rede de correlações para os caracteres fisiológicos fotossíntese líquida (A), condutância estomática (gs), concentração interna de CO <sub>2</sub> (Ci) e transpiração (E); índices de vegetação (NDVI, SAVI, NDRE e GNDVI); macronutrientes cálcio (Ca), potássio (K) e magnésio (Mg); agrônômicos altura de inserção da vagem (AIV), altura de planta (AP), número de ramificações (NR) e produtividade (PROD); avaliados em populações F <sub>3</sub> de soja cultivada sob saturação por bases recomendada.....	35

## SELEÇÃO DE LINHAGENS F<sub>3:4</sub> PARA CONDIÇÕES CONTRASTANTES DE SATURAÇÃO POR BASES

**RESUMO:** A produção de soja cresceu significativamente nas três últimas décadas, o que a caracterizou como principal cultura cultivada no Brasil. Dentre os fatores responsáveis por essa expansão, destaca-se o melhoramento genético. O principal objetivo do melhoramento foi incrementar a produtividade de grãos. Diante disto, essa pesquisa teve como objetivo geral selecionar linhagens F<sub>3:4</sub> para condições contrastantes de saturação por bases. O experimento foi realizado em delineamento de blocos ao acaso com três repetições e 10 populações F<sub>3</sub> (P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8, P9 e P10). A unidade experimental constou de três linhas de três metros para cada tratamento, espaçadas em 0,45 m. As populações segregantes foram obtidas pelo método da população (bulk) nas gerações anteriores. O experimento foi dividido em genealogia de cada população. No primeiro experimento as populações F<sub>3</sub> foram avaliadas sem correção da saturação de bases (V = 30%), enquanto no segundo experimento foi aplicado calcário três meses antes do início para elevar a saturação de bases a 60%. Foram avaliados caracteres fisiológicos (A, Ci, E e gs), caracteres agronômicos (AIV, AP, NR e PROD) e índices de vegetação (NDVI, SAVI, NDRE e GNDVI) tanto em saturação por bases recomendada quanto em baixa saturação por bases. A população 10x3 tanto em condições de baixa saturação por bases quanto saturação por bases recomendada possui plasticidade fenotípica, sendo promissora para uso em programas de melhoramento visando a obtenção de plantas para F<sub>4</sub> selecionando dentro dessa população para linhagens mais produtivas para essas características.

**Palavras-chave:** *Glycine max*, população F<sub>3</sub>, caracteres fisiológicos, índices de vegetação, melhoramento da soja.

## **F<sub>3:4</sub> LINE SELECTION FOR CONTRACTING BASED SATURATION CONDITIONS**

**ABSTRACT:** Soy production has grown significantly in the last three decades, which has characterized it as the main crop cultivated in Brazil. Among the factors responsible for this expansion, genetic improvement stands out. The main objective of the improvement was to increase grain productivity. Given this, this research had the general objective of selecting strains F<sub>3:4</sub> for contrasting conditions of base saturation, the experiment had a randomized block design with three replications and 10 F<sub>3</sub> populations (P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8, P9 and P10). The experimental unit consisted of three lines of three meters for each treatment, spaced 0.45 m apart. Segregating populations were obtained using the population method (bulk) in previous generations. The experiment was divided into genealogy of each population. In the first experiment, the F<sub>3</sub> populations were evaluated without correcting the base saturation (V = 30%), while in the second experiment limestone was applied three months before the start to raise the base saturation to 60%. Physiological traits (A, Ci, E and gs), agronomic traits (AIV, AP, NR and PROD), vegetation indices (NDVI, SAVI, NDRE and GNDVI) were evaluated, both in recommended and low base saturation. base saturation. The 10x3 population, both in conditions of low base saturation and recommended base saturation, has phenotypic plasticity, being promising for use in breeding programs aiming to obtain plants for F<sub>4</sub>, selecting within this population for more productive strains for these characteristics.

**Keywords:** *Glycine max*, F<sub>3</sub> population, physiological traits, vegetation indices, soybean breeding

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>14</b>
<b>MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>16</b>
<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>20</b>
<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>36</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>37</b>

## INTRODUÇÃO

A soja [*Glycine max* (L.) Merrill] é das leguminosas mais importantes do mundo, principalmente para o Brasil, que é o segundo maior produtor mundial, em virtude da cadeia produtiva e tecnológica desenvolvida em torno da espécie (SEDIYAMA, 2013). Na safra 2019/2020, a cultura da soja ocupou uma área de 36,8 milhões de hectares com aumento de 3% em relação à safra anterior, o que totalizou a uma produção recorde, estimada em 124,8 milhões de toneladas, ganho de 4,3% em relação à safra 2018/19 (CONAB, 2020).

A continentalidade brasileira faz com que diferentes tipos de climas ocorram no Cerrado, principal região produtora de grãos do país. Essa diversidade climática, os tipos de solos, as características de relevo, a variação de altitude, os regimes pluviométricos e diversos outros fatores, interagem entre si e podem afetar as condições edafoclimáticas de um determinado local (HYRACURI, 2016). Com essa gama de fatores, existe a necessidade de se obter cultivares com características específicas para cada região, bem como a sua adaptação ao meio, visando elevar os rendimentos da cultura (SEDIYAMA, 2015). Neste contexto, pesquisas de melhoramento genético de plantas adquire papel importante, uma vez que programas de melhoramento de soja têm como objetivo o desenvolvimento de cultivares mais produtivas (PELUZIO et al., 2012), assim aumentando a oferta de alimentos e preservando os ambientes naturais.

A maioria dos solos do Cerrado é identificada como de baixa fertilidade natural, apresentando naturalmente indisponibilidade de nutrientes para as plantas se desenvolverem e atingirem altas produtividades. Esta baixa fertilidade dos solos pode ser corrigida, para que assim seja realizado o cultivo da soja no Cerrado brasileiro (KLINK; MACHADO, 2005). Os solos ácidos e pobres em nutrientes da região do Cerrado eram considerados inapropriados à agricultura, solos que têm baixo teor de cátions básicos tornando-se ácidos, sendo que as cargas positivas são substituídas por  $Al^{3+}$  e  $H^+$ , para manutenção da eletroneutralidade. Contudo, de correção da acidez dos solos, foram desenvolvidas, assim como fórmulas de fertilização, processo reconhecido internacionalmente como “a construção do solo agrícola do Cerrado”. (SOUSA et al., 2005).

Para que a soja obtenha um bom desenvolvimento na região do Cerrado brasileiro é necessário que a recomendação de aplicação de calcário eleve a saturação de bases em 60%, para que não tenha comprometimento da produtividade da soja

(SOUZA; LOBATO, 2004). A necessidade de elevar a saturação de bases com práticas de calagem eleva o pH e a saturação por base do solo e fornecendo os nutrientes Ca e Mg, promovendo a elevação do pH tendo influência direta na redução da toxidez de Al alterando a disponibilidade de nutrientes no solo para as plantas, disponibilizando a maioria dos nutrientes requeridos pela cultura da soja, conseqüentemente a fisiologia da planta responde de forma positiva, evitando o aparecimento de pragas, doenças e distúrbios nutricionais (CAMELLO; OLIVEIRA 2006).

A falta de nutrientes causada por manejos inadequados de calagem e adubação podem causar um efeito na inibição da fotossíntese, devido a indisponibilidade de alguns nutrientes que fazem parte desse processo em consequência redução na assimilação do CO<sub>2</sub>, o que diminui o crescimento e a produtividade da planta (PEAK, et al. 2004). Alguns elementos como cálcio (Ca), magnésio (Mg), potássio (K), fósforo (P) entre outros, são responsáveis por fazerem parte de estruturas compostas nos aminoácidos, enzimas, bem como a translocação e redistribuição de fotoassimilados no floema. Desse modo mantém a taxa fotossintética da planta evitando o desvio de elétrons para a geração de formas reativas de oxigênio, sendo fundamental que a planta não sofra nenhum estresse, para que suas funções fisiológicas não sejam afetadas, conseqüentemente não prejudique seu ciclo e sua produtividade (CAKMAK, 2005).

A obtenção de cultivares produtivas é o principal objetivo do melhoramento da soja (SILVA et al., 2017). No entanto, o aumento da eficiência fotossintética tem se tornado o objetivo de diversos programas de melhoramento da cultura (MANAVALAN et al., 2009; AINSWORTH et al., 2012; MUTAVA et al., 2015). A taxa fotossintética e a produtividade em soja indicam que a melhoria da eficiência fotossintética pode ser favorável para novos ganhos de produtividade (AINS WORTH et al., 2012).

Os índices de vegetação podem ser utilizados para a predição de caracteres, como a produtividade de grãos e de características associada à eficiência fotossintética, retendo alta herdabilidade e facilidade de mensuração de forma remota em um grande número de candidatos a seleção (RUTKOSKI et al., 2016).

Dessa forma, os índices de vegetação são relações entre a radiação refletida de duas ou mais bandas, representados como algoritmos simples e eficazes para avaliações quantitativas e qualitativas da cobertura vegetal, vigor e dinâmica de crescimento, entre outras aplicações (XUE; SU, 2017). Contudo, o uso de índices de vegetação como caracteres que colaboram na seleção nos programas de melhoramento é recente, e trabalhos utilizando esta abordagem ainda são escassos na literatura.

O objetivo desse trabalho foi avaliar populações que reúnam desempenho agrônomico e fisiológico satisfatórios em condições de baixa saturação por bases e saturação por bases recomendada e selecionar as mais promissoras para cada ambiente.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

Foram realizados dois experimentos no campo experimental da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campus de Chapadão do Sul (18°46'26"S, 52°37'28"W e altitude média de 810 m), no período de outubro de 2018 a fevereiro de 2019. A análise química do solo demonstrou os seguintes resultados: pH (CaCl<sub>2</sub>), 4,8; matéria orgânica, 17,6 g dm<sup>-3</sup>; fósforo, 5,0 mg dm<sup>-3</sup>; relação hidrogênio + alumínio (H<sup>+</sup> Al), 5,3; potássio, 69,0 mg dm<sup>-3</sup>; cálcio, 1,6 cmolc dm<sup>-3</sup>; magnésio, 0,5 cmolc dm<sup>-3</sup>; capacidade de troca catiônica (CTC), 7,6 cmolc dm<sup>-3</sup>; saturação por bases (V), 30,0%. As proporções de argila, areia e silte foram 46, 46 e 8%, respectivamente.

Para implantação dos experimentos, foi utilizado preparo convencional do solo com uma aração e duas gradagens (com grade destorroadora e niveladora). A abertura e a adubação das linhas foram realizadas de forma mecanizada com uma semeadora John Deere<sup>®</sup> de cinco linhas no espaçamento de 0,45 m entre linhas. A adubação de base utilizada foi 300 kg ha<sup>-1</sup> do formulado 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 a fim de se garantir proteção contra o ataque de pragas e fungos de solo. Para a fixação biológica de nitrogênio (FBN), 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.

Cada experimento foi conduzido em delineamento de blocos ao acaso com três repetições e 10 populações F<sub>3</sub> (P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8, P9 e P10). A unidade experimental constou de três linhas de três metros para cada tratamento, espaçadas em 0,45 m. As populações segregantes foram obtidas pelo método da população (bulk) nas gerações anteriores. A Tabela 1 contém a genealogia de cada população. No primeiro experimento as populações F<sub>3</sub> foram avaliadas sem correção da saturação de bases (V = 30%), enquanto no segundo experimento foi aplicado calcário três meses antes do início para elevar a saturação de bases a 60%, conforme recomendações de Souza 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. O controle de plantas daninhas, pragas e doenças foi realizado conforme recomendações técnicas para a cultura.

**Tabela 1.** Genealogia das 10 populações F<sub>3</sub> de soja e grupo de maturidade relativa (GMR) das cultivares IPRO utilizadas como genitores.

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

Aos 60 dias após a emergência (DAE) foram analisados os caracteres fisiológicos com analisador portátil de fotossíntese (IRGA), modelo LCpro-SD da marca ADC. Foi utilizado fluxo de fótons fotossinteticamente ativos de 1000  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  e concentrações de CO<sub>2</sub> ambiente ( $372 \pm 10 \text{ mol s}^{-1} \text{ m}^{-2}$ ). As avaliações foram realizadas às 8:30 horas da manhã, em cinco plantas de cada unidade experimental, sendo obtidos os seguintes caracteres fisiológicos: fotossíntese líquida (A,  $\text{mmol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), transpiração (E,  $\text{mmol H}_2\text{O s}^{-1} \text{ m}^{-2}$ ), condutância estomática (gs,  $\text{mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) e concentração interna de CO<sub>2</sub> (Ci,  $\text{mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ). Para a realização da análise nutricional utilizamos a terceira folha totalmente desenvolvida a partir do ápice da planta, considerada diagnóstico para análise nutricional da soja, onde ocorre a maioria dos processos metabólicos responsáveis pela aquisição de energia. Nesse mesmo período e nas mesmas folhas, o conteúdo foliar de cálcio (Ca), magnésio (Mg) e potássio (K) foi avaliado de acordo com a metodologia descrita por Silva et al. (2009).

Aos 60 dias após a emergência, foi utilizada a aeronave remotamente pilotada (RPA) de asa fixa Sensefly eBee RTK, com controle autônomo de decolagem, plano de voo e aterrissagem. O eBee está equipado com o sensor multiespectral Parrot Sequoia. O sensor multiespectral Sequoia faz aquisição da reflectância nos comprimentos de

onda do verde (550 nm), vermelho (660 nm), infravermelho próximo (735 nm) e infravermelho (790 nm), possuindo um sensor de luminosidade que permite a calibração dos valores adquiridos. As informações obtidas nesses comprimentos de ondas permitem o cálculo dos diversos mapas dos índices de vegetação a serem utilizados nos algoritmos computacionais.

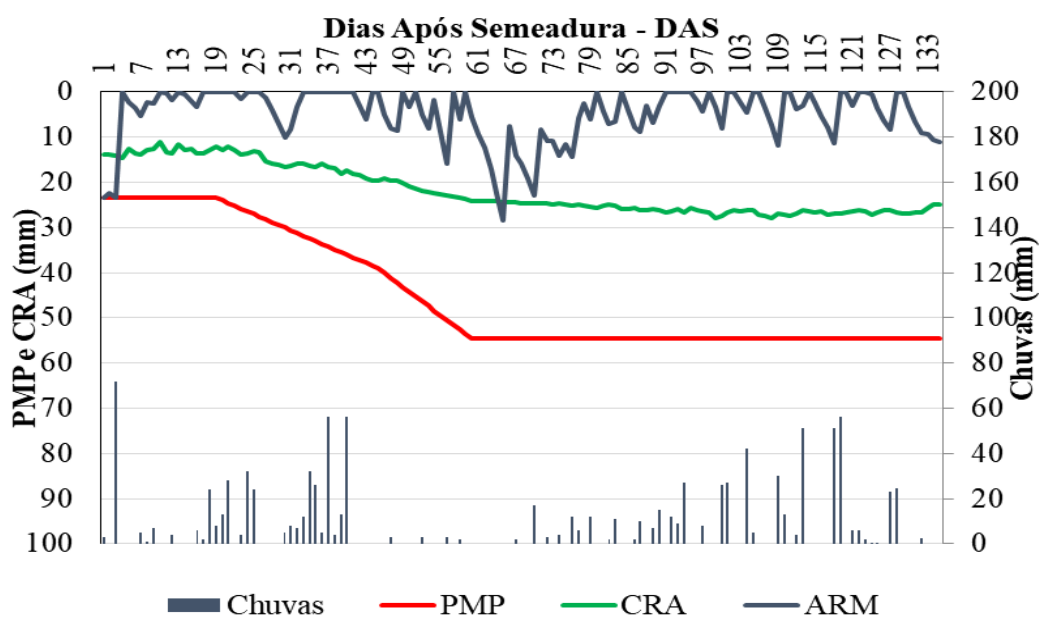
As imagens foram mosaicadas e ortoretificadas pelo programa computacional Pix4Dmapper. A acurácia posicional das ortoimagens foi verificada com pontos de controle em campo (GCP – *Ground Control Points*), levantados com o RTK. Os índices de vegetação calculados foram: NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), NDRE (*Normalized Difference Red Edge Index*), GNDVI (*Green Normalized Difference Vegetation Index*) e SAVI (*Soil Adjusted Vegetation Index*). Os índices de vegetação estudados em função da maior correlação com a massa vegetal, segundo Raper e Varco (2015), estão contidos na Tabela 2.

**Tabela 2.** Relação dos índices de vegetação calculados pelo uso do sensor multiespectral Sequoia.

Índice de Vegetação	Índice de Vegetação	Equação	Referências
NDVI	Índice de vegetação pela diferença normalizada	$(R_{NIR} - R_{RED}) / (R_{NIR} + R_{RED})$	Rouse et al. (1974)
NDRE	Índice de vegetação pela diferença normalizada à transição do vermelho ( <i>Red-edge</i> )	$(R_{NIR} - R_{EDGE}) / (R_{NIR} + R_{EDGE})$	Gitelson; Merzlyak (1994)
GNDVI	Índice de vegetação pela diferença normalizada ao verde	$(R_{NIR} - R_{GREEN}) / (R_{NIR} + R_{GREEN})$	Gitelson et al. (1996)
SAVI	Índice de vegetação ajustado pela presença de solo	$(1+L)(R_{NIR} - R_{RED}) / (R_{NIR} + R_{RED} + L)$	Huete (1988)

R<sub>NIR</sub>: reflectância na faixa do infravermelho próximo; R<sub>GREEN</sub>: reflectância na faixa do verde; R<sub>RED</sub>: reflectância na faixa do vermelho; R<sub>EDGE</sub>: reflectância na faixa de transição do vermelho (Red-edge); L: fator de correção do efeito do solo.

Os caracteres agrônômicos avaliados foram: número de dias para maturação fisiológica (NDM,) número de vagens por planta (NVP), número de nós por planta (NNP), número de hastes laterais por planta (NHL) e produtividade de grãos (PROD). O NDM correspondeu ao número de dias entre a germinação e a maturação em mais de 50% de plantas da parcela. Para avaliação dos demais caracteres foram selecionadas cinco plantas aleatoriamente em cada unidade experimental devido à baixa disponibilidade de sementes. Após a contagem dos caracteres NVP, NNP e NHL, a PROD foi obtida pela coleta e trilha individual destas plantas, sendo a massa expressa em g planta<sup>-1</sup> após correção da umidade dos grãos para 13%. A Figura 1 contém o balanço hídrico no decorrer dos experimentos.



**Figura 1.** Balanço hídrico no decorrer do experimento. PMP (ponto de murcha permanente), CRA (capacidade real de água no solo), ARM (armazenamento de água no solo).

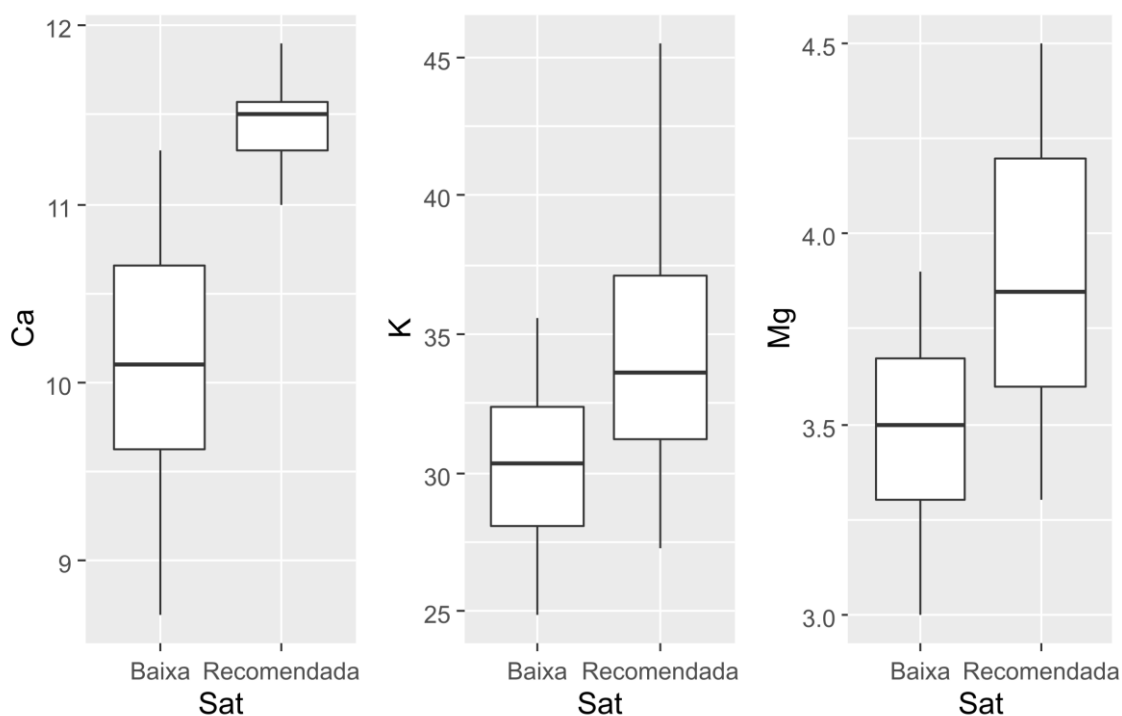
Foram construídos boxplot para cada caráter avaliado em função da condição de solo. Após, para cada ambiente, foi realizada análise de variáveis canônicas e estimadas as correlações de Pearson entre os caracteres.

Foi utilizada a rede de correlação para expressar graficamente os resultados. Neste procedimento, as linhas verdes vinculam variáveis à correlação positiva e as

linhas vermelhas unem variáveis negativamente correlacionadas. A espessura da linha é proporcional à magnitude da correlação. Essa análise foi realizada com o software Rbio (BHERING, 2017).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

É possível constatar na Figura 2 que na condição de ambiente com saturação de bases recomendadas, os teores dos macronutrientes cálcio (Ca), potássio (K) e magnésio (Mg) foram superiores quando comparados com o ambiente de baixa saturação por bases. Isso ocorreu porque a calagem eleva o pH, Ca, Mg e CTC, e conseqüentemente a disponibilidade dos nutrientes no solo para as plantas (SOUZA; LOBATO, 2004).



**Figura 2.** Boxplot dos macronutrientes cálcio (Ca), potássio (K) e magnésio (Mg) avaliados em populações F<sub>3</sub> de soja cultivada sob saturação por bases baixa e recomendada.

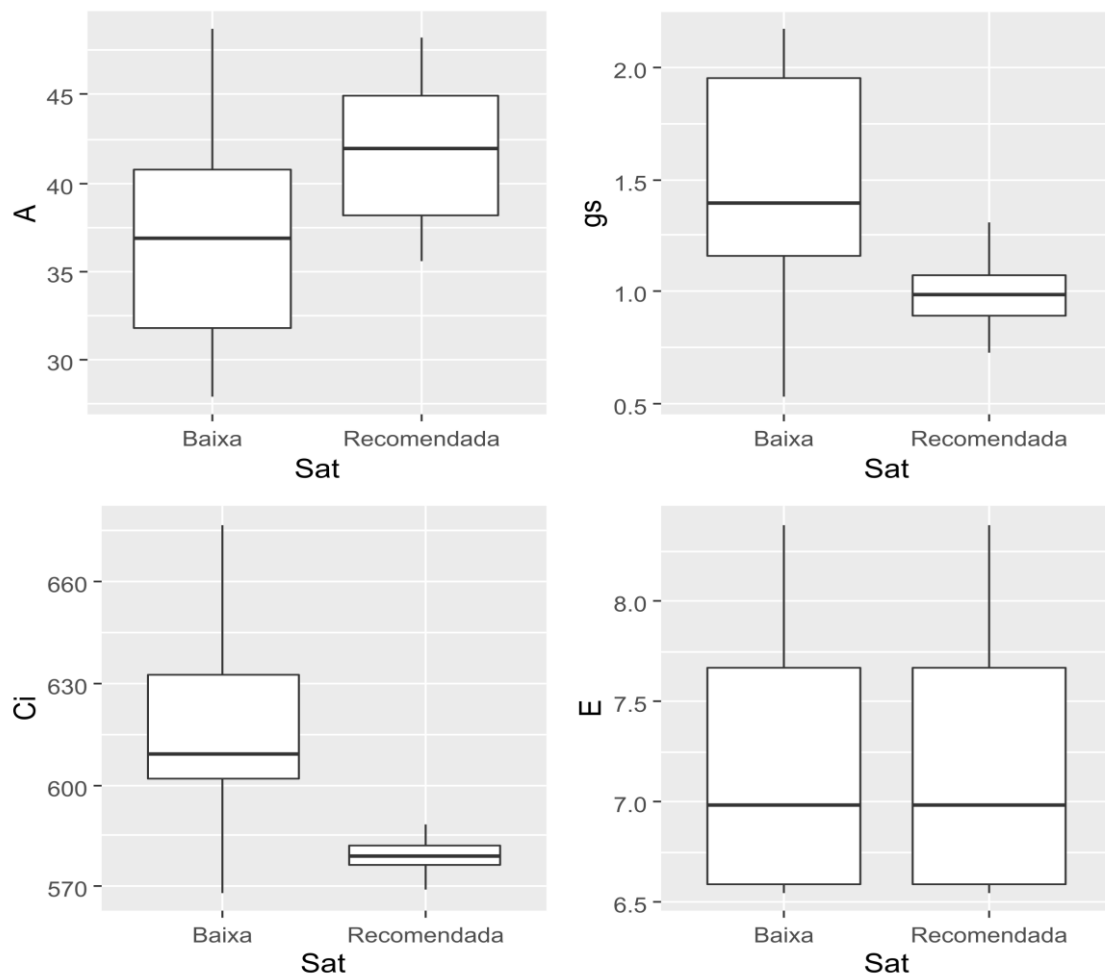
A Figura 3 contém a análise exploratória das variáveis avaliadas em função da saturação por bases baixa e recomendada. A fotossíntese líquida (A) apresentou alta variabilidade para as duas condições, e a variabilidade foi maior em baixa saturação. O Ca<sup>2+</sup> presente na composição do calcário é um elemento essencial, que participa da

função estrutural para as células vegetais, sendo também segundo mensageiro para os sinais extracelulares e reação fisiológica intracelular. Este elemento promove a estabilidade da parede celular, membrana celular e proteína da membrana, desempenhando um papel crucial crescimento e resposta ao meio, intensa participação e regulação da reação fisiológica e bioquímica na planta (SUN 1998; ANIREDDY et al. 2010; LI et al. 2012).

Já com relação a condutância estomática ( $g_s$ ) e a concentração interna de  $CO_2$  ( $C_i$ ), as populações avaliadas obtiveram alta variabilidade na condição de baixa saturação por bases, quando comparada com ambiente de saturação por bases recomendada.

A  $g_s$  é uma medida da relação entre a passagem de  $CO_2$  que entra e o vapor de água que sai pelos estômatos de uma folha (ROCHE, 2015). Em situações não limitantes para a disponibilidade de água e temperaturas ambiente abaixo dos níveis de estresse térmico, a máxima condutância estomática de uma população maximizará as taxas fotossintéticas.

Nesse sentido é possível verificar que as populações submetidas a condição de baixa saturação por bases não sofreram com estresse hídrico e tiveram suas atividades fotossintéticas em pleno funcionamento.



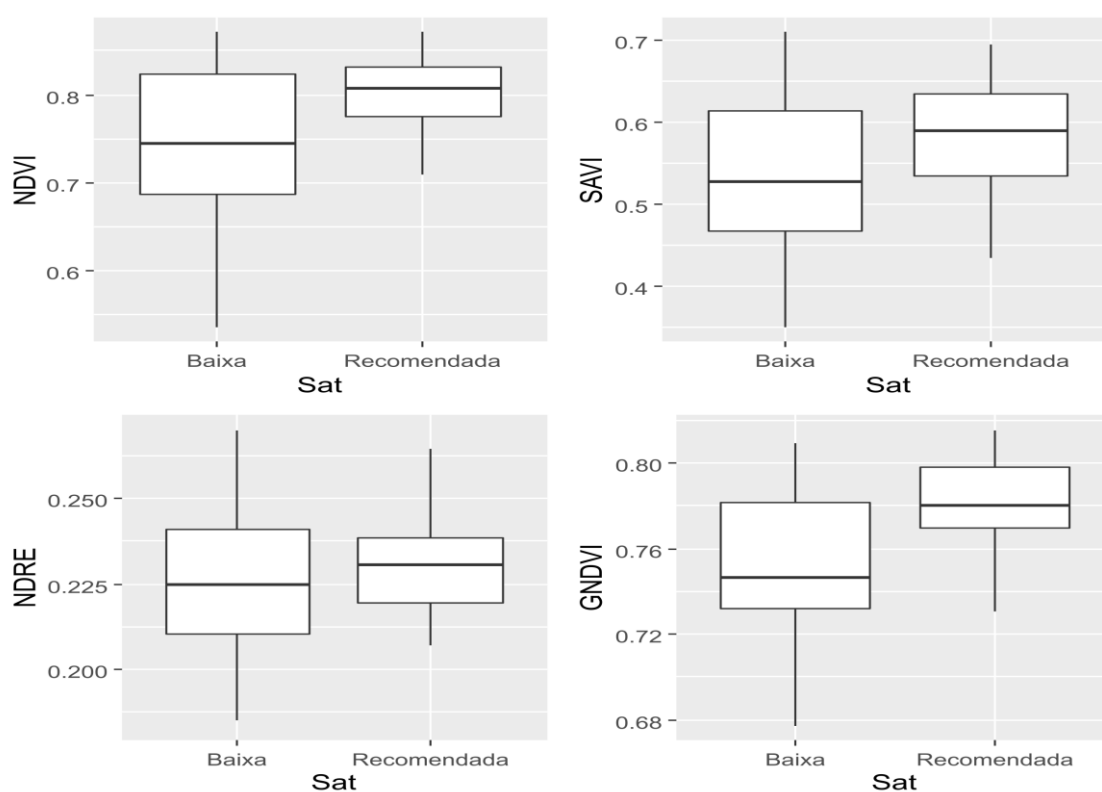
**Figura 3.** Boxplot para os caracteres fisiológicos fotossíntese líquida (A), condutância estomática (gs), concentração interna de CO<sub>2</sub> (Ci) e transpiração (E) avaliados em populações F<sub>3</sub> de soja cultivada sob saturação por bases baixa e recomendada.

A gs está relacionada ao turgor foliar e este, por sua vez, depende do equilíbrio entre a perda de água através da transpiração e fornecimento de água para a folha a partir do solo (TUZET et al., 2003). Pode-se inferir que a esta variável está negativamente correlacionada com a transpiração. Neste sentido, populações com maior assimilação de CO<sub>2</sub> e menores taxas de transpiração são desejáveis, uma vez que exibirão maior eficiência no uso da água.

Com relação a transpiração (E), as populações avaliadas mantiveram com resultados semelhantes em ambos os ambientes avaliados. Desse modo, a transpiração da maioria das espécies vegetais, incluindo a soja é determinada pela exigência climática relacionada à radiação solar, mecanismos fisiológicos associados com

respostas estomáticas a fatores ambientais, índice de área foliar e disponibilidade de água no solo (TAIZ & ZEIGER, 2013).

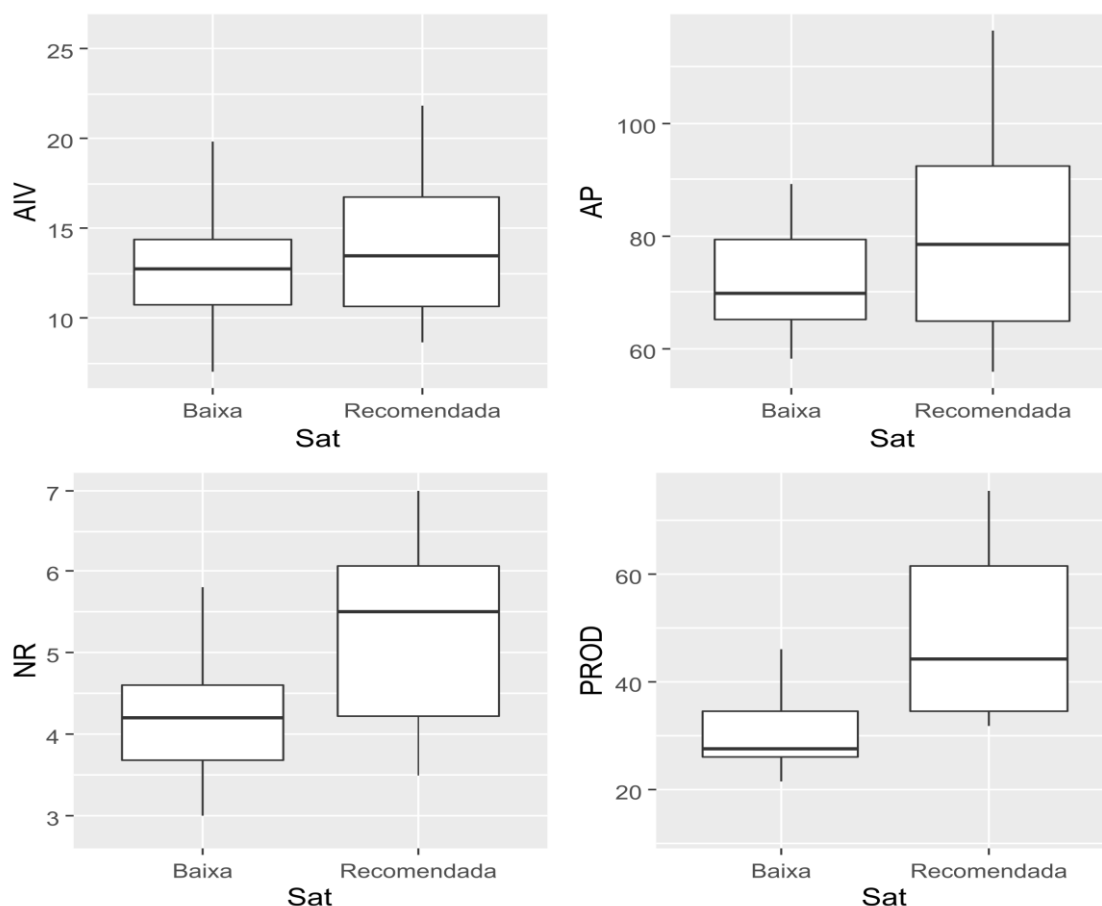
A Figura 4 contém a análise exploratória dos índices de vegetação avaliados nas populações em função da saturação por bases baixa e recomendada. De modo geral, os valores dos índices de vegetação avaliados foram superiores em função da saturação de bases recomendada. Além disso, a variabilidade dos índices de vegetação foi menor em condições de saturação recomendada. Esse resultado pode ser associado aos de fotossíntese (Figura 3), que obteve médias maiores na condição de saturação por bases recomendada.



**Figura 4.** Boxplot dos índices de vegetação (NDVI, SAVI, NDRE e GNDVI) avaliados em populações F<sub>3</sub> de soja cultivada sob saturação por bases baixa e recomendada.

Os caracteres agronômicos contidos na análise exploratória em função da saturação por bases baixa e recomendada estão apresentados na Figura 5. As populações, no ambiente de saturação por bases recomendada, apresentaram valores maiores do que em ambiente com baixa saturação por bases. De modo geral, solos corrigidos tendem a ter uma produção superior quando comparado com solos de baixa

saturação por bases. Isso se correlaciona de forma positiva com os índices de vegetação observados na Figura 4, que também se destacaram em condição com saturação por bases recomendada.



**Figura 5.** Boxplot para os caracteres agrônômicos altura de inserção da vagem (AIV), altura de planta (AP), número de ramificações (NR) e produtividade (PROD) avaliados em populações F<sub>3</sub> de soja cultivada sob saturação por bases baixa e recomendada.

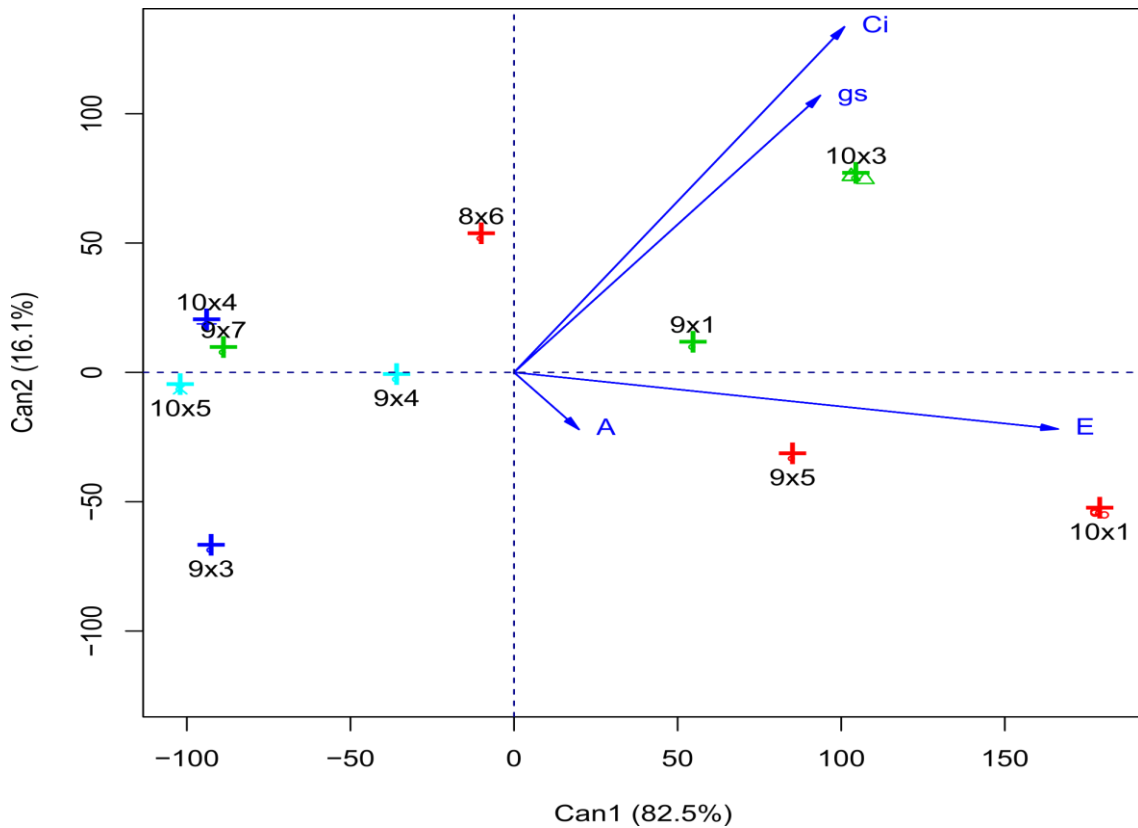
Com base nos resultados obtidos para análise de variáveis canônicas para os caracteres fisiológicos (Figura 6), é possível constatar a superioridade da população 10x3 para concentração interna de CO<sub>2</sub> (C<sub>i</sub>) e condutância estomática (g<sub>s</sub>).

Neste sentido, a população 10x3 mostra-se promissora para uso em programas de melhoramento visando a obtenção de linhagens com maior eficiência fotossintética e do uso da água em solos com baixa saturação por bases. Já para a fotossíntese líquida (A) a população 9x5 se destacou. A transpiração (E) de plantas é a perda de vapor d'água pelas plantas, desse modo plantas que possuem elevadas taxas de absorção de



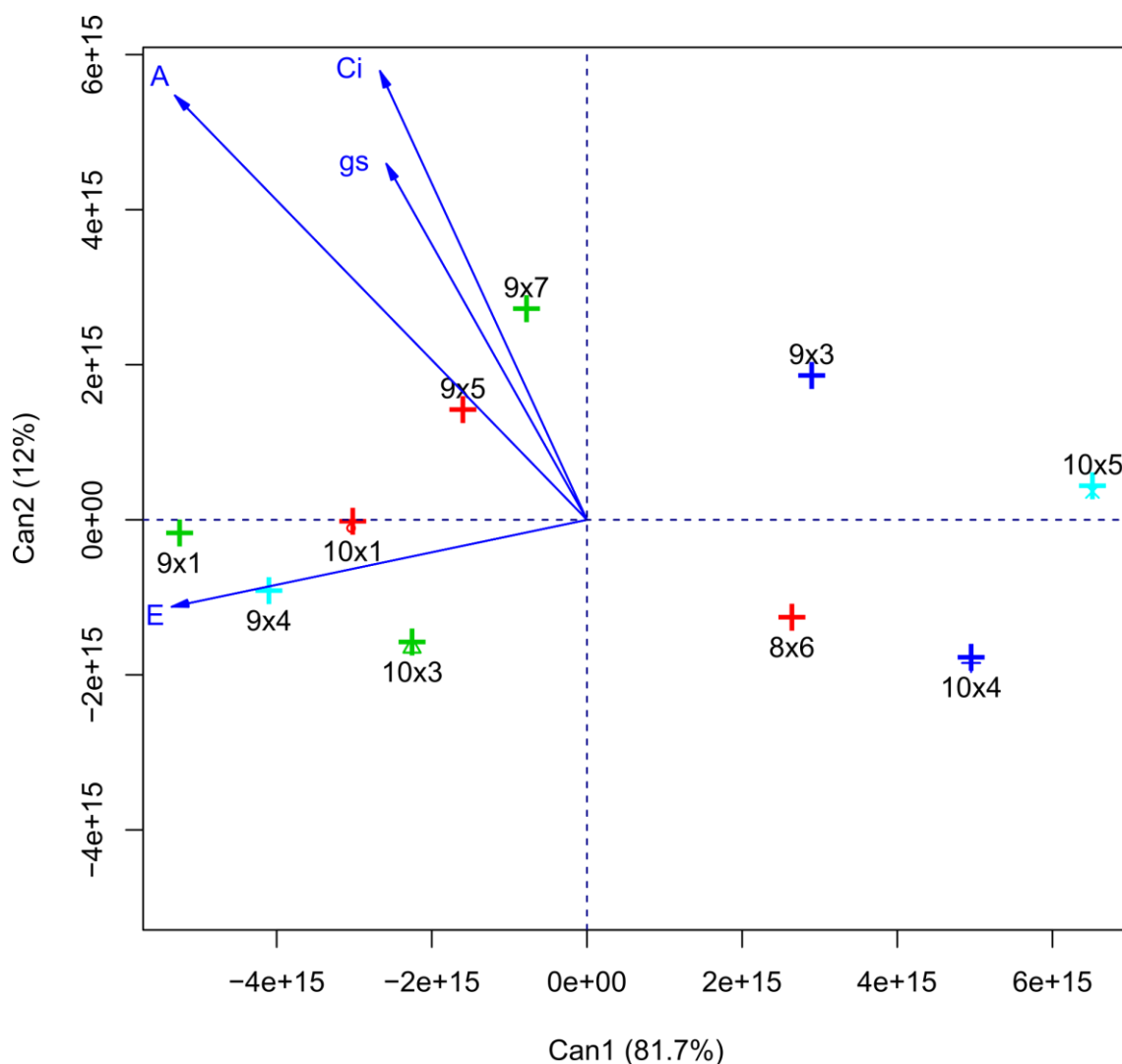
CO<sub>2</sub> e, por consequência, perda por transpiração associado a um grande consumo de água têm sua produtividade afetada (KLAR, 1984).

A população 10x1 para o caráter transpiração (E) obteve melhor média para condição de baixa saturação por bases. Portanto, essa população exige uma condição melhor de solo e nutrição para obter melhor produtividade.



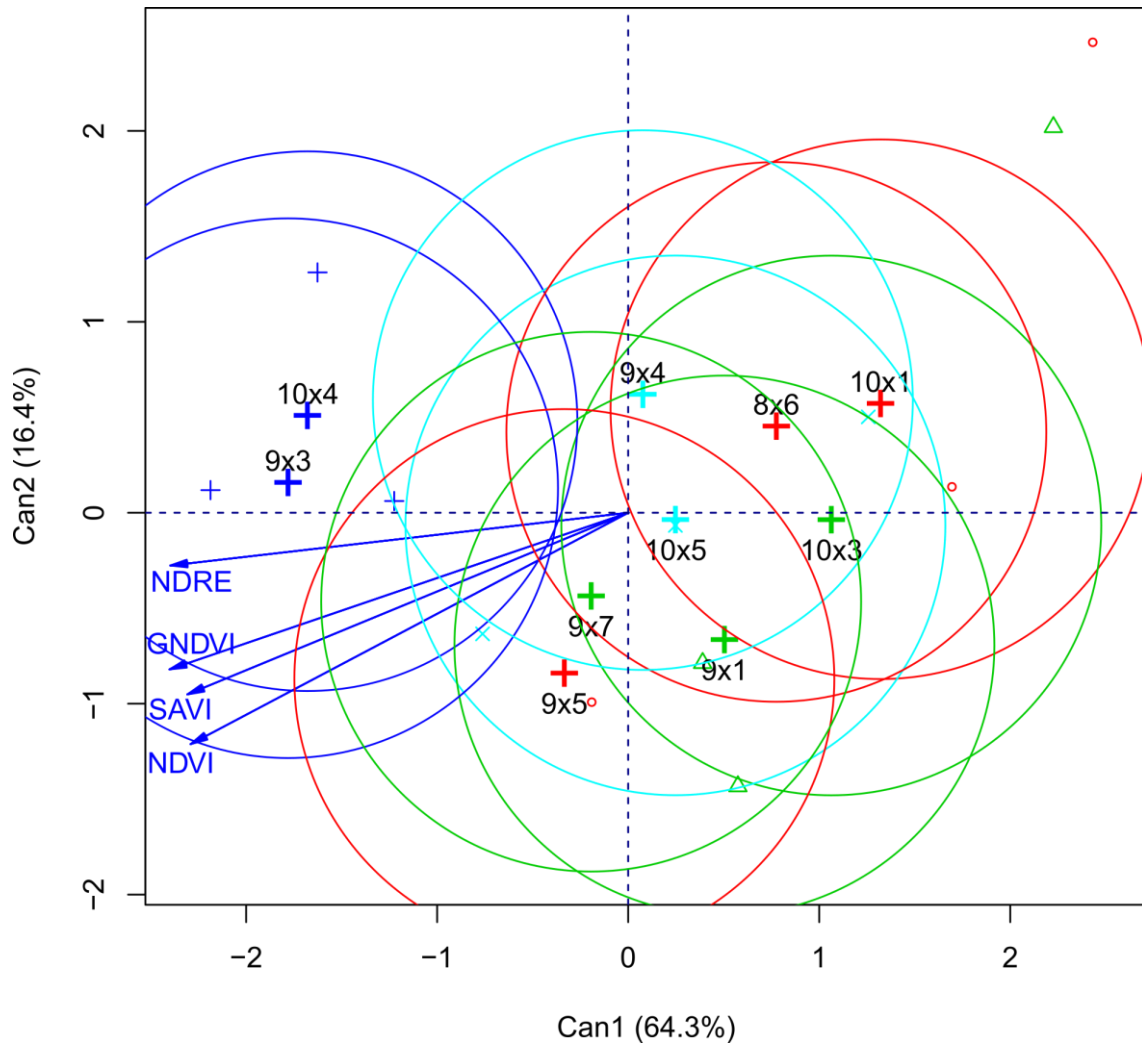
**Figura 6.** Análise de variáveis canônicas para os caracteres fisiológicos fotossíntese líquida (A), condutância estomática (gs), concentração interna de CO<sub>2</sub> (Ci) e transpiração (E) avaliados em populações F<sub>3</sub> de soja cultivada sob saturação por bases baixa.

Na Figura 7, foi observado para os caracteres avaliados fotossíntese líquida (A), concentração interna de CO<sub>2</sub> (Ci) e condutância estomática (gs) que as populações 9x5 e 9x7 se destacaram para condição de saturação por bases recomendada, apresentando-se como populações promissoras para uso em programas de melhoramento visando a obtenção de linhagens com maior eficiência fotossintética e do uso da água. Com relação a transpiração (E), as populações 9x1 e 10x1 e 9x4 obtiveram as maiores médias.

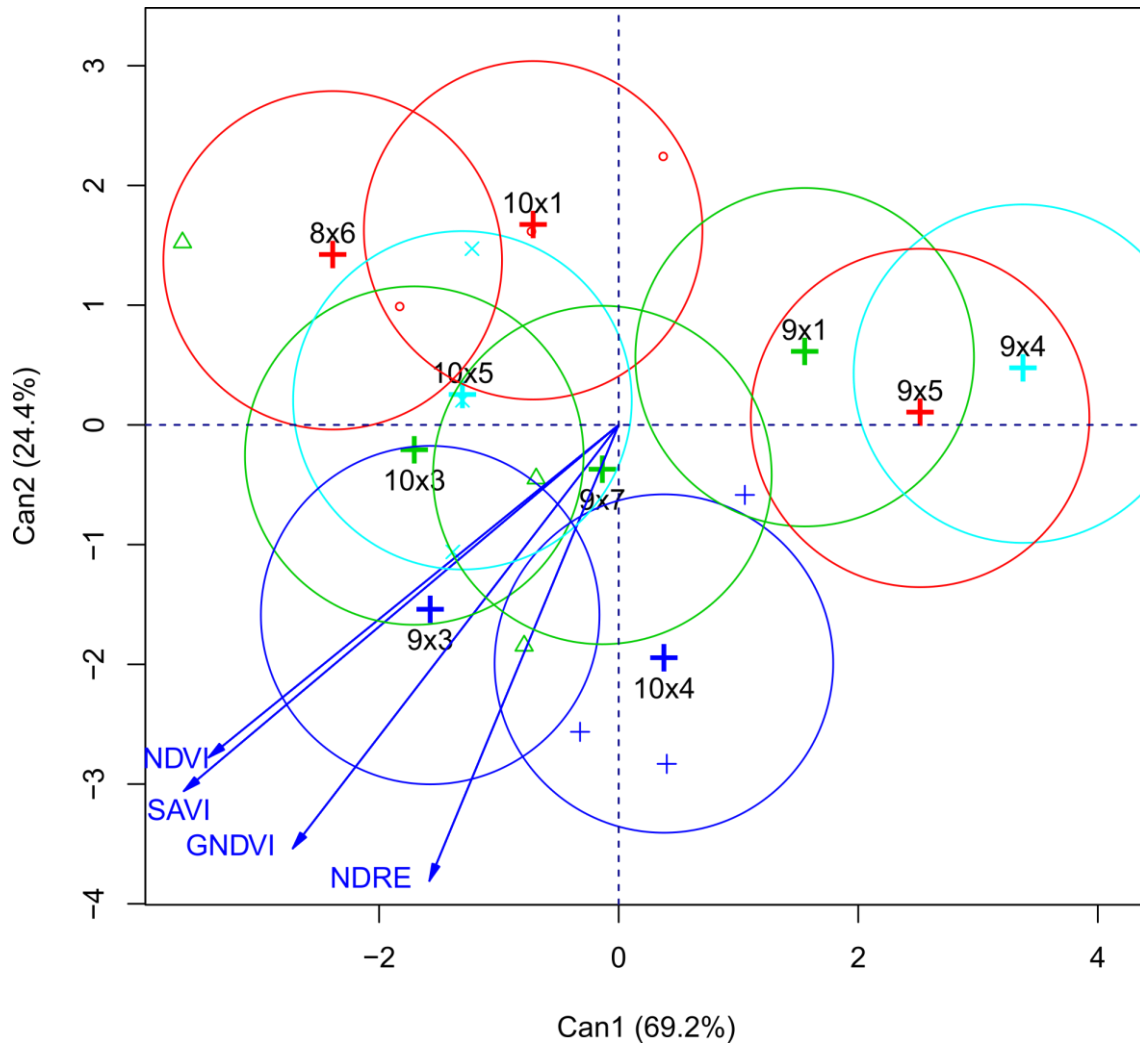


**Figura 7.** Análise de variáveis canônicas para os caracteres fisiológicos fotossíntese líquida (A), condutância estomática (gs), concentração interna de CO<sub>2</sub> (Ci) e transpiração (E) avaliados em populações F<sub>3</sub> de soja cultivada sob saturação por bases recomendada.

Para os índices de vegetação analisados sob baixa saturação por bases (Figura 8), as populações 10x4 e 9x3 obtiveram maiores médias, se destacando das demais populações em condições de baixa saturação por bases. Ao analisar os índices de vegetação em saturação por bases recomendada (Figura 9), é possível verificar que as populações 9x3 e 10x3 obtiveram destaque.



**Figura 8.** Análise de variáveis canônicas para os caracteres índices de vegetação (NDVI, SAVI, NDRE e GNDVI) avaliados em populações F<sub>3</sub> de soja cultivada sob baixa saturação por bases.



**Figura 9.** Análise de variáveis canônicas para os caracteres índices de vegetação (NDVI, SAVI, NDRE e GNDVI) avaliados em populações F<sub>3</sub> de soja cultivada sob saturação por bases recomendada.

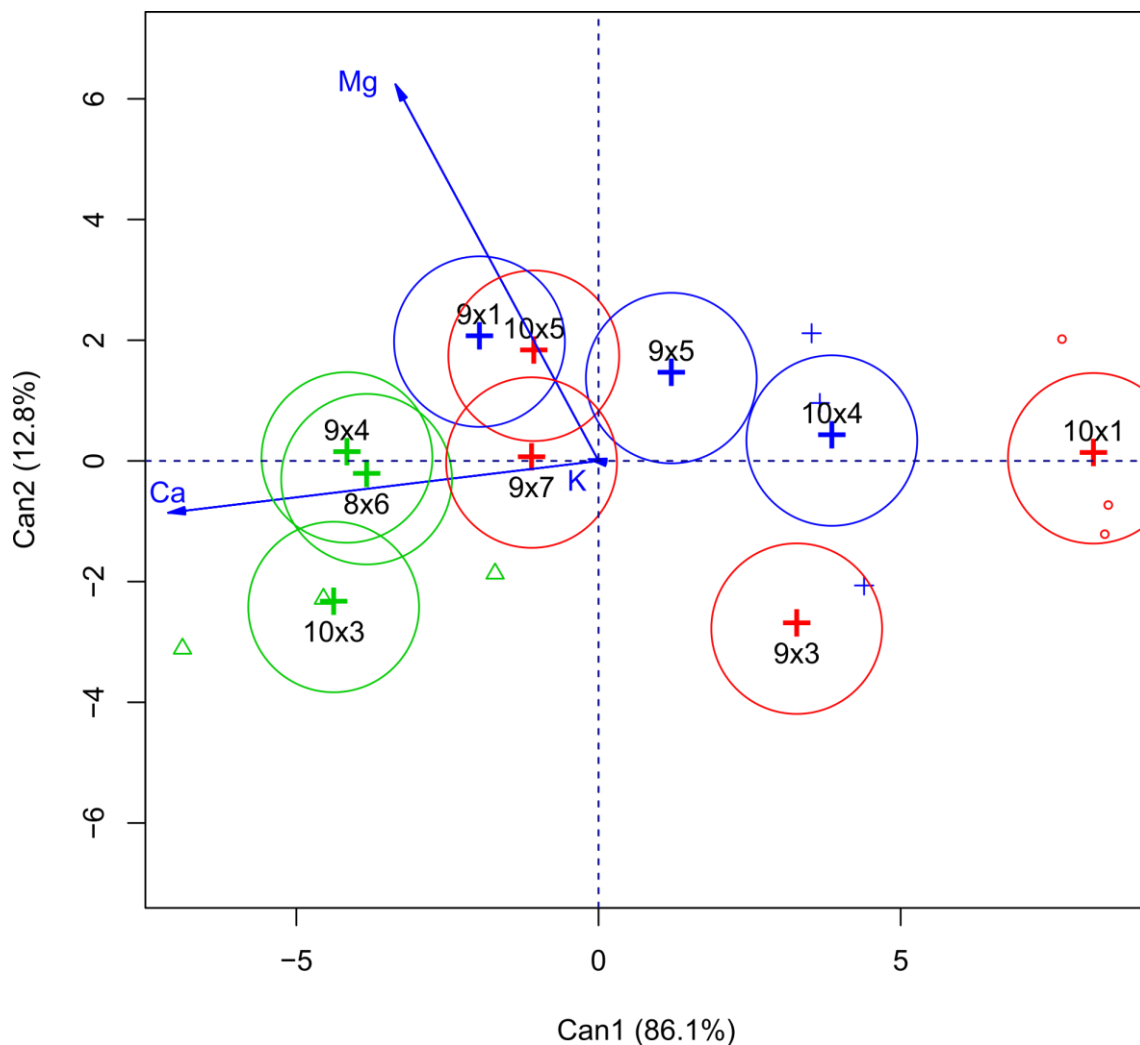
Na figura 9 e 10 é possível destacar que em ambos os ambientes avaliados a população 9x3 se destacou das demais. Desse modo os efeitos dos índices de vegetação, se relacionam com a reflectância nas faixas de comprimento de onda do visível e infravermelho próximo na forma de razões para minimizar a variabilidade por elementos externos (PONZONI, 2001).

Isso também é evidenciado na densidade de cobertura vegetal, que quanto maior for em uma área, maior será a presença de água nas estruturas celulares de uma planta, conseqüentemente será sua reflectância no comprimento de onda do infravermelho próximo (SILVA JÚNIOR et al., 2018).

As populações 9x4, 8x6 e 10x3 em condições de baixa saturação por bases foram as quem mais se destacaram na absorção de Ca (Figura 10). Para absorção de K a

população 9x7 se destacou com maior média em relação as demais populações. Já para absorção de Mg a população 9x1 obteve maior média. Os solos agricultáveis no Brasil têm o pH entre 3,8 e 5,5, sendo considerado solos com acidez e predominância de alumínio que é o cátion predominante em solos com pH abaixo de 5,6 (SOUZA; LOBATO, 2004).

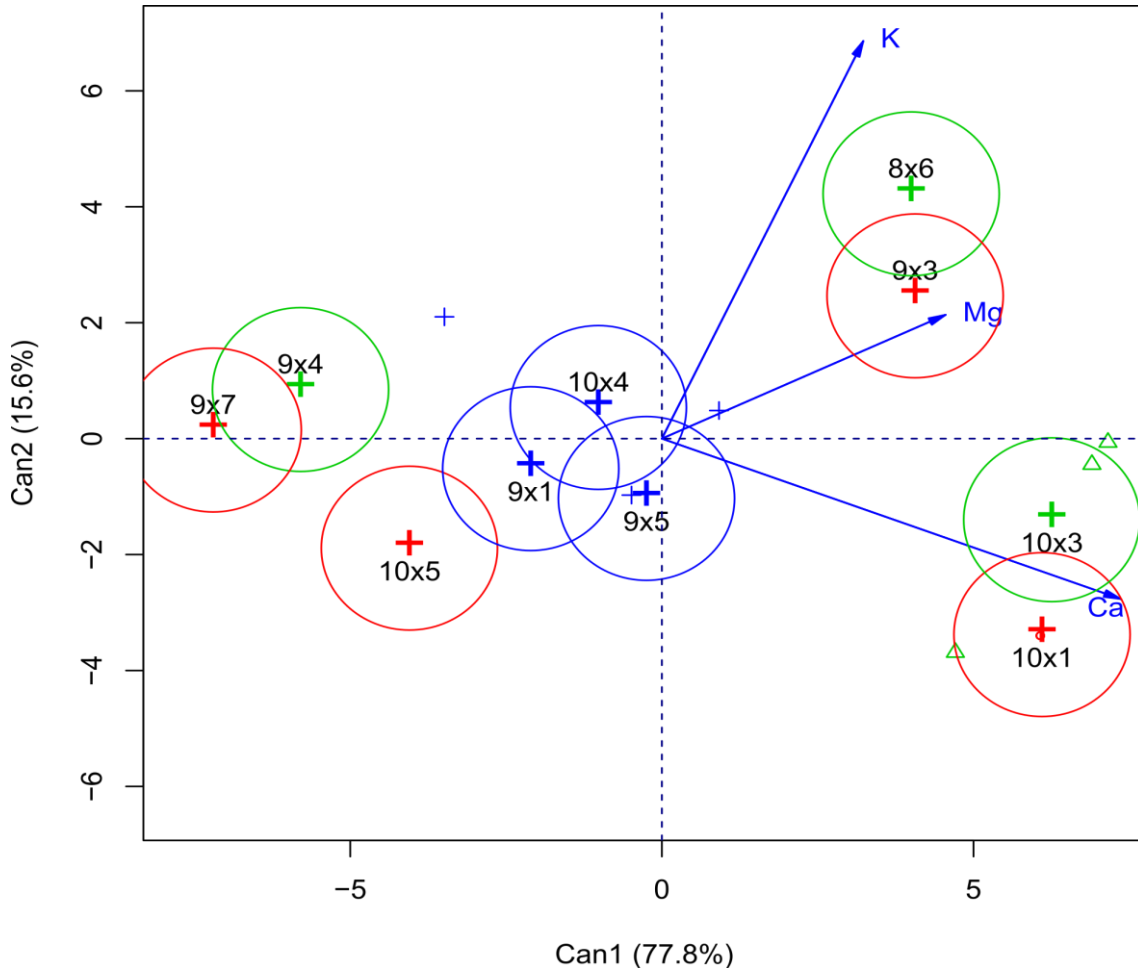
Diante disso essas populações da qual obtiveram destaque para Ca, K e Mg nas condições de baixa saturação por bases se mostram promissoras para obtenção de linhagens tolerantes a esse abiótico.



**Figura 10.** Análise de variáveis canônicas para os caracteres dos macronutrientes cálcio (Ca), potássio (K) e magnésio (Mg) avaliados em populações F<sub>3</sub> de soja cultivada sob baixa saturação por bases.

Na Figura 11, as populações 10x3 e 10x1 se destacaram na absorção de Ca, em condição de saturação de bases recomendada. Para absorção de Mg, destacou-se a

população 9x3. Desse modo, há um indicativo de que essas populações serão promissoras em condições adequadas de manejo de solo. Para K, a população 8x6 obteve maior média se destacando das demais populações, evidenciando que essa população se adequa melhor na absorção de K em solos corrigidos.



**Figura 11.** Análise de variáveis canônicas para os caracteres dos macronutrientes cálcio (Ca), potássio (K) e magnésio (Mg) avaliados em populações F<sub>3</sub> de soja cultivada sob saturação por bases recomendada.

Dessa forma, as populações que se destacaram para Ca, Mg e K indicam a importância do manejo nutricional para o desenvolvimento da cultura. O cálcio é um importante nutriente atua na síntese de novas paredes celulares, especialmente a lamela média, além de ser no fuso mitótico durante a divisão celular.

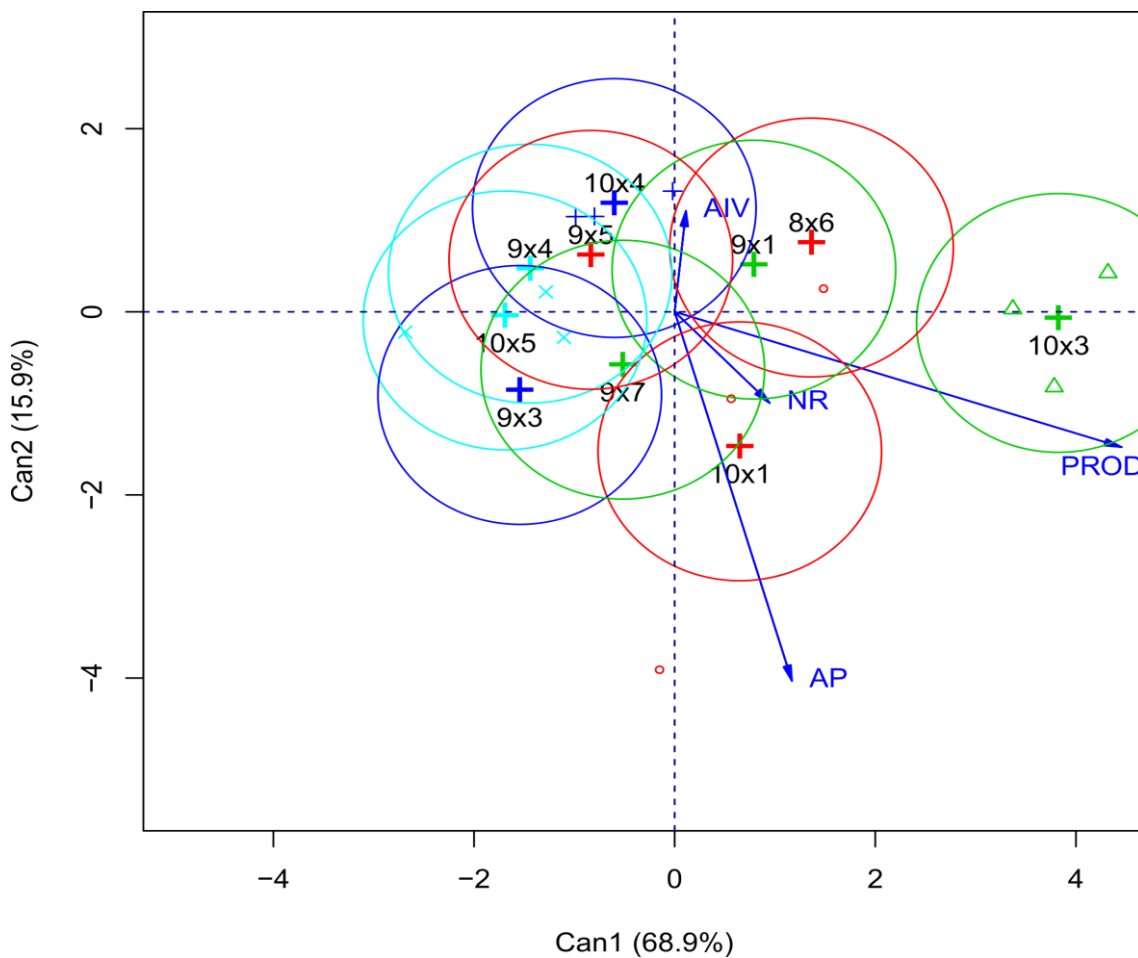
Já o magnésio participa diretamente na ativação de enzimas envolvidas na respiração, fotossíntese e síntese de DNA e RNA. O magnésio também é parte da estrutura em anel da molécula de clorofila. O potássio contribui na regulação do

potencial osmótico das células vegetais, e participa ativamente de enzimas envolvidas na respiração e na fotossíntese (TAIZ e ZEIGER, 2013).

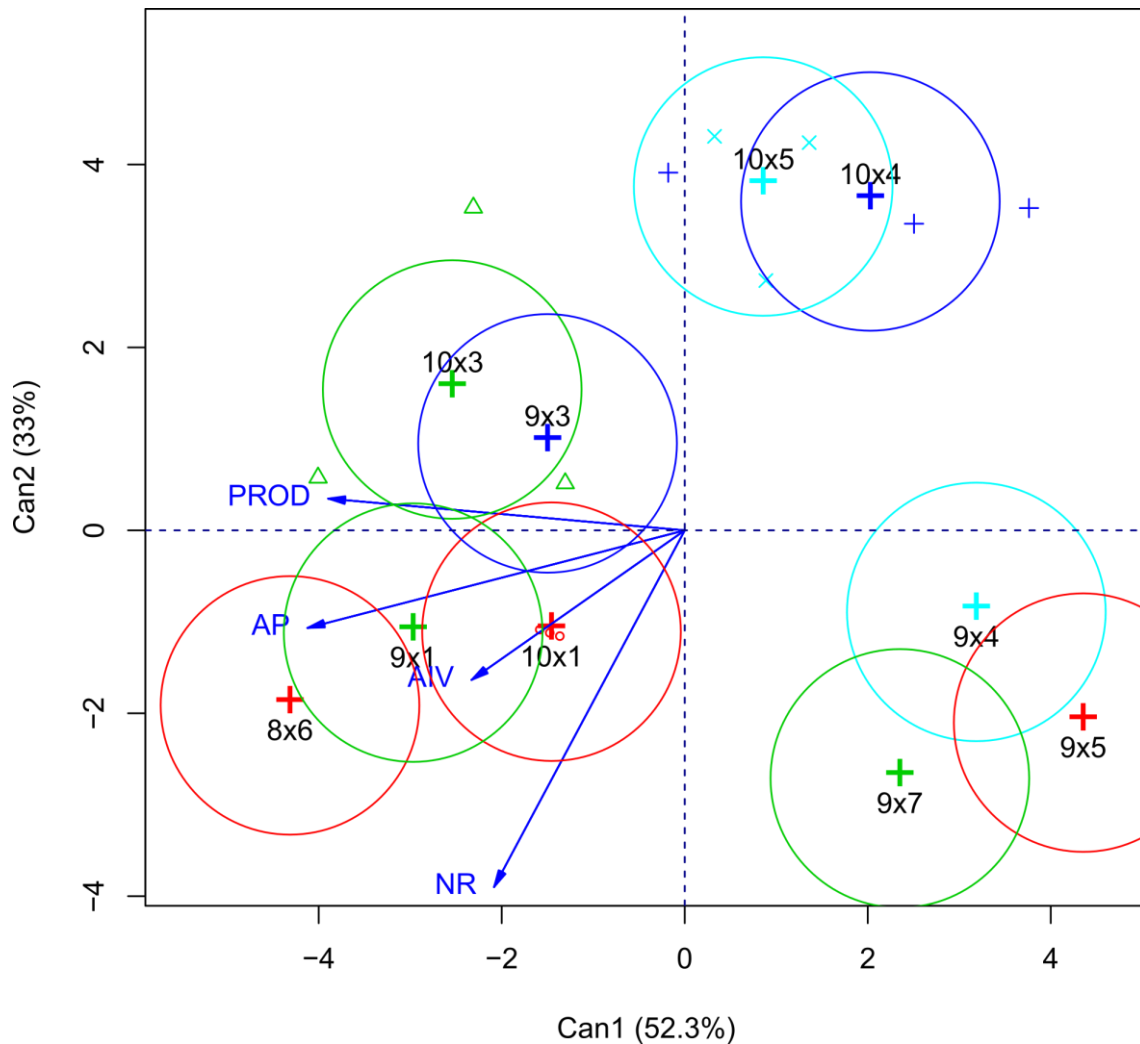
A população 10x3 tanto em condições de baixa saturação por bases quanto saturação por bases recomendada se mostrou mais produtiva e com maior absorção no teor de Ca. Isso demonstra que essa população possui plasticidade fenotípica, podendo ser empregada em seleção de plantas para F<sub>4</sub> selecionando dentro dessa população para linhagens mais produtivas para essas características.

A Figura 12 contém as populações avaliadas com relação aos caracteres agronômicos em condições de baixa saturação por bases. Para AIV, destacaram-se as populações 9x1, 10x4 e 8x6, para NR e AP a população 10x1, e para PROD a população 10x3 foi a que se destacou.

Na saturação por bases recomendada (Figura 13), as populações 8x6 9x1 e 10x1 se destacaram para os caracteres AP, AIV e NR. Já para o caráter PROD a populações 10x3 e 9x3 foram as que obtiverem maiores médias.



**Figura 12.** Análise de variáveis canônicas para os caracteres agrônômicos altura de inserção da vagem (AIV), altura de planta (AP), número de ramificações (NR) e produtividade (PROD) avaliados em populações F<sub>3</sub> de soja cultivada sob baixa saturação por bases.



**Figura 13.** Análise de variáveis canônicas para os caracteres agrônômicos altura de inserção da vagem (AIV), altura de planta (AP), número de ramificações (NR) e produtividade (PROD) avaliados em populações F<sub>3</sub> de soja cultivada sob saturação por bases recomendada.

Esses resultados demonstraram que populações com maior altura de planta possuirão maior número de ramificações e, conseqüentemente, menor massa de cem grãos, resultando em menor produção por planta, porém sem variação significativa no rendimento de grãos, (SILVA JUNIOR et al., 2014).



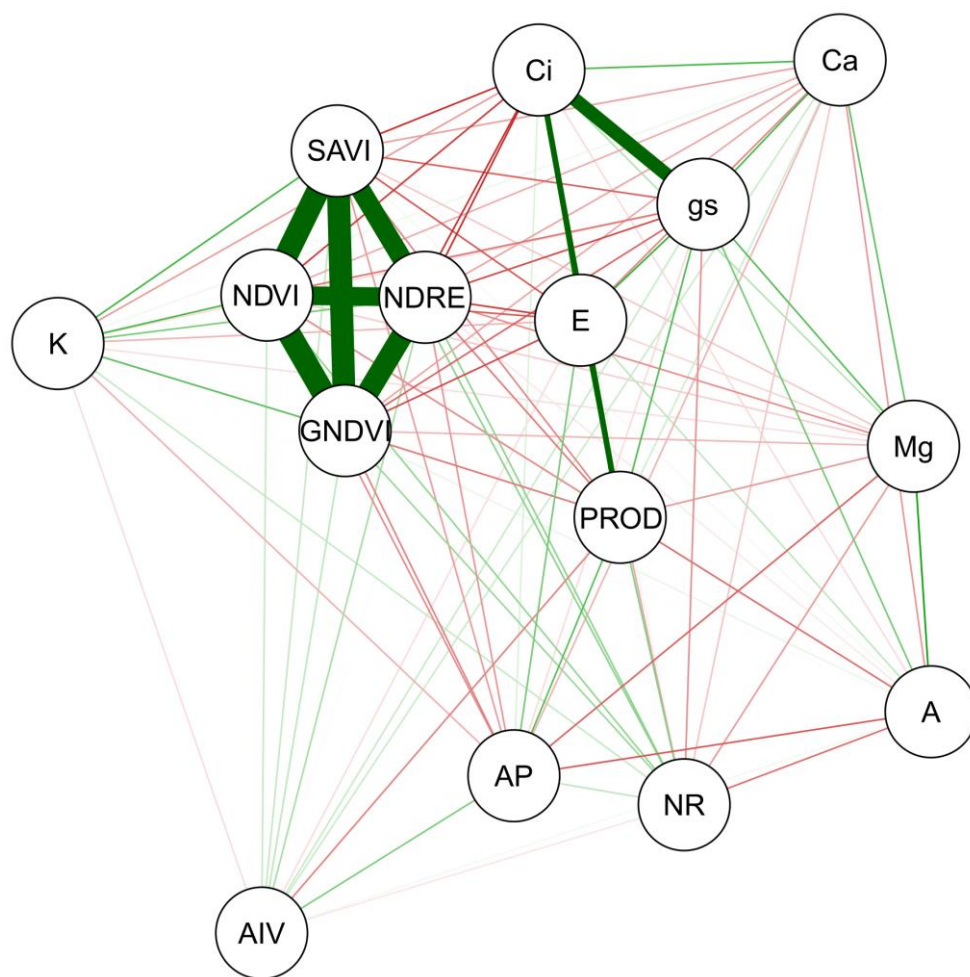
A população 10x3 cultivada sob saturação por bases recomendada e baixa saturação por bases apresentou média superior as demais com relação ao caráter PROD, sendo mais produtiva e com maior absorção no teor de Ca como demonstrado nas (Figuras 10 e 11). Isso demonstra que essa população possui plasticidade fenotípica, podendo ser empregada em seleção de plantas para F<sub>4</sub> selecionando dentro dessa população para linhagens mais produtivas para essas características, inferindo que essa população pode ser promissora para ambos os ambientes avaliados.

Moreira et al. (2017), avaliando genótipos e taxas de calcário, verificaram interação significativa para rendimentos de grãos, número de vagens por vasos e rendimento de peso seco da parte aérea, indicando que os genótipos responderam diferentemente a cada taxa de calcário. O aumento da taxa de calcário aplicada resultou em um acréscimo de 31,1% na produtividade de grãos.

De maneira geral, o conhecimento das condições nutricionais na cultura da soja nos sistemas produtivos proporciona um manejo eficiente da cultura e uma elevada produtividade. Muitas pesquisas demonstram a eficiência adequada do correto manejo nutricional na cultura da soja, aplicando tanto macronutrientes quanto micronutrientes, obtendo excelentes resultados na produtividade de grãos da cultura (SOUZA et al., 2008; GONÇALVES JÚNIOR et al., 2010; HARTE e BARROS, 2011).

A rede de correlação observada na Figura 14 demonstra a relação entre caracteres avaliados nas populações F<sub>3</sub> de soja cultivada sob baixa saturação por bases. A condutância estomática (gs) está correlacionada positivamente com o teor de cálcio (Ca), juntamente com a concentração interna de CO<sub>2</sub> (Ci), e transpiração (E), que consequentemente está correlacionado com a produtividade (PROD).

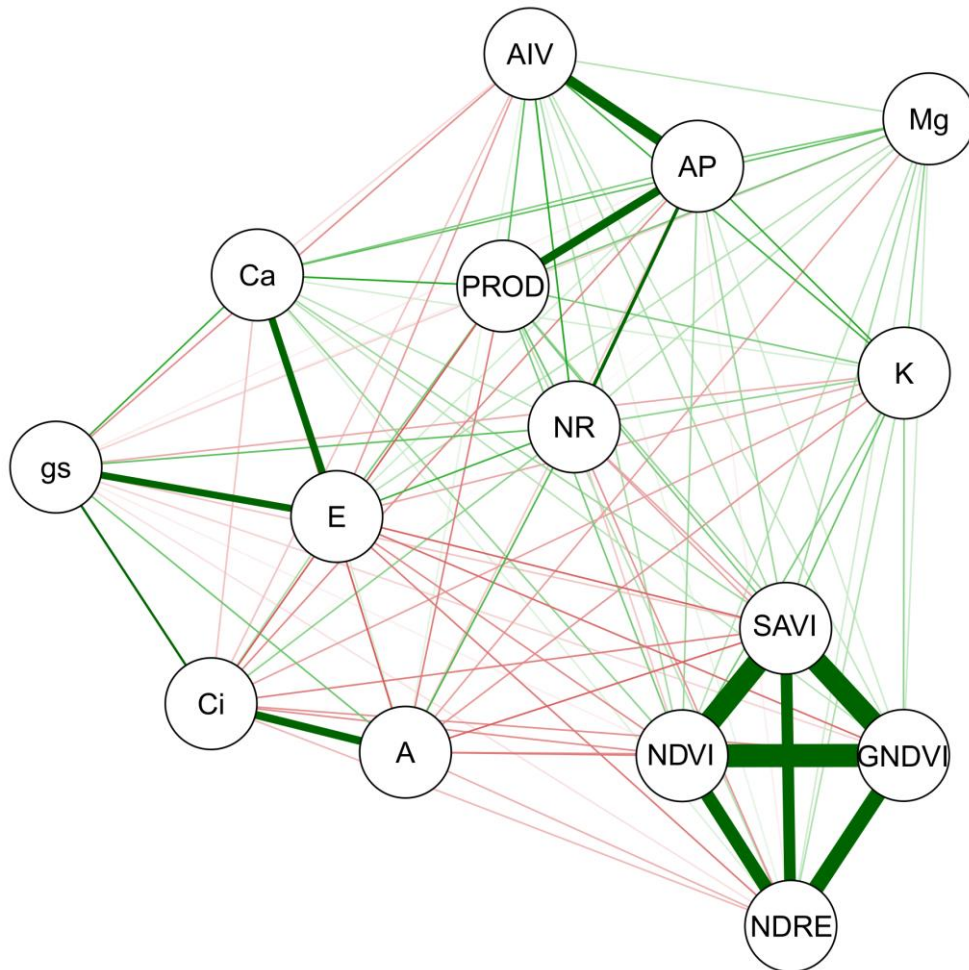
Desse modo, o fechamento dos estômatos da planta influencia diretamente a redução da transpiração. Já condutância estomática é ligada a entrada e saída de água e CO<sub>2</sub> pelo estômato, quanto menor sua abertura, maior a atividade estomática e menor a transpiração. Isso também justifica porque o cálcio está ligado nessa correlação, devido os íons de cálcio estarem participando diretamente na síntese de paredes celulares e em especial a lamela média, o que confere mais resistência a abertura e fechamento de estômatos (TAIZ & ZEIGER., 2013).



**Figura 14.** Rede de correlações para os caracteres fisiológicos fotossíntese líquida (A), condutância estomática (gs), concentração interna de CO<sub>2</sub> (Ci) e transpiração (E); índices de vegetação (NDVI, SAVI, NDRE e GNDVI); macronutrientes cálcio (Ca), potássio (K) e magnésio (Mg); e agrônômicos altura de inserção da vagem (AIV), altura de planta (AP), número de ramificações (NR) e produtividade (PROD) avaliados em populações F<sub>3</sub> de soja cultivada sob baixa saturação por bases.

Já na rede de correlações construída para saturação de bases recomendadas (Figura 15), o teor de cálcio (Ca) se correlacionou com transpiração (E), condutância estomática (gs), concentração interna de CO<sub>2</sub> (Ci) e fotossíntese (A) de forma positiva. Esses resultados foram similares a condição de baixa saturação por bases (Figura 14). Houve correlações positivas em altura de planta (AP) com altura de inserção de vagem

(AIV), produtividade (PROD), número de ramificações (NR), teor de magnésio (Mg) e teor de potássio (K).



**Figura 15.** Rede de correlações para os caracteres fisiológicos fotossíntese líquida (A), condutância estomática (gs), concentração interna de CO<sub>2</sub> (Ci) e transpiração (E); índices de vegetação (NDVI, SAVI, NDRE e GNDVI); macronutrientes cálcio (Ca), potássio (K) e magnésio (Mg); agronômicos altura de inserção da vagem (AIV), altura de planta (AP), número de ramificações (NR) e produtividade (PROD); avaliados em populações F<sub>3</sub> de soja cultivada sob saturação por bases recomendada.

Tanto o magnésio quanto o potássio têm participações importantes nas plantas. O magnésio atua na ativação de enzimas envolvidas na respiração, fotossíntese, participa da estrutura em anel da molécula de clorofila. E o potássio, na regula o

potencial osmótico das células e está presente em enzimas envolvidas na respiração e na fotossíntese. (TAIZ & ZEIGER, 2013). Isso explica que esses elementos estão ligados ao crescimento vegetal e conseqüentemente relacionado com a produtividade de uma cultura.

Os índices de vegetação têm o objetivo de captar variações estruturais do dossel das culturas (JIANG et al., 2008). Isso demonstra que os índices de vegetação possuem forte correção entre si em ambas as correlações tanto em ambiente com baixa saturação por bases quanto por saturação por bases recomendada esses índices estiveram fortemente correlacionados.

Ao avaliar características agronômicas, fenológicas e fisiológicas na região sul do Brasil, Todeschini et al., (2019) relataram que o aprimoramento de técnicas envolvendo a taxa fotossintética, a taxa de transpiração e o teor de clorofila podem potencializar a evolução genética da produtividade da soja no futuro.

## **CONCLUSÕES**

As populações de soja F<sub>3</sub> avaliadas apresentam diferenças quanto aos caracteres agronômicos, fisiológicos e índices de vegetação em função da saturação por bases utilizada.

A população 10x3 tanto em condições de baixa saturação por bases, quanto a saturação por bases recomendada, possui plasticidade fenotípica, podendo ser empregada em seleção de plantas para F<sub>4</sub> selecionando dentro dessa população para linhagens mais produtivas para essas características.

## REFERÊNCIAS

- AINSWORTH, E.A., et al. Accelerating yield potential in soybean: potential targets for biotechnological improvement. **Plant. Cell. Environ.** n.35, p.38-52, 2012.
- ANIREDDY S N. et al. Coping with stresses: role of calcium- and calcium/calmodulinregulated gene expression. **The Plant Cell**, n.23, p. 2010 - 2032, 2011.
- BHERING, L. L. Rbio: a tool for biometric and statistical analysis using the R platform. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.17, n.2, p.187-190, 2017.
- CAKMAK, I. The role of potassium in alleviating detrimental effects of abiotic stresses in plants. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v.168, p.521-530, 2005.
- CARMELLO, Q.A.C ; OLIVEIRA, F.A. Visão Agrícola. **Fertilidade do solo**. n. 5, p.11, 2006.
- CONAB: Companhia Nacional do Abastecimento de Grãos. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**, v. 7, n.12, Safra 2019/20 – ISSN 2318-6852. Décimo segundo levantamento, Brasília, p.1 -168, setembro 2020.
- GITELSON, A. et al. Use of a green channel in remote sensing of global vegetation from EOS-MODIS. **Remote Sens. Environ.** n.58, p.289-298, 1996.
- GITELSON, A.; MERZLYAK, M.N. Spectral reflectance changes associated with autumn senescence of *Aesculus hippocastanum* L. and *Acer platanoides* L. leaves. Spectral features and relation to chlorophyll estimation. **J. Plant Physiol.** n 143p.286-292, 1994.
- GONÇALVES JÚNIOR, A. C. et al. Produtividade e componentes de produção da soja adubada com diferentes doses de fósforo, potássio e zinco. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 3, p.660- 666, 2010.
- GUTIERREZ-RODRIGUEZ, M. et al. Association between canopy reflectance indices and yield and physiological traits in bread wheat under drought and well-irrigated conditions. **J. Agric.** n.55, p.1139-1147, 2004.
- HARTER, F. S.; BARROS, A. C. S. A. Cálcio e silício na produção e qualidade de sementes de soja. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 33, n. 1, p.54-60, 2011.
- HIRAKURI, M. H. Impactos econômicos de estresses na produção de soja da safra 2015/16. Circular Técnica 125, **Embrapa Soja**: Londrina, p.8, 2016.
- HUETE, A.R. A soil adjusted vegetation index (SAVI). **Remote Sens. Environ.** n.25, p.295-309, 1988.

JIANG, Z. et al. Development of a two-band enhanced vegetation index without a blue band. **Remote Sensing of Environment**, v. 112, n. 10, p. 3833–3845, 2008.

KLAR, A.E. **Evapotranspiração. In: A água no sistema solo-planta-atmosfera**. 2.ed. São Paulo: Nobel, p.408, 1984.

KLINK, C. A.; MACHADO, R. B. A conservação do cerrado brasileiro. **Revista Megadiversidade**, v. 01, n. 01, p. 147- 155, 2005.

LI T. G. et al. Effects of exogenous Ca<sup>2+</sup> on physiological and photosynthesis of *Fritillaria anhuiensis* under high temperature stress. **Plant Nutrition and Fertilizer Science**, n.18, p.765-770, 2012.

MANAVALAN, L.P. et al. Physiological and molecular approaches to improve drought resistance in soybean. **Plant Cell. Physiol.** n.50, p.1260-1276, 2009.

MOURTZINIS, S. et al. The use of reflectance data for in-season soybean yield prediction. **Agron. J.** n.106, p.1159-1168, 2014.

MOREIRA, A. et al. Differential response of soybean genotypes to two lime rates. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v.63, n.9, p.1281–1291., 2017.

MUTAVA, R.N. et al. Understanding abiotic stress tolerance mechanisms in soybean: a comparative evaluation of soybean response to drought and flooding stress. **Plant Physiol. Biochem.** n.86, p.109-120, 2015.

PELUZIO, J. C. et al. Genetic divergence among soybean cultivars in irrigated lowland in the State of Tocantins. **Ciência Rural**, v.42, n.3, p.395-400, 2012.

PONZONI, F. J. Comportamento Espectral da Vegetação. **In. Sensoriamento Remoto – Reflectância dos alvos naturais**. Editora UnB, Embrapa, Brasília (DF), p. 157-199, 2001.

RAPER, T.B.; VARCO, J.J. Canopy-scale wavelength and vegetative index sensitivities to cotton growth parameters and nitrogen status. **Precision Agric.** n.1, p.62-76, 2015.

ROCHE, D. Stomatal conductance is essential for higher yield potential of C3 crops. *Critical Rev.* **Plant Sci.** n.34, p.429-453, 2015.

RUTKOSKI, J. et al. Canopy temperature and vegetation indices from high-throughput phenotyping improve accuracy of pedigree and genomic selection for grain yield in wheat. *G3-Genes Genom.* **Genet.** p.113-116, 2016.

ROUSE, J.W. et al. Monitoring the vernal advancement and retrogradation (greenwave effect) of natural vegetation. **NASA**, Greenbelt, 1974.

SEDIYAMA, T.; **Melhoramento Genético da Soja**. Editora Mecnas, p.352, 2015.

SEDIYAMA, T.; **Melhoramento Genético da Soja**. Editora Viçosa, p.553, 2013.

- SILVA, F.C.S. et al. Importância econômica e evolução do melhoramento. In: SILVA, F.L., BORÉM, A., SEDIYAMA, T., LUDKE, W. (Eds). **Melhoramento da Soja**. UFV, Viçosa, 2017.
- SILVA JUNIOR, C. A. et al. Soybean varieties discrimination using non-imaging hyperspectral sensor. *Infrared Phys. Technol.* n.89, p.338-350, 2018.
- SILVA JUNIOR, C. A. et al. Correlations and genetic parameters between morphological descriptors in soybean. **Journal of Agronomy**, New York, v. 13, p. 117-121, 2014.
- SILVA, C. S. et al. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. Brasília, Brazil: **Embrapa Informação Tecnológica**; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009.
- SOUSA, D. M. G. de. et al. Uso de gesso agrícola nos solos do cerrado. **Circular Técnica 32**, Embrapa Cerrados: Distrito Federal, p.10, 2005.
- SOUSA, D.M.G. de; LOBATO, E. Correção da acidez do solo. In: SOUSA, D.M.S. de; LOBATO, E. (Ed.). **Cerrado: Correção do solo e adubação**. 2.ed. Brasília: EMBRAPA. p.81-96, 2004.
- SOUZA, L. C. D. et al. Produtividade de quatro cultivares de soja em função da aplicação de fertilizante mineral foliar a base de cálcio e boro. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, Londrina, v. 8, n. 2, p.37-44, 2008.
- SUN D. Y. 1998. Cellular Signal Transduction. **Science Press**, Beijing, China, 1998.
- TODESCHINI M.H. et al. Soybean genetic progress in South Brazil: physiological, phenological and agronomic traits. **Euphytica**. n.215, p.124, 2019.
- TUZET, A. et al. A coupled model of stomatal conductance, photosynthesis and transpiration. **Plant, Cell. Environ.** n.26, p.1097-1116, 2003.
- XUE, J.; SU, B. Significant remote sensing vegetation indices: A review of developments and applications. **J. Sensors**. v. 2017, p.1-17, 2017.