



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de Ilha Solteira

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE ENGENHARIA
CÂMPUS DE ILHA SOLTEIRA

PAULO HENRIQUE MENEZES DAS CHAGAS

**SELEÇÃO DE GENITORES E POPULAÇÕES SEGREGANTES DE SOJA PARA
CARACTERES NUTRICIONAIS, AGRONÔMICOS E INDUSTRIAIS**

Ilha Solteira
2023

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

PAULO HENRIQUE MENEZES DAS CHAGAS

**SELEÇÃO DE GENITORES E POPULAÇÕES SEGREGANTES DE SOJA PARA
CARACTERES NUTRICIONAIS, AGRONÔMICOS E INDUSTRIAIS**

Tese apresentada à Faculdade de
Engenharia de Ilha Solteira – Unesp como
parte dos requisitos para obtenção do título
de Doutor. Especialidade: Produção vegetal.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Eduardo Teodoro
Coorientadora: Profa. Dra. Larissa Pereira
Ribeiro Teodoro

FICHA CATALOGRÁFICA
Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

C433s Chagas, Paulo Henrique Menezes Das.
Seleção de genitores e populações segregantes de soja para caracteres nutricionais, agronômicos e industriais / Paulo Henrique Menezes Das Chagas. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2023
73 f. : il.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Sistemas de Produção, 2023

Orientador: Paulo Eduardo Teodoro

Co-orientador: Larissa Pereira Ribeiro Teodoro

Inclui bibliografia

1. Glycine Max. 2. Dialelo. 3. Variabilidade genética. 4. Hibridação. 5. Análise multivariada. 6. Produtividade de grãos.


Amanda Sertori dos Santos

Biblioteca - CRB/S-9061
Seção Técnica de Referência, Atendimento ao
Usuário e Documentação
Diretoria Técnica de Biblioteca e Documentação

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: SELEÇÃO DE GENITORES E POPULAÇÕES SEGREGANTES DE SOJA PARA
CARACTERES NUTRICIONAIS, AGRONÔMICOS E INDUSTRIAIS

AUTOR: PAULO HENRIQUE MENEZES DAS CHAGAS

ORIENTADOR: PAULO EDUARDO TEODORO

COORIENTADORA: LARISSA PEREIRA RIBEIRO TEODORO

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em Agronomia,
especialidade: Sistemas de Produção pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. PAULO EDUARDO TEODORO (Participação Virtual)
Experimentação e Melhoramento de Plantas / Universidade Federal de Mato Grosso do Sul - UFMS

Prof. Dr. ALAN MARIO ZUFFO (Participação Virtual)
Departamento de Fitotecnia / Universidade Estadual do Maranhão - UEMA

Prof. Dr. FRANCISCO EDUARDO TORRES (Participação Virtual)
Departamento de Fitotecnia / Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul - UEMS

Prof. Dr. SÂMELA BEUTINGER CAVALHEIRO (Participação Virtual)
Departamento de Agronomia / Universidade Federal de Mato Grosso do Sul - UFMS

Prof. Dr. PAULO CARTERI CORADI (Participação Virtual)
Departamento de Engenharia Agrícola / Universidade Federal de Santa Maria - UFSM

Ilha Solteira, 01 de junho de 2023



Documento assinado digitalmente

PAULO EDUARDO TEODORO
Data: 01/06/2023 17:16:09-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

DEDICATÓRIA

A minha mãe, Osmarina Menezes das Chagas, ao meu tio, Izaias Menezes das Chagas, minhas tias, Diola Menezes das Chagas e Idalina Menezes das Chagas, que me apoiaram, durante minha formação. A minha noiva Karina Garcia Lopes, pelo companheirismo e incentivo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por me proporcionar mais essa conquista.

Aos meus familiares, pelo apoio, incentivo, confiança e por terem acreditado no meu potencial.

Ao professor e orientador Dr. Paulo Eduardo Teodoro e a professora e coorientadora Dra. Larissa Pereira Ribeiro Teodoro, pela orientação, paciência e dedicação durante a elaboração e condução desse trabalho.

A todos os professores que durante o curso transmitiram novos conhecimentos, e a Universidade Estadual Paulista “Júlio de mesquita filho” – UNESP e a Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS, por permitir esse ensinamento e aprendizado.

Aos colegas do grupo de estudo em Melhoramento de Plantas (GEMP), e aos professores Cassiano Garcia Roque, Cid Naudi Campos e Fabio Baio, pela contribuição e ensinamentos durante a execução dos experimentos.

A minha noiva Karina Garcia Lopes, por me incentivar e não me deixar desistir.

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

"Não podemos prever o futuro, mas podemos criá-lo". (Peter Drucker).

RESUMO

A soja é a cultura oleaginosa de maior importância econômica no Brasil. Devido ao melhoramento desta cultura, expandiu-se para diferentes regiões no país, tendo como desafio para os melhoristas, aumentar a produtividade de grãos, teor de óleo e proteínas. Esse trabalho foi organizado em dois capítulos cuja hipótese principal é que caracteres nutricionais, agronômicos e industriais são herdáveis na soja. O objetivo do capítulo 1 foi estimar a capacidade combinatória de cultivares de soja com base na geração F₂, visando identificar genitores e populações segregantes superiores para caracteres agronômicos, industriais e nutricionais. No capítulo 2, o objetivo foi selecionar genótipos de soja através das relações entre os caracteres nutricionais, agronômicos e industriais. A condução do experimento foi realizada em dois locais: Aquidauana/MS e Chapadão do Sul/MS. O delineamento experimental foi realizado em blocos casualizados com duas repetições, oito genitores e 28 populações F₂ de soja. Foram avaliados os teores nutricionais de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn). Os caracteres agronômicos avaliados foram: altura de plantas (AP), dias para maturação (DM) e produtividade de grãos (PROD), enquanto os caracteres industriais avaliados foram: teores de proteína (TP), óleo (TO), fibras (TF) e cinzas (TC) nas populações. O genitor G3 e as populações segregantes P20 e P27 podem ser utilizados visando obter maior eficiência nutricional. As populações segregantes P11 e P26 apresentam maior potencial para seleção de genótipos de soja que reúnam precocidade e produtividade. O genitor G5 e a população segregante P24 são promissores para seleção buscando melhoria de caracteres industriais em soja. As relações entre grupos de caracteres nutricionais, agronômicos e tecnológicos em soja são afetadas pela interação genótipos x ambientes. A seleção de genótipos de soja com maiores teores foliares de P, Mn e Zn possui reflexo direto no aumento da PROD e TP. O teor de P se relaciona positivamente com a AP e DM em Chapadão do Sul. O Ca se relaciona positivamente com TP e TO em Aquidauana. O Mn se correlaciona positivamente com TO e TF em Chapadão do Sul. O TP apresenta efeitos diretos sobre os caracteres agronômicos em ambos os locais.

Palavras-chave: ciclo precoce; *glycine max*; dialelo; potencial produtivo; variabilidade genética.

ABSTRACT

Soybean is the most economically important oilseed crop in Brazil. Due to the improvement of this culture, it has expanded to different regions in the country. Due to the improvement of this culture, it has expanded to different regions in the country. With the challenge for breeders to increase grain yield, oil and protein content. This work was organized in two chapters, whose main hypothesis is that nutritional, agronomic and industrial traits are heritable in soybean. The aim of chapter 1 was to estimate the combining ability of soybean cultivars based on the F₂ generation, aiming to identify superior segregating parents and populations for agronomic, industrial and nutritional traits. In chapter 2, the aim was to select soybean genotypes through the relationships between nutritional, agronomic and industrial traits. The experiment was accomplished in two locations: Aquidauana/MS and Chapadão do Sul/MS. The experimental design was in randomized blocks with two replications, eight parents and 28 soybean F₂ populations. The nutritional contents were evaluated was phosphorus (P), potassium (K), calcium (Ca), magnesium (Mg), sulfur (S), copper (Cu), iron (Fe), manganese (Mn) and zinc (Zn). The agronomic traits evaluated were: plant height (AP), days to maturity (DM) and grain yield, while the industrial traits evaluated were: protein (TP), oil (TO), fiber (TF) and ash (TC) content in the populations. The parent G3 and segregating populations P20 and P27 can be used to obtain greater nutritional efficiency. The segregating populations P11 and P26 have greater potential for selection of soybean genotypes that combine precocity and yield. The parent G5 and the segregating population P24 are promising for selection seeking to improve industrial traits in soybean. Relationships between groups of nutritional, agronomic and technological traits in soybean are affected by genotype x environment interaction. The selection of soybean genotypes with higher leaf contents of P, Mn and Zn has a direct effect on the increase of PROD and TP. P is positively related to AP and DM in Chapadão do Sul. Ca is positively related to TP and TO in Aquidauana. Mn correlates positively with TO and TF in Chapadão do Sul. TP has direct effects on agronomic traits in both locations.

Keywords: early maturity; *glycine max*; diallel; yield potential; genetic variability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização dos experimentos no Estado de Mato Grosso do Sul	28
Figura 2. Condições meteorológicas no decorrer da safra 2019/2020 no município de Aquidauana	30
Figura 3. Condições meteorológicas no decorrer da safra 2019/2020 no município de Chapadão do Sul.....	31
Figura 4. Análise de componentes principais para caracteres nutricionais (teores foliares de P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn e Zn), caracteres agrônômicos (PROD: produtividade de grãos, AP: altura de planta e DM: dias para maturação) e caracteres industriais (TP: teor de proteína, TO: teor de óleo, TF: teor de fibras e TC: teor de cinzas) avaliados em 36 genótipos de soja cultivados em Aquidauana (AQU) e Chapadão do Sul (CHS).....	63
Figura 5. Scatterplott contendo a distribuição e as correlações de Pearson entre para caracteres nutricionais (teores foliares de P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn e Zn), caracteres agrônômicos (PROD: produtividade de grãos, AP: altura de planta e DM: dias para maturação) e caracteres industriais (TP: teor de proteína, TO: teor de óleo, TF: teor de fibras e TC: teor de cinzas) avaliados em 36 genótipos de soja cultivados em Aquidauana (AQU) e Chapadão do Sul (CHS).....	65

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Características das cultivares de soja utilizadas como genitores.....	26
Tabela 2. Relação das 28 populações F ₁ de soja obtidas.....	27
Tabela 3. Análise de variância conjunta com as fontes de variação (FV) e seus respectivos graus de liberdade (GL) e p-valores para os teores nutricionais de P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn e Zn avaliados em amostras de folhas de genitores e populações segregantes F ₂ de soja em Aquidauana e Chapadão do Sul.....	34
Tabela 4. Agrupamento de médias para os teores nutricionais de macronutrientes (P, K, Ca, Mg e S), avaliados em genitores e populações segregantes F ₂ de soja em Aquidauana (A1) e Chapadão do Sul (A2).	35
Tabela 5. Agrupamento de médias para os teores nutricionais de micronutrientes (Cu, Fe, Mn e Zn), avaliados em genitores e populações segregantes F ₂ de soja em Aquidauana (A1) e Chapadão do Sul (A2).	36
Tabela 6. Análise de variância conjunta com as fontes de variação (FV) e seus respectivos graus de liberdade (GL) e p-valores para os caracteres agrônômicos dias para maturação (DM) e produtividade de grãos (PROD, t ha ⁻¹) avaliados em genitores e populações segregantes F ₂ de soja em Aquidauana e Chapadão do Sul.....	37
Tabela 7. Agrupamento de médias para os caracteres agrônômicos dias para maturação (DM) e produtividade de grãos (PROD) avaliados em genitores e populações segregantes F ₂ de soja em Aquidauana (A1) e Chapadão do Sul (A2).	38
Tabela 8. Análise de variância conjunta com as fontes de variação (FV) e seus respectivos graus de liberdade (GL) e p-valores para os caracteres industriais teor de proteína (TP), óleo (TO), fibras (TF) e cinzas (TC) avaliados em genitores e populações segregantes F ₂ de soja em Aquidauana e Chapadão do Sul.....	39
Tabela 9. Agrupamento de médias para os caracteres industriais teor de proteína (TP), óleo (TO), fibras (TF) e cinzas (TC) avaliados em genitores e populações segregantes F ₂ de soja em Aquidauana (A1) e Chapadão do Sul (A2).	40

Tabela 10. Estimativas da capacidade geral de combinação para os teores nutricionais de (K, Mg, Ca, Fe, Mn e Zn), avaliados em genitores de soja em Aquidauana (A1) e Chapadão do Sul (A2).....	41
Tabela 11. Estimativas da capacidade específica de combinação para os teores de macronutrientes (P, K, Ca, Mg e S), avaliados em populações segregantes F ₂ de soja em Aquidauana (A1) e Chapadão do Sul (A2).	42
Tabela 12. Tabela 12. Estimativas da capacidade específica de combinação para os teores nutricionais de (Cu, Fe, Mn e Zn), avaliados em populações segregantes F ₂ de soja em Aquidauana (A1) e Chapadão do Sul (A2).....	43
Tabela 13. Estimativas da capacidade geral de combinação para o caráter dias para maturação (DM) em genitores de soja em Aquidauana (A1) e Chapadão do Sul (A2).	44
Tabela 14. Estimativas da capacidade específica de combinação para caracteres agrônômicos dias para maturação (DM) e produtividade de grãos (PROD) avaliados em populações segregantes F ₂ de soja em Aquidauana (A1) e Chapadão do Sul (A2).	45
Tabela 15. Estimativas da capacidade geral de combinação para os caracteres industriais teor de proteína (TP), óleo (TO) e fibras (TF) avaliados em genitores de soja em Aquidauana (A1) e Chapadão do Sul (A2).....	46
Tabela 16. Estimativas da capacidade específica de combinação para os caracteres industriais teor de proteína (TP), óleo (TO), fibras (TF) e cinzas (TC) avaliados em populações segregantes F ₂ de soja em Aquidauana (A1) e Chapadão do Sul (A2).	47
Tabela 17. Análise de variância multivariada para os caracteres agrônômicos, nutricionais e industriais avaliados em 36 genótipos de soja cultivados em dois locais.	62
Tabela 18. Correlações canônicas entre caracteres agrônômicos e nutricionais avaliados em 36 genótipos de soja cultivados em dois locais.....	66

Tabela 19. Correlações canônicas entre caracteres industriais e nutricionais avaliados em 36 genótipos de soja cultivados em dois locais.....67

Tabela 20. Correlações canônicas entre caracteres agronômicos e industriais avaliados em 36 genótipos de soja cultivados em dois locais.....67

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL	14
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1	EXPERIMENTOS DIALELO EM SOJA.....	16
2.2	CARACTERES NUTRICIONAIS EM SOJA	17
2.3	CARACTERES AGRONÔMICOS EM SOJA	18
2.4	CARACTERES INDUSTRIAIS EM SOJA	19
	REFERÊNCIAS.....	20
3	CAPÍTULO 1 - ENTENDENDO A HERANÇA DE CARACTERES NUTRICIONAIS, AGRONÔMICOS E INDUSTRIAIS EM SOJA	23
3.1	INTRODUÇÃO.....	24
3.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	26
3.2.1	Obtenção das progênies na geração F ₁	26
3.2.2	Obtenção das progênies na geração F ₂	27
3.2.3	Condução das progênies na geração F ₂	28
3.2.4	Delineamento experimental e tratamentos	31
3.2.5	Caracteres avaliados na geração F ₂	31
3.2.6	Análises estatísticas	32
3.3	RESULTADOS.....	34
3.3.1	Análise de variância conjunta e agrupamento de médias para caracteres nutricionais	34
3.3.2	Análise de variância conjunta e agrupamento de médias para caracteres agronômicos.....	37
3.3.3	Capacidade de combinação para caracteres nutricionais	41
3.3.4	Capacidade de combinação para caracteres agronômicos	43
3.3.5	Capacidade de combinação para caracteres industriais.....	45

3.4 DISCUSSÃO.....	47
3.5 CONCLUSÕES.....	51
REFERÊNCIAS.....	52
4 CAPÍTULO 2 - RELAÇÕES ENTRE CARACTERES NUTRICIONAIS, AGRONÔMICOS E INDUSTRIAIS EM GENÓTIPOS DE SOJA.....	56
4.1 INTRODUÇÃO.....	57
4.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	59
4.2.1 Condução do experimento	59
4.2.2 Caracteres avaliados	60
4.2.3 Análises estatísticas	61
4.3 RESULTADOS.....	61
4.3.1 Análise de variância multivariada e componentes principais.....	61
4.3.2 Correlações Canônicas	66
4.4 DISCUSSÃO.....	68
4.5 CONCLUSÕES.....	69
REFERÊNCIAS.....	70

1 INTRODUÇÃO GERAL

A soja (*Glycine max* L.) é a oleaginosa mais importante no mundo devido ao alto teor de óleo e proteínas. Na safra 2022/2023 o Brasil tem estimativa de produção 153,6 milhões de toneladas em uma área aproximada de 43,6 milhões de hectares (CONAB, 2023).

Os programas de melhoramento de soja têm grande importância para os sojicultores visando o aumento de produtividade, para que possam obter maiores lucros (VASCONCELOS *et al.*, 2015). Desse modo, ao obterem genótipos adaptados as condições edafoclimáticas da região pode condicionar incrementos compensatórios (COLOMBO *et al.*, 2018).

A variabilidade genética é muito importante, pois é responsável por viabilizar o emprego de técnicas que possibilitam a identificação de genótipos superiores (ROCHA *et al.*, 2014). A análise dialélica fornece estimativas de parâmetros que são úteis à seleção de genitores para hibridação e ao entendimento da ação dos genes envolvidos na determinação dos caracteres (CRUZ *et al.*, 2012). Os experimentos em dialelo permitem planejar cruzamentos entre genitores ou grupo de genitores que proporcionam em sua progênie um elevado efeito heterótico, possibilitando a obtenção de populações com ampla variedade (CRUZ *et al.*, 2011).

Ao iniciar a análise dialélica através da geração F₁ encontra-se dificuldade devido à baixa disponibilidade de sementes presentes dificultando a avaliação de características como rendimento, que exigem grandes parcelas experimentais cultivadas em outras localidades, uma alternativa é a utilização da geração F₂ (FRIEDRICHS *et al.*, 2016) para a escolha dos genitores a diversidade e comportamentos *per se*.

Dentre os caracteres agrônômicos mais avaliados na cultura da soja, a produtividade de grãos e o ciclo da cultura são os mais visados. Porém não podemos esquecer dos caracteres nutricionais, principalmente em solos tropicais, devido ao seu alto grau de intemperismo e baixa fertilidade, principalmente em solos do Cerrado, com isso conseguiremos entregar melhores variedades a fim de atender as necessidades exigidas pelas indústrias.

Diante da importância da cultura da soja e da demanda de cultivares mais produtivas e precoces, o objetivo do capítulo 1 foi estimar a capacidade combinatória

de cultivares de soja com base na geração F_2 , visando identificar genitores e populações segregantes superiores para caracteres agronômicos, industriais e nutricionais. No capítulo 2, o objetivo foi selecionar genótipos de soja através das relações entre os caracteres nutricionais, agronômicos e industriais.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 EXPERIMENTOS DIALELO EM SOJA

Uma estratégia amplamente utilizada para escolha de genitores no melhoramento de espécies autógamas é a de cruzamentos dialélicos proposta por Griffing (1956). Este autor propôs quatro métodos de análise dialélica, sendo: I – Inclusão dos genitores, híbridos F_1 's e recíprocos (p_2); II – Sem a utilização dos híbridos F_1 recíprocos ($p(p+1)/2$); III – As combinações híbridas sem os genitores ($p(p-1)$) e IV – Os híbridos F_1 sem a utilização dos genitores e dos híbridos F_1 recíprocos ($p(p-1)/2$).

Por meio dos cruzamentos dialélicos, estimam-se as capacidades geral (CGC) e específica (CEC) de combinação. Sprague e Tatum (1942) definiram CGC como o comportamento médio de uma linhagem genitora através de uma série de combinações híbridas, sendo este comportamento resultado do efeito gênico aditivo dos alelos. Já a CEC pode ser definida como o vigor de um cruzamento em relação ao esperado pela estimativa de CGC dos genitores utilizados na hibridação.

Segundo Krause *et al.* (2012), a baixa estimativa de CGC, positiva ou negativa, indica que o genitor não difere muito da média geral da população dialélica. Porém, altos valores de CGC, positivos ou negativos, sugerem que o genitor em questão é muito superior ou inferior aos demais genitores do dialelo, com relação ao desempenho médio das progênies. Sendo assim, valores superiores de capacidades de combinação são esperados para genótipos cujas frequências de alelos favoráveis são elevadas.

A capacidade específica de combinação (CEC) é interpretada como um efeito na expressão do híbrido que é adicional aos efeitos de CGC dos pais, podendo ser positivo ou negativo. A CEC resulta da interação dos efeitos de CGC dos pais e pode melhorar ou piorar a expressão do híbrido em relação ao efeito esperado com base somente na CGC (HALLAUER *et al.*, 2010).

Os efeitos da CEC, estimados como desvio do comportamento em relação ao que seria esperado com base na CGC, são medidas dos efeitos gênicos não aditivos, são desejáveis aquelas combinações híbridas com estimativas de CEC mais

favorável, que envolvam pelo menos um dos genitores que tenha apresentado o mais favorável efeito de CGC (BORDALLO *et al.*, 2005).

Ao determinar a capacidade combinatória de três genótipos de soja, com o propósito de identificar genitores e combinações promissoras a um programa de melhoramento genético de soja no Estado de São Paulo, Zorzetto *et al.*, (2009) analisaram maior contribuição de efeitos aditivos na expressão dos atributos número de vagens e massa de grãos.

2.2 CARACTERES NUTRICIONAIS EM SOJA

Com o aumento das tecnologias e estudo em relação as exigências nutricionais das culturas, podemos posicionar da melhor maneira os insumos agrícolas, possibilitando assim o incremento da produtividade agrícola (GONÇALVES JUNIOR *et al.*, 2010). A quantidade de fósforo requerida pela cultura da soja, quando em níveis a baixo do necessário requerido, pode ocasionar queda na produtividade devido a redução do porte da planta, na altura das primeiras vagens e números de flores (VALADÃO JUNIOR *et al.*, 2008).

Outro nutriente muito importante é o potássio, que tem importância na ativação de enzimas, sendo importante em processos fisiológicos vital para o crescimento das plantas (ZORB *et al.*, 2014). A importância do cálcio está relacionada no processo de divisão celular e quando em falta pode causar morte gradual dos ápices (MASCARENHAS, 2013). O magnésio apresenta seus sintomas de deficiência nas folhas mais velhas, é o átomo principal da molécula de clorofila, além de ser ativador enzimático, já no enxofre a deficiência ocorre nas folhas novas, tem participação na síntese de proteínas (SFREDO; BORKERT, 2004).

Os sintomas de deficiência de cobre estão relacionados a morte apical e internódios curtos, já o ferro apresenta clorose internerval, reduzindo a taxa fotossintética (MASCARENHAS, 2013). Devido a deficiência de Mn, as folhas mais novas das plantas apresentam clorose internerval, pois há redução na síntese de clorofila resultando em diminuição no porte e acúmulo de carboidratos (MARSCHNER, 2012). O nutriente zinco tem função importante no metabolismo das plantas na ativação do sistema enzimático (MASCARENHAS *et al.*, 2014).

2.3 CARACTERES AGRONÔMICOS EM SOJA

Ao avaliar as estimativas de parâmetros genéticos, correlações e índices de seleção para seis caracteres agronômicos em linhagens F₈ de soja, Leite *et al.* (2016) verificaram que o número de nós e vagens apresentaram altas correlações genotípicas e fenotípicas positivas com produtividade de grãos. Analisando o número de vagens por planta, Alcântara Neto *et al.* (2011) observaram que foi o caráter que apresentou maior influência em relação a produtividade da soja, devido ao efeito direto sobre a produção de matéria seca e total de grãos por hectare.

Ao avaliarem análise de trilha entre caracteres primários número de vagens por planta, NGV e PCG sobre a produtividade de grãos em noventa genótipos de soja cultivados em duas épocas de semeadura, Nogueira *et al.* (2012) observaram uma situação mais favorável à seleção indireta para genótipos mais produtivos, relacionando-se com o caráter de número total de vagens. Em análises de trilha entre componentes de produção de soja, Silva *et al.* (2015) observaram que o número de sementes por planta foi o componente que teve efeito direto sobre o rendimento de grãos, e o efeito do número de vagens por planta na produtividade foi baseado no efeito indireto do número de sementes por plantas.

Ao avaliar a dissimilaridade genética e análise de trilha de cultivares de soja avaliada por meio de descritores quantitativos Rigon *et al.* (2012) encontraram correlação direta entre este caráter e o rendimento de grãos, relatando que é possível obter ganhos de produtividade ao utilizar a massa de 100 grãos por meio da seleção indireta. Avaliando o desempenho agronômico de 24 genótipos de soja, Hamawaki *et al.* (2010) obtiveram média de altura da planta na floração de 86,8 cm. De acordo com Almeida *et al.* (2011) ao avaliarem o desempenho agronômico de linhagens e cultivares de soja, é necessário um período de 45 a 58 dias até a floração para proporcionar rendimentos de grãos favoráveis. Segundo Leite *et al.* (2016) avaliaram que os caracteres nós e número de vagens tendem a apresentar altas correlações genotípicas e fenotípicas positivas com a produtividade de grãos.

2.4 CARACTERES INDUSTRIAIS EM SOJA

A cultura da soja tem ganhado cada vez mais relevância na indústria, devido ao seu elevado teor de óleo e proteína nos grãos (SEDIYAMA *et al.*, 2015). Por exemplo o óleo é a principal matéria-prima para a produção de biodiesel, representando 70% de toda a produção no Brasil (COSTA; PEREIRA, 2020). Da mesma forma a proteína é utilizada para alimentação humana e rações de alto valor nutritivo através do farelo (FARIA *et al.*, 2018).

As cultivares de soja contêm teores de óleo entre 15 e 25%, proteínas entre 30 e 45% (SOUZA, 2009), 5% de fibras e 6% de cinzas (KROBER *et al.*, 1962). De acordo com Finoto *et al.* (2017), há correlação negativa entre os teores de óleo e proteína.

Outra associação negativa está relacionada ao teor de proteína e a produtividade de grãos (RODRIGUES *et al.*, 2010), isso já não acontece com o teor de óleo, que possui associação positiva com a produtividade (BONATO *et al.*, 2000). Moraes *et al.* (2006) ao avaliarem caracterização bioquímica de linhagens de soja com alto teor de proteína, observaram que conforme aumenta o teor de proteína nas linhagens de soja, ocorre a redução no teor de óleo e no teor de carboidrato totais.

REFERÊNCIAS

- ALCANTARA NETO, F.; GRAVINA, G. A.; MONTEIRO, M. M. S.; MORAIS, F. B.; PETTER, F. A.; ALBUQUERQUE, J. A. A. Análise de trilha do rendimento de grãos de soja na microrregião do Alto Médio Gurguéia. **Comunicata Scientiae**, Bom Jesus, v. 2, p. 07-112, 2011.
- ALMEIDA, R. D.; PELÚZIO, J. M.; AFFÉRI, F. S. Divergência genética entre cultivares de soja, sob condições de várzea irrigada, no sul do Estado Tocantins. **Revista Ciência Agronômica**, Jaboticabal, v. 42, n. 1, p. 108-115, 2011.
- BONATO, E. R.; BERTAGNOLLI, P. F.; LANGE, C. E.; RUBIN, S. de A. L. Teor de óleo e de proteína em genótipos de soja desenvolvidos após 1990. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 35, p. 2391-2398, 2000.
- BORDALLO, P. N.; PEREIRA, M. G.; AMARAL JÚNIOR, A. T.; GABRIEL, A. P. C. Análise dialélica de genótipos de milho doce e comum para caracteres agronômicos e proteína total. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 23, n. 1, p. 123-127, 2005.
- COLOMBO, G. A.; CARVALHO, E. V.; DARONCH, D. J.; PELUZIO, J. M. Capacidade combinatória de genótipos de soja sob condições de Cerrado de baixa latitude. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, v. 61, p. 1-9, 2018.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos: safra 2022/23**. Brasília, DF: CONAB, 2023. (Sétimo levantamento).
- COSTA, A. S. V.; PEREIRA, C. A. F. Análise técnico-social da produção de biodiesel no Brasil e no desenvolvimento agrícola do norte de Minas Gerais. **Desenvolvimento Regional em Debate**, [s. l.], v. 10, p. 789-809, 2020.
- CRUZ, C. D.; FERREIRA, F. M.; PESSONI, L. A. **Biometria aplicada ao estudo da diversidade genética**. Visconde do Rio Branco: Suprema, 2011. v. 1. 620 p.
- CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. **Métodos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 4. ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2012. 512 p.
- FARIA, L. A.; PELUZIO, J. M.; SANTOS, W. F.; SOUZA, C. M.; COLOMBO, G. A.; AFFÉRI, F. S. Oil and protein content in the grain of soybean cultivars at different sowing seasons. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, [s. l.], v. 13, n. 2, 2018.
- FINOTO, E. L.; SEDIYAMA, T.; ALBUQUERQUE, J. A. A.; SOARES, M. B. B.; GALLI, J. A.; JUNIOR, P. S. C.; MENEZES, P. H. S. Antecipação e retardamento de colheita nos teores de óleo e proteína das sementes de soja, Cultivar Valiosa RR. **Scientia Agropecuaria**, [s. l.], v. 8, n. 2, 2017.
- FRIEDRICH, M. R.; BURTON, J. W.; BROWNIE, C. Heterosis and Genetic Variance in Soybean Recombinant Inbred Line Populations. **Crop Science**, Madison, v. 5, n. 6, p. 2072-2079, 2016.

GONÇALVES JÚNIOR, A. C.; NACKE, H.; MARENGONI, N. C.; CARVALHO, E. A.; COELHO, G. F. Produtividade e componentes de produção da soja adubada com diferentes doses de fósforo, potássio e zinco. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, MG, v. 34, n. 3, 2010.

GRIFFING, B. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. **Australian Journal of Biological Sciences**, Melbourne, v. 9, p. 463-493, 1956.

HALLAUER, A. R.; CARENA, J. M.; MIRANDA FILHO, J. B. de. **Quantitative genetics in maize breeding**. New York: Springer, 2010. 500 p.

HAMAWAKI, O. T.; SOUSA, L. B.; REZENDE, D. F.; HAMAWAKI, C. D. L. Yield and agronomic characteristics of soybean breeding lines in Minas Gerais State, Brazil. **Comunicata Scientiae**, Bom Jesus, v. 1, n. 1, p. 4347, 2010.

KRAUSE, W.; RODRIGUES, R.; LEAL, N.R. Capacidade combinatória para características agronômicas em feijão-de-vagem. **Revista Ciência Agronômica**, Jaboticabal, v. 43, n. 3, p. 522-531, 2012.

KROBER, O. A; CARTER, J. C. Quantitative interrelations of protein and nonprotein constituents of soybean. **Crop Science**, Madison, v. 2, p. 171-172, 1962.

LEITE, W. S.; PAVAN, B. E.; MATOS FILHO, C. H. A.; DE ALCANTARA NETO, F.; OLIVEIRA, C. B.; FEITOSA, F. S. Estimativas de parâmetros genéticos, correlações e índices de seleção para seis caracteres agronômicos em linhagens F8 de soja. **Comunicata Scientiae**, Bom Jesus, v. 7, n. 3, p. 302-310, 2016.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 3 ed. London: Academic, 2012. 651 p.

MASCARENHAS, H. A. A.; ESTEVES, J. A. S; WUTKE, E. B.; GALLO, P. B. Micronutrientes em soja no estado de São Paulo. **Nucleus**, Ituverava, v. 11, n. 1, p. 323-342, 2014.

MASCARENHAS, H. A. A.; ESTEVES, J. A. F.; WUTKE, E. B.; RECO, P. C.; LEÃO, P. D. L. Deficiência e toxicidade visuais de nutrientes em soja. **Nucleus**, Ituverava, v. 10, n. 2, p. 281-306, 2013.

MORAES, R. M. A.; JOSÉ, I. C.; RAMOS, F. G.; BARROS, E. G.; MOREIRA, M. A. Caracterização bioquímica de linhagens de soja com alto teor de proteína. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 41, n. 5, 2006.

NOGUEIRA, A. P. O.; SEDIYAMA, T. SOUSA, L. B.; HMAWAKI, O. T.; CRUZ, C. D.; PEREIRA, D. G.; MATSUO, E. Análise de trilha e correlações entre caracteres em soja cultivada em duas épocas de semeadura. **Bioscience Journal**, Darmstadt, v. 28, n. 6, p. 877-888, 2012.

RIGON, J. P. G.; CAPUANI, S.; DE BRITO NETO, J. F.; DA ROSA, G. M.; WASTOWSKI, A. D.; RIGON, C. A. G. Dissimilaridade genética e análise de trilha de cultivares de soja avaliada por meio de descritores quantitativos. **Ceres**, Viçosa, MG, v. 59, n. 2, p. 233-240, 2012.

ROCHA, F.; STINGHEN, J. C.; GEMELI, M. S.; COIMBRA, J. F. L. M.; GUIDOLIN, A. F. Análise dialética como ferramenta na seleção de genitores em feijão. **Revista Ciência Agronômica**, Jaboticabal, v. 45, n. 1, p. 74-81, 2014.

RODRIGUES, J. I. S.; MIRANDA, F. D.; FERREIRA, A.; BORGES, L. L.; FERREIRA, M. F. S.; GOOD-GOOD, P. I. V.; PIOVESAN, N. D.; BARROS, E. G.; CRUZ, C. D.; MOREIRA, M. A. Mapeamento de QTL para conteúdo de proteína e óleo em soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 45, n. 5, 2010.

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

SFREDO, G. J.; BORKERT, C. M. **Deficiências e toxicidades de nutrientes em plantas de soja**. Londrina: Embrapa, 2004. 44 p. (Documentos, n. 231).

SILVA, A. F.; SEDIYAMA, T.; SILVA, F. C. S.; BEZERRA, A. R. G.; FERREIRA, L. V. Correlation and path analysis of soybean components. **International Journal of Plant, Animal and Environmental Sciences**, v. 5, n. 1, p. 177-179, 2015.

SOUZA, L. C. F.; ZANON, G. D.; PEDROSO, F. F.; ANDRADE, L. H. L. Teor de proteína e de óleo nos grãos de soja em função do tratamento de sementes e aplicação de micronutrientes. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, MG, v. 33, n. 6, 2009.

SPRAGUE, G. F.; TATUM, L. A. General and specific combining ability in single crosses of corn. **Journal of American Society of Agronomy**, Madison, v. 34, n. 10, p. 923-932, 1942.

VALADÃO JUNIOR, D.; BERGAMIN, A. C.; VENTUROSU, L. R.; SCHRINDWEIN, J. A.; CARON, B. O.; SCHMIDT, D. Adubação fosfatada na cultura da soja em Rondônia. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 9, n. 3, p. 369-375, 2008.

VASCONCELOS, E. S.; REIS, M. S.; SEDIYAMA, T.; CRUZ, C. D. Grains productivity, adaptability and stability of earlier and medium cycles of soybean genotypes. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 36, n. 3, p. 1203-1214, 2015.

ZORB, C.; SENBAYRAM, M.; PEITER, E. Potassium in agriculture-status and perspectives. **Journal of Plant Physiology**, v. 171, p. 656-669, 2014.

ZORZETTO, M. M.; MOTTA, F. C.; DE MORAIS, L. K.; KIIHL, T. A. M.; SILVA, R. M. Análise dialética da capacidade combinatória em soja. **Revista Biociências**, v. 14, n. 2, p. 45-52, 2009.

3 CAPÍTULO 1 - ENTENDENDO A HERANÇA DE CARACTERES NUTRICIONAIS, AGRONÔMICOS E INDUSTRIAIS EM SOJA

RESUMO

A soja é uma das principais oleaginosas no mundo, e para evitar o desenvolvimento de populações pouco promissoras, a seleção de genitores para cruzamentos é uma das etapas mais importantes nos programas de melhoramento genético. Diante disto, objetivou-se estimar a capacidade combinatória de cultivares de soja com base na geração F_2 , de uma população obtida do cruzamento entre oito genitores em esquema dialélico, visando identificar genitores e populações segregantes superiores para caracteres agronômicos, nutricionais e industriais. A condução do experimento foi realizada em dois locais: Aquidauana/MS e Chapadão do Sul/MS. O delineamento experimental foi realizado em blocos casualizados com duas repetições, oito genitores e 28 populações F_2 de soja. Foram avaliados os teores nutricionais de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn). Os caracteres agronômicos avaliados foram: dias para maturação (DM) e produtividade (PROD) de grãos, enquanto os caracteres industriais avaliados foram: teores de proteína (TP), óleo (TO), fibras (TF) e cinzas (TC) nas populações. Foram estimadas as capacidades geral de combinação para cada genitor e a específica de combinação para cada população segregante. O genitor G3 e as populações segregantes P20 e P27 podem ser utilizados visando obter maior eficiência nutricional. A população segregante P11 e P26 apresentam maior potencial para precocidade e produtividade. O genitor G5 e população segregante P24 se destacaram por obter maior eficiência em caracteres industriais.

Palavras-chave: *Glycine max*; Hibridação; variabilidade genética, produtividade de grãos.

ABSTRACT

Soybean is one of the main oilseeds in the world, and to avoid the development of unpromising populations, the selection of parents for crosses is one of the most important steps in genetic breeding programs of soybeans. Thus, the aim of work was to identify parents and superior segregating populations based on the F_2 generation

for agronomic, nutritional and industrial traits. The experiment was conducted in two places: Aquidauna/MS and Chapadão do Sul/MS. The experimental design was in randomized blocks with two replications, eight parents and 28 soybean F₂ populations. The nutritional contents of phosphorus (P), potassium (K), calcium (Ca), magnesium (Mg), sulfur (S), copper (Cu), iron (Fe), manganese (Mn) and zinc (Zn) were evaluated. The agronomic traits evaluated were: days to maturity (DM) and grain yield (PROD), while the industrial traits evaluated were: protein (TP), oil (TO), fiber (TF) and ash (TC) content in the populations. The general combining abilities for each parent and the specific combining ability for each segregating population were estimated. The parent G3 and the segregating populations P20 and P27 can be used to obtain greater nutritional efficiency. The segregating population P11 and P26 have greater potential for precocity and productivity. The parent G5 and segregating population P24 stood out for obtaining greater efficiency in industrial traits.

Keywords: *Glycine max*; hybridization; genetic variability; grain yield.

3.1 INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* L.) é uma das culturas mais importantes do mundo devido aos elevados teores de proteína, óleo e alto rendimento de grãos, na safra 2022/2023 o Brasil tem estimativa de produção 153,6 milhões de toneladas em 43,6 milhões de hectares (CONAB, 2023). Os programas de melhoramento de soja têm grande relevância para os sojicultores visando o aumento de produtividade, para que possam obter maiores lucros (VASCONCELOS *et al.*, 2015). Ao obterem genótipos adaptados as condições edafoclimáticas da região pode condicionar incrementos compensatórios (COLOMBO *et al.*, 2018).

Desse modo a variabilidade genética é muito importante, pois é responsável por viabilizar o emprego de técnicas que possibilitam a identificação de genótipos superiores (ROCHA *et al.*, 2014). A análise dialélica fornece estimativas de parâmetros que são uteis a seleção de genitores para hibridação e ao entendimento da ação dos genes envolvidos na determinação dos caracteres (CRUZ *et al.*, 2012). Os cruzamentos dialélicos permitem estimar a capacidade geral de combinação

(CGC), que indica os genes predominantemente aditivo e a capacidade específica de combinação (CEC), que demonstra os genes não aditivos (ROCHA *et al.*, 2019).

Ao iniciar a análise dialélica através geração F₁ encontra-se dificuldade devido à baixa disponibilidade de sementes presentes dificultando a avaliação de características como rendimento, que exigem grandes parcelas experimentais cultivadas em outras localidades, uma alternativa é a utilização da geração F₂ (FRIEDRICHS *et al.*, 2016).

Para a escolha dos genitores a diversidade e comportamentos *per se* são muito importantes pois permitem planejar cruzamentos entre genitores ou grupo de genitores que proporcionam em sua progênie um elevado efeito heterótico, possibilitando a obtenção de populações com ampla variedade (CRUZ *et al.*, 2011).

A CGC foi definida por Sprague e Tatum (1942), através de sistemas de cruzamentos dialélicos, como o comportamento médio de uma linhagem genitora através de uma série de combinações híbridas, sendo este comportamento resultado ao efeito gênico aditivo dos alelos. Estes autores definiram a CEC como o vigor de um cruzamento em relação ao esperado pela estimativa de CGC dos genitores utilizados na hibridação, sendo determinado através dos efeitos gênicos de dominância (completa ou parcial).

A CEC é interpretada como um efeito na expressão do híbrido que é adicional aos efeitos de CGC dos pais, podendo ser positivo ou negativo, a CEC resulta da interação dos efeitos de CGC dos pais e pode melhorar ou piorar a expressão do híbrido em relação ao efeito esperado com base somente na CGC (HALLAUER *et al.*, 2010). Os efeitos da CEC, estimados como desvio do comportamento em relação ao que seria esperado com base na CGC, são medidas dos efeitos gênicos não aditivos, são desejáveis aquelas combinações híbridas com estimativas de CEC mais favorável, que envolvam pelo menos um dos genitores que tenha apresentado o mais favorável efeito de CGC (BORDALLO *et al.*, 2005).

Os experimentos em dialelo conduzidos para formar populações segregantes em soja em sua maioria avaliam caracteres agrônômicos (altura da planta, ciclo, produtividade de grãos, entre outros). São escassas pesquisas que buscam entender a herança desses caracteres em conjunto com caracteres nutricionais (teores de macro e micronutrientes) e industriais (teores de proteína e óleo).

A hipótese dessa pesquisa é que exista variabilidade genética entre genitores e populações segregantes de soja para caracteres nutricionais, agronômicos e industriais em soja. Os objetivos foram: (i) selecionar genitores e populações segregantes para caracteres nutricionais, agronômicos e industriais em soja e (ii) entender a relação entre esses caracteres.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1 Obtenção das progênes na geração F₁

A obtenção dos híbridos foi realizada em casa de vegetação, conforme Tabela 1. A divergência quanto ao grupo de maturidade relativa (GMR) foi considerada como critério de seleção dos genitores. A partir das cultivares foram obtidos 28 cruzamentos F₁ conforme descrito na Tabela 2.

Tabela 1 - Características das cultivares de soja utilizadas como genitores.

Cultivar	Código	GM	Cor da flor	Características
Compacta	G1	6.5	Roxa	Alto potencial produtivo. Porte controlado com resistência ao acamamento. Alto potencial de ramificação.
Lança	G2	5.8	Branca	Alto potencial produtivo. Adaptação a regiões de maior altitude. Porte controlado com resistência ao acamamento. Alto potencial de ramificação.
Zeus	G3	5.5	Branca	Alto potencial produtivo. Precocidade. Adaptação a regiões de maior altitude. Porte controlado com resistência ao acamamento.
M6410	G4	6.4	Roxa	Alta performance em diferentes ambientes. Ampla janela de semeadura. Excelente engalhamento e compensação de plantas.
NS6909	G5	6.3	Roxa	Alto potencial e resposta produtiva nos ambientes de alta fertilidade. Potencial de antecipar plantio de segunda safra.
TMG7061	G6	6.1	Roxa	Alto teto produtivo. Precocidade. Permite o plantio de segunda safra.
TMG7062	G7	6.9	Branca	Alta precocidade. Alto peso de grãos.
TMG7063	G8	7.0	Branca	Alta precocidade. Alto peso de grãos.

Nota: GM: Grupo de Maturação.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Tabela 2 - Relação das 28 populações F₁ de soja obtidas.

Código da população	Genitor masculino	Genitor feminino
P1	Compacta	Lança
P2	Compacta	Zeus
P3	Compacta	M6410
P4	Compacta	NS6909
P5	Compacta	TMG7061
P6	Compacta	TMG7062
P7	Compacta	TMG7063
P8	Lança	Zeus
P9	Lança	M6410
P10	Lança	NS6909
P11	Lança	TMG7061
P12	Lança	TMG7062
P13	Lança	TMG7063
P14	Zeus	M6410
P15	Zeus	NS6909
P16	Zeus	TMG7061
P17	Zeus	TMG7062
P18	Zeus	TMG7063
P19	M6410	NS6909
P20	M6410	TMG7061
P21	M6410	TMG7062
P22	M6410	TMG7063
P23	NS6909	TMG7061
P24	NS6909	TMG7062
P25	NS6909	TMG7063
P26	TMG7061	TMG7062
P27	TMG7061	TMG7063
P28	TMG7062	TMG7063

Fonte: Elaboração do próprio autor.

3.2.2 Obtenção das progênies na geração F₂

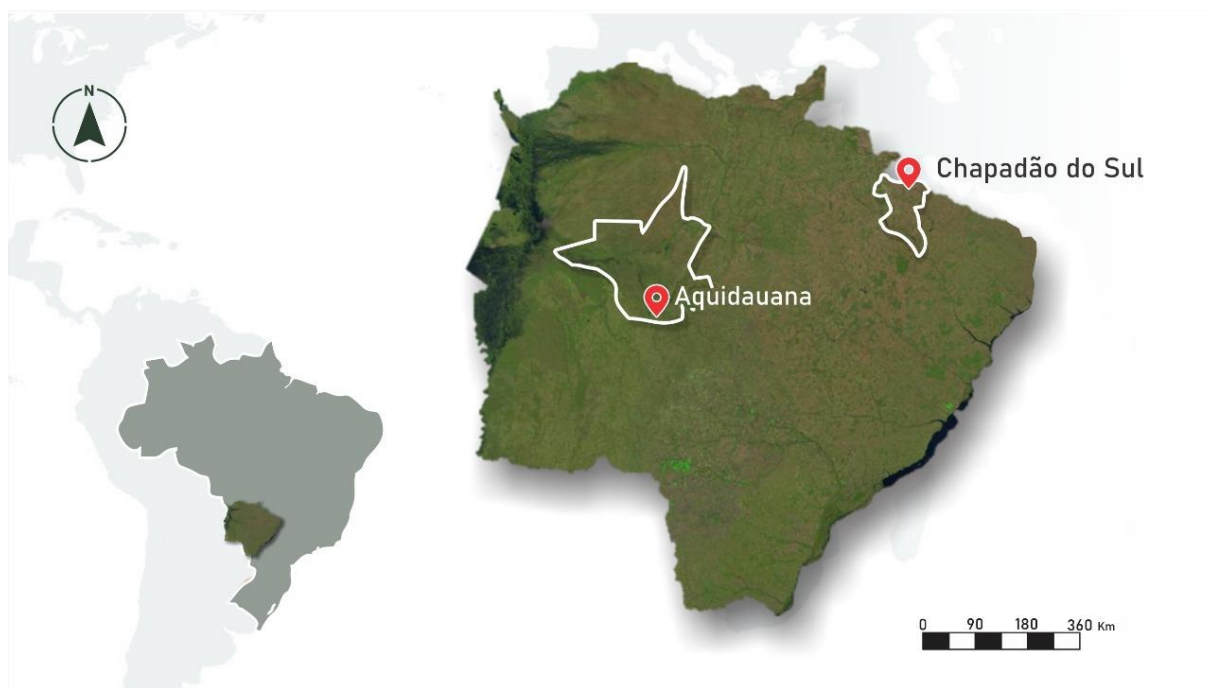
A condução dos híbridos F₁ foi realizada em casa de vegetação. Os híbridos foram semeados em vaso plástico de 3 L, foi mantida uma planta por vaso após identificação das plantas híbridas caracterizadas pela cor roxa do hipocótilo. O controle de pragas e doenças foi realizado conforme recomendações técnicas para a cultura.

3.2.3 Condução das progênes na geração F₂

A condução das populações F₂ foi realizada em dois locais: Aquidauana e Chapadão do Sul (Figura 1). No primeiro local, o ensaio foi instalado na Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Unidade Universitária de Aquidauana (20°27'S, 55°48'W e altitude média de 120 m). O clima da região, segundo a classificação de Köppen-Geiger, é do tipo Aw (Tropical de Savana) com precipitação de média anual de 1.250 mm e temperaturas média de 26° C.

No segundo local, o experimento foi realizado no campo experimental da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campus de Chapadão do Sul (18°46'S, 52°37'W e altitude média de 810 m). O clima da região é classificado como AW com precipitação anual média de 1.850 mm e temperatura anual média de 20,5°C, com máximas diárias de 36,2°C durante o verão e mínimas de 3,0°C no inverno.

Figura 1 - Localização dos experimentos no Estado de Mato Grosso do Sul.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Em Aquidauana, o solo da área experimental foi classificado como Argissolo Vermelho Distrófico de textura arenosa (EMBRAPA, 2018), com as seguintes propriedades químicas: pH (CaCl₂) = 6,2; matéria orgânica = 19,7 (g dm⁻³); P = 67,5 (mg dm⁻³); H + Al = 3,2; K = 32,0 (mg dm⁻³); Ca = 3,30 (cmol_c dm⁻³); Mg = 2,10 (cmol_c

dm^{-3}); capacidade de troca catiônica (CTC) = 5,1 ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$); saturação de bases (V) = 45.0%.

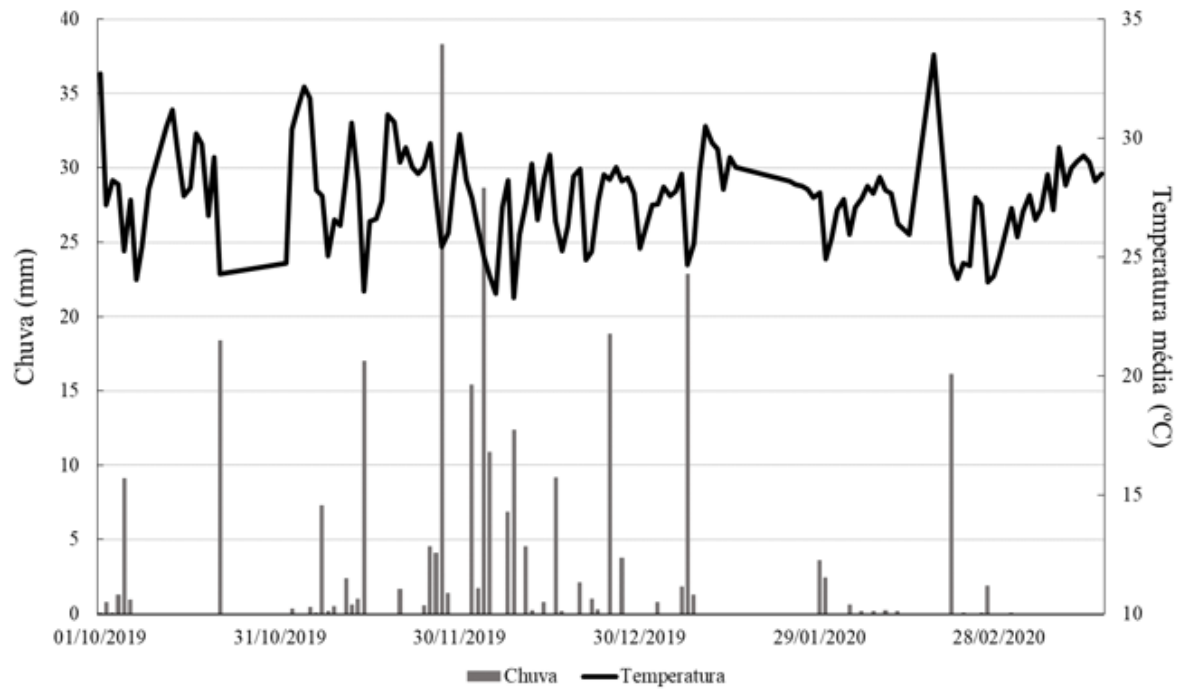
O solo da área experimental de Chapadão do Sul foi identificado como Latossolo Vermelho Distrófico (EMBRAPA, 2018), e apresenta as seguintes propriedades químicas: pH (CaCl_2) = 4,8; matéria orgânica = 17,6 (g dm^{-3}); P = 5,0 (mg dm^{-3}); H + Al = 5,3; K = 69,0 (mg dm^{-3}); Ca = 1,6 ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$); Mg = 0,5 ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$); capacidade de troca catiônica (CTC) = 7,6 ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$); saturação de bases (V) = 30.0%. Três meses antes da semeadura foi realizada a saturação por bases do solo de ambas as áreas experimentais para elevar a saturação por bases para 60% por meio de uma calagem.

Para implantação do experimento em ambos os locais foi realizado preparo convencional do solo com uma aração e duas gradagens (com grade destorreadora e niveladora). A abertura e a adubação das linhas foram realizadas de forma mecanizada com uma semeadora de cinco linhas no espaçamento de 0,45 m entre linhas. A adubação de base utilizada foi 300 kg ha^{-1} 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 para 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* spp., sendo utilizada a dose de 200 mL de inoculante líquido concentrado para cada 100 kg de sementes.

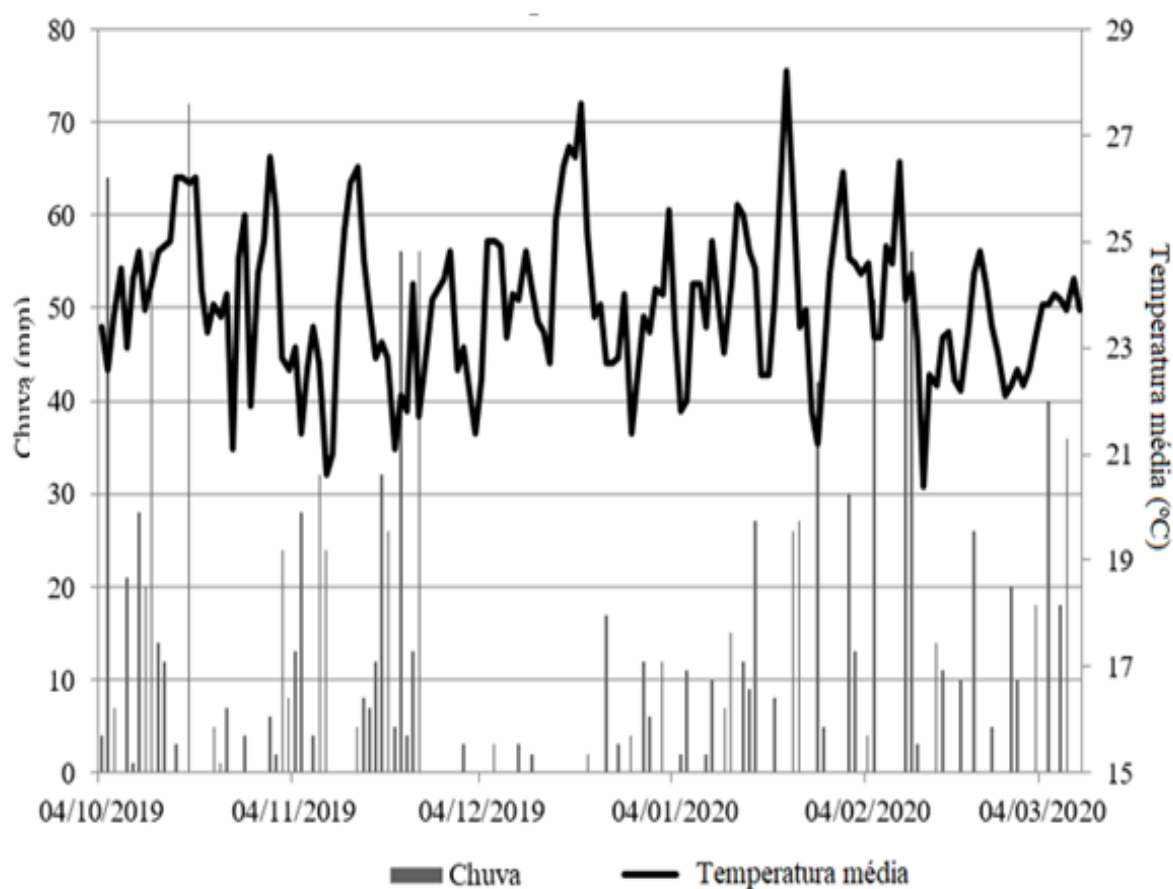
Os tratos culturais foram realizados de acordo com a necessidade da cultura. A Figura 2 e 3 mostra as condições meteorológicas no decorrer do experimento.

Figura 2 - Condições meteorológicas no decorrer da safra 2019/2020 no município de Aquidauana



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Figura 3 - Condições meteorológicas no decorrer da safra 2019/2020 no município de Chapadão do Sul



Fonte: Elaboração do próprio autor.

3.2.4 Delineamento experimental e tratamentos

Foi utilizado delineamento de blocos casualizados com duas repetições, oito genitores (Tabela 1) e 28 populações F₂ de soja (Tabela 2). As parcelas consistiram de uma linha com três metros de comprimento, com espaçamento de 0,45 m entre fileiras e densidade de 15 plantas por metro.

3.2.5 Caracteres avaliados na geração F₂

Aos 60 dias após a emergência (DAE), foram avaliados os teores nutricionais de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) de cada tratamento, seguindo a metodologia descrita em Silva (2009). Para realizar a análise nutricional, utilizou-se a terceira folha

totalmente desenvolvida do ápice da planta, considerada diagnóstica para análise nutricional da soja, onde ocorre a maioria dos processos metabólicos responsáveis pela aquisição de energia. Foram coletadas 25 folhas com pecíolos em cada unidade experimental. Os teores nutricionais dos macronutrientes foram expressos em g kg⁻¹, enquanto os de micronutrientes em mg kg⁻¹.

Os caracteres agronômicos avaliados foram: dias para maturação (DM) e produtividade de grãos (PROD, kg ha⁻¹). O DM correspondeu aos dias entre emergência e maturação de mais de 50% de plantas em cada unidade experimental. A PROD foi avaliada pela colheita de dois metros centrais de cada parcela e correção para 13% de umidade.

Para determinar os teores de proteína (TP), óleo (TO), fibras (TF) e cinzas (TC) nas populações F₂ de soja, foi utilizada espectroscopia de infravermelho próximo (NIRS) (Metrohm, espectrômetro DS2500, Herisau, Suíça) com alta precisão óptica. As amostras de grãos foram homogeneizadas e colocadas em uma cápsula de amostragem. A análise foi baseada na iluminação de uma amostra com radiação de um comprimento de onda específico na região de infravermelho próximo e posterior mensuração da diferença entre a quantidade de energia emitida pelo espectroscópio e refletida pela amostra para o detector (AOAC, 2000). Esta diferença foi medida em várias faixas, criando um espectro para cada amostra. O resultado obtido foi comparado com um conjunto de calibração e expressos em porcentagem.

3.2.6 Análises estatísticas

Inicialmente, foi realizada análise de variância conjunta de acordo com o modelo estatístico descrito a seguir, conforme Equação 1:

$$Y_{ijk} = \mu + B/A_{jk} + G_i + A_j + G \times A_{ij} + e_{ijk} \quad (1)$$

em que: Y_{ijk} é a observação no k-ésimo bloco, avaliada no i-ésimo genótipo e j-ésimo ambiente; μ é a média geral dos experimentos; B/A_{jk} é o efeito do bloco k dentro do ambiente j; G_i é o efeito do i-ésimo genótipo considerado como fixo; A_j é o efeito do j-ésimo ambiente considerado como aleatório; $G \times A_{ij}$ é o efeito aleatório da interação entre o genótipo i e o ambiente j; e_{ijk} é o erro aleatório associado à observação Y_{ijk} .

Posteriormente, foi realizado o desdobramento do efeito de genótipos e da interação G x A em cada local de acordo com a estrutura do dialelo. Foi adotado o

modelo proposto pelo método 2 de Griffing (1956) para estimar a capacidade geral e específica, de acordo com a Equação 2:

$$Y_{ij} = m + g_i + g_j + s_{ij} + \bar{\varepsilon}_{ij} \quad (2)$$

em que: Y_{ij} é o valor médio da combinação híbrida ou progenitor; m é a média geral; g_i , g_j são os efeitos da capacidade geral de combinação do i -ésimo e j -ésimo progenitor ($i, j=1, 2, \dots, p$), respectivamente; s_{ij} é o efeito da capacidade específica de combinação para os cruzamentos entre os progenitores de ordem i e j , onde apenas os efeitos das populações F_2 foram apresentados no trabalho; $\bar{\varepsilon}_{ij}$ é o erro experimental médio associado à observação ij .

Posteriormente, foi realizado agrupamento de médias (gerais ao longo dos ambientes) dos 36 genótipos (28 populações F_2 e oito genitores usados como testemunha) pelo procedimento de Scott e Knott. Todas as análises serão realizadas com o software Genes (CRUZ, 2013), seguindo os procedimentos recomendados em Cruz *et al.* (2012).

3.3 RESULTADOS

3.3.1 Análise de variância conjunta e agrupamento de médias para caracteres nutricionais

Houve efeito significativo de genótipos (p -valor $< 0,05$) para os teores nutricionais de P e Mg (Tabela 3). O efeito de CGC foi significativo apenas para o teor de Mg, enquanto o efeito de CEC foi significativo para o teor de P e Mg. Os efeitos de ambientes (A) foram significativos para todos os teores nutricionais, com exceção do teor de K e Cu. A interação genótipos x ambientes (G x A) e a interação CEC x A foram significativas para todos os teores nutricionais, exceto o P. A interação CGC x A foi significativa para Ca, Fe, Mn e Zn.

Tabela 3 - Análise de variância conjunta com as fontes de variação (FV) e seus respectivos graus de liberdade (GL) e p-valores para os teores nutricionais de P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn e Zn avaliados em amostras de folhas de genitores e populações segregantes F₂ de soja em Aquidauana e Chapadão do Sul.

FV	GL	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Fe	Mn	Zn
Genótipos (G)	35	0,02	0,45	0,09	0,01	1,00	0,06	1,00	1,00	0,29
CGC	7	0,09	1,00	0,18	0,03	0,07	0,15	1,00	1,00	0,10
CEC	28	0,04	0,41	0,20	0,03	1,00	0,09	0,42	1,00	1,00
Ambientes (A)	1	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,09	0,00	0,00	0,00
G x A	35	1,00	0,02	0,00	0,00	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00
CGC x A	7	1,00	0,06	0,00	0,18	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00
CEC x A	28	1,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Média		2,98	15,94	8,50	3,75	2,40	11,38	159,30	53,99	49,13
CV (%)		12,26	12,92	14,76	9,03	11,94	18,20	13,44	8,22	9,84

Nota: ^{ns}: não significativo e *: significativo a 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente. CGC: capacidade geral de combinação; CEC: capacidade específica de combinação.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

A Tabela 4 contém o agrupamento de médias entre os genótipos para os teores de macronutrientes avaliados. A população segregante P1 se destacou por apresentar as maiores médias dos teores de K, Ca, Mg e S em todos ambientes. As populações P4 e P5 se destacaram por obter as maiores médias de P, K, Ca e S em todos os ambientes. Com exceção do teor de Mg em Chapadão do Sul, a população P20 e o genitor G7 apresentaram as maiores médias para os macronutrientes avaliados.

Os agrupamentos de médias para os teores de micronutrientes avaliados estão inseridos na Tabela 5. A população segregante P7 se destacou por obter

maiores médias em Cu e Zn em Aquidauana e Fe, Mn e Zn em Chapadão do Sul. A população P21 se destacou por apresentar maior média de Cu e Mn em Aquidauana e Fe em Chapadão do Sul.

Tabela 4 - Agrupamento de médias para os teores nutricionais de macronutrientes (P, K, Ca, Mg e S), avaliados em genitores e populações segregantes F₂ de soja em Aquidauana (A1) e Chapadão do Sul (A2).

Genótipo	P (g kg ⁻¹)	K (g kg ⁻¹)		Ca (g kg ⁻¹)		Mg (g kg ⁻¹)		S (g kg ⁻¹)	
		A1	A2	A1	A2	A1	A2	A1	A2
G1	3,02 a	17,38 a	13,84 b	9,56 a	11,47 a	4,62 a	3,76 b	2,60 b	1,90 a
P1	2,87 b	16,45 a	18,12 a	8,45 a	12,37 a	4,35 b	4,61 a	3,11 a	1,81 a
P2	2,90 b	18,17 a	16,49 a	8,02 a	8,27 b	4,79 a	3,12 c	3,40 a	1,79 a
P3	2,52 b	17,84 a	16,89 a	7,76 a	7,81 b	4,08 b	2,83 d	2,79 b	1,74 a
P4	3,19 a	17,65 a	17,32 a	7,32 a	10,85 a	4,42 b	3,19 c	3,15 a	2,37 a
P5	3,27 a	16,88 a	16,99 a	7,05 a	10,70 a	3,90 c	3,22 c	3,33 a	2,10 a
P6	2,95 b	17,38 a	17,05 a	6,70 a	8,62 b	4,20 b	3,14 c	3,34 a	1,84 a
P7	2,97 b	17,43 a	11,61 b	8,00 a	12,46 a	4,40 b	4,04 b	3,18 a	2,18 a
G2	2,78 b	14,37 b	16,67 a	6,02 a	6,87 b	4,40 b	3,88 b	2,35 b	1,88 a
P8	2,89 b	17,27 a	15,86 a	9,77 a	10,99 a	4,49 b	2,77 d	2,59 b	1,73 a
P9	2,69 b	15,70 b	14,53 b	7,48 a	7,85 b	4,21 b	2,49 d	2,83 b	1,81 a
P10	2,91 b	17,29 a	17,60 a	7,50 a	9,38 b	4,26 b	3,27 c	3,38 a	1,72 a
P11	3,14 a	15,23 b	16,47 a	7,23 a	9,54 b	4,13 b	2,83 d	2,73 b	1,96 a
P12	2,99 b	13,22 b	19,04 a	5,30 a	9,30 b	3,43 c	3,00 c	2,37 b	2,12 a
P13	2,94 b	15,47 b	16,99 a	6,74 a	12,46 a	4,15 b	3,36 c	3,00 a	1,91 a
G3	2,97 b	18,15 a	18,08 a	7,63 a	8,80 b	4,76 a	3,75 b	2,94 a	1,82 a
P14	3,12 a	16,97 a	15,22 b	7,28 a	9,81 b	3,47 c	2,72 d	3,22 a	1,69 a
P15	2,89 b	15,59 b	17,14 a	7,10 a	11,03 a	4,17 b	2,72 d	2,92 b	1,79 a
P16	2,94 b	12,00 b	15,99 a	4,98 a	11,09 a	3,39 c	3,40 c	2,72 b	1,85 a
P17	2,90 b	15,56 b	14,54 b	8,05 a	9,66 b	4,49 b	4,19 b	2,79 b	2,18 a
P18	3,36 a	14,37 b	18,61 a	7,01 a	13,09 a	3,69 c	3,55 c	2,81 b	2,41 a
G4	2,92 b	13,53 b	13,05 b	6,12 a	3,70 d	3,22 c	2,39 d	2,73 b	1,79 a
P19	3,24 a	17,36 a	13,72 b	8,02 a	10,68 a	4,37 b	3,89 b	2,61 b	2,06 a
P20	3,13 a	19,15 a	17,73 a	8,33 a	9,68 b	4,88 a	3,49 c	3,11 a	1,65 a
P21	2,86 b	15,42 b	14,26 b	8,03 a	8,83 b	4,88 a	3,23 c	2,58 b	1,83 a
P22	2,97 b	12,45 b	16,12 a	5,71 a	8,34 b	3,42 c	3,36 c	2,81 b	2,31 a
G5	3,19 a	12,77 b	17,42 a	7,13 a	12,76 a	3,63 c	3,47 c	3,02 a	2,26 a
P23	2,82 b	13,43 b	11,74 b	8,15 a	11,28 a	4,13 b	3,90 b	2,56 b	1,95 a
P24	3,23 a	15,76 b	13,93 b	7,65 a	9,09 b	4,62 a	3,24 c	2,98 a	1,89 a
P25	2,92 b	15,76 b	16,06 a	8,23 a	8,49 b	3,29 c	2,25 d	2,85 b	1,98 a
G6	2,83 b	14,73 b	15,95 a	6,56 a	6,57 c	3,88 c	2,38 d	2,80 b	1,95 a
P26	2,92 b	12,89 b	17,49 a	7,34 a	6,23 c	2,90 c	3,40 c	2,56 b	1,92 a
P27	3,07 a	18,58 a	15,06 b	7,72 a	8,37 b	4,74 a	4,93 a	2,86 b	1,97 a
G7	3,36 a	21,83 a	17,01 a	7,95 a	10,69 a	5,55 a	3,45 c	3,26 a	1,60 a
P28	2,70 b	15,45 b	13,47 b	6,84 a	9,49 b	4,29 b	3,52 c	3,03 a	1,65 a
G8	2,94 b	17,43 a	12,63 b	7,15 a	9,83 b	4,35 b	3,02 c	3,26 a	1,72 a

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

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Tabela 5 - Agrupamento de médias para os teores nutricionais de micronutrientes (Cu, Fe, Mn e Zn), avaliados em genitores e populações segregantes F₂ de soja em Aquidauana (A1) e Chapadão do Sul (A2).

Genótipo	Cu (mg kg ⁻¹)		Fe (mg kg ⁻¹)		Mn (mg kg ⁻¹)		Zn (mg kg ⁻¹)	
	A1	A2	A1	A2	A1	A2	A1	A2
G1	13,00 a	16,00 b	330,50 c	112,50 a	74,00 c	32,50 b	54,50 b	49,00 b
P1	13,00 a	19,50 a	361,00 b	108,50 a	71,00 c	30,50 b	54,00 b	27,00 c
P2	12,00 a	20,50 a	133,00 e	106,50 a	79,00 b	27,00 b	71,00 a	36,00 c
P3	8,50 a	7,50 c	303,00 c	103,50 a	83,00 b	28,50 b	64,50 a	30,50 c
P4	11,50 a	10,00 c	122,00 e	115,50 a	78,50 b	39,50 a	74,00 a	40,50 b
P5	12,00 a	4,00 c	99,50 e	99,50 a	76,00 c	26,50 b	63,00 a	31,50 c
P6	10,00 a	6,50 c	190,00 d	94,50 a	69,00 c	27,50 b	67,00 a	29,50 c
P7	12,00 a	15,50 b	150,00 e	108,00 a	82,00 b	39,50 a	71,50 a	60,00 a
G2	10,00 a	3,50 c	163,00 e	106,50 a	72,50 c	28,50 b	64,50 a	37,00 c
P8	9,00 a	5,00 c	306,00 c	103,00 a	83,00 b	30,50 b	51,50 b	39,50 b
P9	14,00 a	12,50 b	125,50 e	97,50 a	74,00 c	35,00 a	57,50 b	44,50 b
P10	12,50 a	10,00 b	308,00 c	111,50 a	76,00 c	27,50 b	59,50 b	30,50 c
P11	10,00 a	9,50 c	131,00 e	103,00 a	80,00 b	29,50 b	61,50 b	30,50 c
P12	11,00 a	11,00 b	179,00 d	106,00 a	80,50 b	28,50 b	65,00 a	27,50 c
P13	11,50 a	11,50 b	143,50 e	109,50 a	80,00 b	33,00 b	70,00 a	32,00 c
G3	16,50 a	15,00 b	123,00 e	113,00 a	93,00 a	29,00 b	64,50 a	36,00 c
P14	11,50 a	10,00 c	130,00 e	108,50 a	75,00 c	33,00 b	64,00 a	44,50 b
P15	16,50 a	13,00 b	147,00 e	195,00 a	72,50 c	31,50 b	60,50 b	42,00 b
P16	11,00 a	15,50 b	119,00 e	110,50 a	81,50 b	39,50 a	68,00 a	26,50 c
P17	11,00 a	12,00 b	122,00 e	111,50 a	77,00 c	28,00 b	65,00 a	30,00 c
P18	10,50 a	6,00 c	137,00 e	107,00 a	75,50 c	31,00 b	52,50 b	33,00 c
G4	11,00 a	7,00 c	404,00 b	109,50 a	68,00 c	28,50 b	53,00 b	35,00 c
P19	16,00 a	14,00 b	102,50 e	105,00 a	86,00 b	30,00 b	62,00 b	29,50 c
P20	11,00 a	7,50 c	369,00 b	101,50 a	89,00 a	31,00 b	75,00 a	32,00 c
P21	14,00 a	13,50 b	655,50 a	102,50 a	92,50 a	29,00 b	50,50 b	36,00 c
P22	11,50 a	10,50 c	137,50 e	116,00 a	83,50 b	30,00 b	70,50 a	45,00 b
G5	11,00 a	3,50 c	114,50 e	100,00 a	68,50 c	31,50 b	51,50 b	25,50 c
P23	11,50 a	18,00 a	113,50 e	102,00 a	44,50 d	42,00 a	53,50 b	26,50 c
P24	12,00 a	12,00 b	116,50 e	96,00 a	70,50 c	29,50 b	61,00 b	33,00 c
P25	9,50 a	20,00 a	231,50 d	121,50 a	74,50 c	28,50 b	61,00 b	36,00 c
G6	10,00 a	12,50 b	134,50 e	116,00 a	72,50 c	30,50 b	54,50 b	42,00 b
P26	17,00 a	13,00 b	149,00 e	117,50 a	64,50 c	43,00 a	55,00 b	30,50 c
P27	10,50 a	6,00 c	229,50 d	124,50 a	76,50 c	32,00 b	59,00 b	56,50 a
G7	11,00 a	11,00 b	380,00 b	121,50 a	81,00 b	26,50 b	77,00 a	31,50 c
P28	11,50 a	3,00 c	107,50 e	103,00 a	69,00 c	35,00 a	66,50 a	33,00 c
G8	12,00 a	7,50 c	424,00 b	110,00 a	83,00 b	27,50 b	71,00 a	44,00 b

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

Fonte: Elaboração do próprio autor.

3.3.2 Análise de variância conjunta e agrupamento de médias para caracteres agronômicos

Houve efeito significativo de genótipos e capacidade específica de combinação (CEC) (p -valor $< 0,05$) para a produtividade de grãos (Tabela 6). Os efeitos de ambientes (A) foram significativos para DM e PROD. A interação genótipos x ambientes (G x A), a interação (CGC x A) e a interação (CEC x A), foram significativas para dias para maturação.

Tabela 6 - Análise de variância conjunta com as fontes de variação (FV) e seus respectivos graus de liberdade (GL) e p -valores para os caracteres agronômicos dias para maturação (DM) e produtividade de grãos (PROD, $t\ ha^{-1}$) avaliados em genitores e populações segregantes F_2 de soja em Aquidauana e Chapadão do Sul.

FV	GL	DM	PROD
Genótipos (G)	35	0,25	0,00
CGC	7	0,42	0,10
CEC	28	0,26	0,01
Ambientes (A)	1	0,00	0,00
G x A	35	0,00	1,00
CGC x A	7	0,00	1,00
CEC x A	28	0,00	1,00
Média		103,14	2843,39
CV (%)		1,52	19,94

Nota: ^{ns} e * : não significativo e significativo a 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente. CGC: capacidade geral de combinação; CEC: capacidade específica de combinação.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

A Tabela 7 contém os agrupamentos de médias para os caracteres agronômicos DM e PROD. O Genitor G1 apresentou maior média para DM em Aquidauana. As populações segregantes P1, P5, P16, P19 e genitores G2 e G7 apresentaram maiores médias para DM em ambos os locais. A população segregante P3, P10, P18, P21, P22, P24, P28 e Genitores G5, G6 e G8 obtiveram maiores médias para DM em Chapadão do Sul. As populações segregantes P6, P7, P11, P17, P20, P26 e P27 obtiveram maiores médias de PROD.

Houve efeito significativo de genótipos e efeito de ambiente (A) (p -valor $< 0,05$) para os caracteres industriais TP e TO (Tabela 8). Para o efeito de CGC e o efeito de CEC foi significativo para TO. A interação (G x A) e interação (CEC x A) foram significativas para todos os caracteres avaliados. A interação CGC x A foi significativa para todos os caracteres exceto para TC.

Tabela 7 - Agrupamento de médias para os caracteres agrônômicos dias para maturação (DM) e produtividade de grãos (PROD) avaliados em genitores e populações segregantes F₂ de soja em Aquidauana (A1) e Chapadão do Sul (A2).

Genótipo	DM		PROD (kg ha ⁻¹)
	A1	A2	
G1	104,50 a	103,50 b	2488,05 b
P1	106,50 a	104,50 a	2892,19 b
P2	98,50 d	101,50 b	2646,08 b
P3	97,00 d	107,00 a	2606,03 b
P4	102,50 b	103,00 b	2521,83 b
P5	107,50 a	107,00 a	2698,79 b
P6	96,50 d	108,00 a	4508,14 a
P7	101,00 c	106,00 a	3491,30 a
G2	105,50 a	104,50 a	2167,32 b
P8	101,00 c	103,00 b	1942,32 b
P9	102,00 b	102,50 b	2195,95 b
P10	103,00 b	104,50 a	2760,15 b
P11	97,50 d	101,00 b	3594,34 a
P12	100,00 c	103,00 b	2737,19 b
P13	103,00 b	103,00 b	2633,44 b
G3	99,50 c	101,50 b	2388,21 b
P14	100,00 c	102,00 b	2313,24 b
P15	103,50 b	103,00 b	3111,25 b
P16	104,50 a	106,00 a	3017,77 b
P17	102,00 b	104,50 a	3545,05 a
P18	96,50 d	104,50 a	2425,13 b
G4	102,00 b	103,00 b	2979,56 b
P19	107,00 a	104,50 a	2793,22 b
P20	105,00 a	103,00 b	4497,47 a
P21	100,00 c	106,00 a	2598,00 b
P22	103,50 b	104,50 a	3170,48 b
G5	104,00 b	104,50 a	2724,62 b
P23	101,00 c	103,00 b	2515,58 b
P24	103,50 b	106,00 a	2789,39 b
P25	102,50 b	103,00 b	2733,54 b
G6	101,50 b	104,50 a	2735,35 b
P26	98,00 d	104,50 a	3895,00 a
P27	103,00 b	107,00 a	3466,19 a
G7	105,00 a	105,50 a	1739,59 b
P28	103,00 b	104,50 a	3023,57 b
G8	103,50 b	104,50 a	2016,76 b

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

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Tabela 8 - Análise de variância conjunta com as fontes de variação (FV) e seus respectivos graus de liberdade (GL) e p-valores para os caracteres industriais teor de proteína (TP), óleo (TO), fibras (TF) e cinzas (TC) avaliados em genitores e populações segregantes F₂ de soja em Aquidauana e Chapadão do Sul.

FV	GL	TP	TO	TF	TC
Genótipos (G)	35	0,00	0,00	0,22	0,40
CGC	7	0,22	0,02	1,00	0,18
CEC	28	0,47	0,00	0,19	1,00
Ambientes (A)	1	0,00	0,00	1,00	0,00
G x A	35	0,00	0,00	0,00	0,00
CGC x A	7	0,00	0,00	0,01	0,21
CEC x A	28	0,00	0,00	0,00	0,00
Média		36,80	21,34	5,51	4,99
CV (%)		1,46	1,43	3,54	1,50

Nota: ^{ns} e *: não significativo e significativo a 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente. CGC: capacidade geral de combinação; CEC: capacidade específica de combinação.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

A Tabela 9 contém o agrupamento para os caracteres industriais. A população segregante P16 obteve maiores médias para TP em Chapadão do Sul, TO e TF em ambos os locais avaliados. Os genitores G2 e G5 e populações segregantes P10, P15 e P20 obteve maiores médias de TP em ambos os ambientes. A população Segregante P24 obteve maiores médias de TF em ambos os ambientes. As populações P13 e P17 obteve maiores TC em ambos os ambientes avaliados.

Tabela 9 - Agrupamento de médias para os caracteres industriais teor de proteína (TP), óleo (TO), fibras (TF) e cinzas (TC) avaliados em genitores e populações segregantes F₂ de soja em Aquidauana (A1) e Chapadão do Sul (A2).

Genótipo	TP		TO		TF		TC	
	A1	A2	A1	A2	A1	A2	A1	A2
G1	37,24 c	37,81 a	21,07 d	20,23 e	5,48 c	5,37 c	5,10 b	4,96 a
P1	37,24 c	37,24 a	20,17 e	20,17 e	5,62 c	5,62 c	4,96 c	4,96 a
P2	36,73 c	36,20 a	21,82 c	21,83 c	5,48 c	5,31 c	5,02 c	4,91 a
P3	37,00 c	36,48 a	21,27 d	21,66 c	5,61 c	5,27 b	5,13 b	4,94 a
P4	37,87 b	36,35 a	21,28 d	21,63 c	5,42 c	5,85 c	5,16 b	4,98 a
P5	37,98 c	36,79 a	21,30 d	20,80 d	5,36 c	5,52 c	4,94 c	4,89 a
P6	36,31 c	36,31 a	20,85 d	20,85 d	5,32 c	5,32 c	4,93 c	4,93 a
P7	36,46 c	36,14 a	20,80 d	21,53 c	6,16 a	5,38 c	5,17 b	4,91 a
G2	38,64 a	36,82 a	20,38 d	21,03 d	5,46 c	5,16 c	5,16 b	4,92 a
P8	37,53 b	37,23 a	21,55 d	21,28 d	5,44 c	5,26 c	4,87 c	4,99 a
P9	38,75 a	35,73 b	21,58 d	21,86 c	5,83 b	5,63 c	5,07 b	4,92 a
P10	39,31 a	36,60 a	20,13 e	20,35 e	5,49 c	5,46 c	5,04 c	5,03 a
P11	36,35 c	36,35 a	21,19 d	21,19 d	5,67 c	5,67 b	4,96 c	4,96 a
P12	36,59 c	36,59 a	20,86 d	20,86 d	5,55 c	5,55 c	4,98 c	4,98 a
P13	37,99 b	36,62 a	20,28 e	21,56 c	5,55 c	5,40 c	5,30 a	4,97 a
G3	35,01 d	35,01 b	21,97 c	21,97 c	5,51 c	5,51 c	4,88 c	4,88 a
P14	38,96 a	34,91 b	20,64 e	22,42 b	4,93 d	5,67 b	4,83 c	4,93 a
P15	38,69 a	36,28 a	21,49 c	21,64 c	5,72 c	5,39 c	5,11 b	4,97 a
P16	36,40 c	36,40 a	23,15 a	23,12 a	6,20 a	6,10 a	4,93 c	4,93 a
P17	38,43 a	35,29 b	20,69 e	22,55 b	4,89 d	5,40 c	5,30 a	4,96 a
P18	37,59 b	35,69 b	21,67 c	21,46 c	5,81 b	5,30 c	5,03 c	4,95 a
G4	37,71 b	35,05 b	20,47 e	21,88 c	5,36 c	5,75 b	4,88 c	4,93 a
P19	36,58 c	36,58 a	21,87 c	21,87 c	5,23 d	5,23 c	4,97 c	4,97 a
P20	38,39 a	36,07 a	20,56 e	21,54 c	5,39 c	5,37 c	4,90 c	4,96 a
P21	37,73 b	37,47 a	20,33 e	21,38 c	5,85 b	5,28 c	5,12 b	4,94 a
P22	38,79 a	35,93 b	20,68 e	20,84 d	4,78 d	6,07 a	4,97 c	4,96 a
G5	38,73 a	37,12 a	20,65 e	21,49 c	5,54 c	5,35 c	5,05 b	4,96 a
P23	37,81 b	35,81 b	22,20 c	22,42 b	5,51 c	5,56 c	5,12 b	4,96 a
P24	36,30 c	36,30 a	20,92 d	20,92 d	6,15 a	6,15 a	4,94 c	4,94 a
P25	37,02 c	36,33 a	22,43 b	22,19 b	5,59 c	5,30 c	5,04 c	4,90 a
G6	35,60 d	35,60 b	20,51 e	20,51 e	5,80 b	5,80 b	4,97 c	4,97 a
P26	39,43 a	35,50 b	20,88 d	21,82 c	4,81 d	5,48 c	5,11 b	4,91 a
P27	37,08 c	36,54 a	21,46 c	21,78 c	5,59 c	5,28 c	4,93 c	4,94 a
G7	35,54 d	35,54 b	21,23 d	21,23 d	5,46 c	5,46 c	4,98 c	4,98 a
P28	36,70 c	36,00 b	22,14 c	22,41 b	5,68 c	5,25 c	4,98 c	4,98 a
G8	35,35 d	35,35 b	21,98 c	21,98 c	5,60 c	5,60 c	4,98 c	4,98 a

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

Fonte: Elaboração do próprio autor.

3.3.3 Capacidade de combinação para caracteres nutricionais

O genitor G3 se destacou por contribuir com valores positivos para os teores de K, Mg, Ca, Fe, Mn e Zn em ambos os ambientes avaliados (Tabela 10), com exceção dos teores de Fe em Aquidauana e Mn em Chapadão do Sul, cujos valores foram negativos. De forma similar, G8 apresentou estimativas positivas para K, Mg, Ca, Fe, Mn e Zn nos dois locais, com exceção dos teores de K em Chapadão do Sul e Ca em Aquidauana, que apresentaram valores negativos.

Tabela 10 - Estimativas da capacidade geral de combinação para os teores nutricionais de (K, Mg, Ca, Fe, Mn e Zn), avaliados em genitores de soja em Aquidauana (A1) e Chapadão do Sul (A2).

Genitor	K (g kg ⁻¹)		Mg	Ca (g kg ⁻¹)		Fe (mg kg ⁻¹)		Mn (mg kg ⁻¹)		Zn (mg kg ⁻¹)	
	A1	A2		A1	A2	A1	A2	A1	A2	A1	A2
G1	1,23	-0,05	0,18	0,6	0,74	14,65	-3,34	-0,26	0,14	1,29	2,96
G2	-0,49	0,93	0,02	-0,2	-0,1	0,7	-4,24	0,04	-1,11	-1,31	-1,79
G3	0,2	0,73	0,03	0,1	0,49	-53,3	7,36	4,04	-0,41	0,04	0,01
G4	-0,23	-0,81	-0,24	-0,16	-1,62	75,8	-4,09	2,99	-0,91	-1,11	0,86
G5	-0,59	-0,03	-0,08	0,18	0,97	-50,3	5,21	-4,96	0,89	-2,66	-3,44
G6	-0,66	0,07	-0,08	-0,26	-0,66	-39,35	-0,39	-3,21	2,19	-1,71	-0,54
G7	0,51	0,11	0,16	-0,07	-0,4	40,65	-2,04	-0,41	-0,91	2,29	-4,09
G8	0,01	-0,95	0,02	-0,19	0,58	11,15	1,51	1,79	0,14	3,19	6,01

Fonte: Elaboração do próprio autor.

As estimativas de CEC para os teores de macronutrientes avaliados nas populações segregantes F₂ de soja estão contidas na Tabela 11. A população P7 se destacou por apresentar estimativas positivas para os teores de P, K, Ca, Mg e S em ambos os locais avaliados, com exceção do teor de K em Chapadão do Sul. De modo similar, P20 também apresentou estimativas positivas para estes caracteres, com exceção do teor de S em Chapadão do Sul.

A Tabela 12 contém as estimativas da CEC para os teores de micronutrientes avaliados nas populações segregantes F₂ de soja. A população P7 se destacou por apresentar estimativas positivas para os teores de Cu, Mn e Zn em ambos os locais avaliados. A população P13 apresentou estimativas positivas para todos os micronutrientes com exceção do Fe em Aquidauana e Zn em Chapadão do Sul que foram negativos. A população P15 apresentou estimativas positivas para todos os micronutrientes em ambos os locais, exceto para o Mn.

Tabela 11 - Estimativas da capacidade específica de combinação para os teores de macronutrientes (P, K, Ca, Mg e S), avaliados em populações segregantes F₂ de soja em Aquidauana (A1) e Chapadão do Sul (A2).

População	P (g kg ⁻¹)	K (mg kg ⁻¹)		Ca (mg kg ⁻¹)		Mg (mg kg ⁻¹)		S (mg kg ⁻¹)	
		A1	A2	A1	A2	A1	A2	A1	A2
P1	-0,02	-0,32	1,39	0,67	2,1	-0,04	1,1	0,27	-0,1
P2	-0,08	0,71	-0,04	-0,06	-2,59	0,38	-0,38	0,4	-0,15
P3	-0,41	0,81	1,9	-0,06	-0,93	-0,1	-0,36	-0,12	-0,15
P4	0,15	0,98	1,55	-0,84	-0,49	0,16	-0,26	0,13	0,32
P5	0,29	0,28	1,12	-0,68	0,99	-0,29	-0,28	-0,22	0,14
P6	-0,06	-0,39	1,14	-1,22	-1,34	-0,4	-0,43	0,35	-0,05
P7	0,01	0,16	-3,24	0,21	1,52	0,13	0,43	0,1	0,17
P8	-0,02	1,53	-1,65	2,48	0,97	0,24	-0,58	-0,21	-0,12
P9	-0,16	0,39	-1,44	0,45	-0,05	0,19	-0,54	0,13	0
P10	-0,07	2,34	0,85	0,13	-1,12	0,16	-0,02	0,57	-0,25
P11	0,23	0,35	-0,38	0,3	0,67	0,1	-0,51	0,09	0,08
P12	0,05	-2,83	2,15	-1,82	0,18	-1,01	-0,41	-0,41	0,31
P13	0,05	-0,08	1,16	-0,26	2,36	0,03	-0,09	0,13	-0,02
P14	0,17	0,97	-0,56	-0,04	1,32	-0,57	-0,3	0,35	-0,15
P15	-0,17	-0,05	0,59	-0,56	-0,06	0,05	-0,56	-0,05	-0,21
P16	-0,07	-3,57	-0,67	-2,25	1,63	-0,66	0,07	-0,08	-0,05
P17	-0,14	-1,18	-2,16	0,63	-0,06	0,03	0,79	-0,15	0,35
P18	0,37	-1,87	2,97	-0,28	2,4	-0,45	0,11	-0,22	0,45
P19	0,22	2,15	-1,29	0,62	1,71	0,48	0,93	-0,27	0,1
P20	0,18	4,01	2,62	1,36	2,34	1,05	0,48	0,4	-0,21
P21	-0,12	-0,89	-0,9	0,87	1,23	0,65	0,15	-0,27	0,04
P22	0,04	-3,36	2,03	-1,32	-0,24	-0,49	0,24	-0,13	0,39
P23	-0,25	-1,35	-4,15	0,84	1,34	0,23	0,63	-0,26	-0,07
P24	0,13	-0,19	-2	0,15	-1,1	0,31	-0,1	0,02	-0,07
P25	-0,14	0,31	1,19	0,86	-2,68	-0,7	-1,13	-0,2	-0,1
P26	-0,12	-2,99	1,46	0,28	-2,33	-1,34	0,01	-0,23	0,06
P27	0,08	3,2	0,09	0,78	-1,17	0,82	1,49	-0,02	-0,01
P28	-0,32	-1,1	-1,55	-0,29	-0,31	-0,04	0,01	0,02	-0,26

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Tabela 12 - Estimativas da capacidade específica de combinação para os teores nutricionais de (Cu, Fe, Mn e Zn), avaliados em populações segregantes F₂ de soja em Aquidauana (A1) e Chapadão do Sul (A2).

População	Cu (mg kg ⁻¹)		Fe (mg kg ⁻¹)		Mn (mg kg ⁻¹)		Zn (mg kg ⁻¹)	
	A1	A2	A1	A2	A1	A2	A1	A2
P1	1,88	8,08	137,54	5,59	-5,34	0,07	-8,32	-10,11
P2	-0,47	6,48	-36,46	-8,01	-1,34	-4,13	7,33	-2,91
P3	-3,37	-4,27	4,44	0,44	3,71	-2,13	1,98	-9,26
P4	-0,67	-3,22	-50,46	3,14	7,16	7,07	13,03	5,04
P5	0,68	-8,67	-83,91	-7,26	2,91	-7,23	1,08	-6,86
P6	-1,87	-5,62	-73,41	-10,61	-6,89	-3,13	1,08	-5,31
P7	0,88	3,93	-83,91	0,66	3,91	7,82	4,68	15,09
P8	-3,07	-6,07	150,49	-10,61	2,36	0,62	-9,57	5,34
P9	2,53	3,68	-159,11	-4,66	-5,59	5,62	-2,42	9,49
P10	0,73	-0,27	149,49	0,04	4,36	-3,68	1,13	-0,21
P11	-0,92	-0,22	-38,46	-2,86	6,61	-2,98	2,18	-3,11
P12	-0,47	1,83	-70,46	1,79	4,31	-0,88	1,68	-2,56
P13	0,78	2,88	-76,46	1,74	1,61	2,57	5,78	-8,16
P14	-1,32	-1,42	-100,61	-5,26	-8,59	2,92	2,73	7,69
P15	3,38	0,13	42,49	71,94	-3,14	-0,38	0,78	9,49
P16	-1,27	3,18	3,54	-6,96	4,11	6,32	7,33	-8,91
P17	-1,82	0,23	-73,46	-4,31	-3,19	-2,08	0,33	-1,86
P18	-1,57	-5,22	-28,96	-12,36	-6,89	-0,13	-13,07	-8,96
P19	3,48	3,38	-131,11	-6,61	11,41	-1,38	3,43	-3,86
P20	-0,67	-2,57	124,44	-4,51	12,66	-1,68	15,48	-4,26
P21	1,78	3,98	330,94	-1,86	13,36	-0,58	-13,02	3,29
P22	0,03	1,53	-157,56	8,09	2,16	-0,63	6,08	2,19
P23	-0,47	6,48	-4,96	-13,31	-23,89	7,52	-4,47	-5,46
P24	-0,52	1,03	-81,96	-17,66	-0,69	-1,88	-0,97	4,59
P25	-2,27	9,58	62,54	4,29	1,11	-3,93	-1,87	-2,51
P26	5,33	2,58	-60,41	9,44	-8,44	10,32	-7,92	-0,81
P27	-0,42	-3,87	49,59	12,89	1,36	-1,73	-4,82	15,09
P28	0,03	-6,32	-152,41	-6,96	-8,94	4,37	-1,32	-4,86

Fonte: Elaboração do próprio autor.

3.3.4 Capacidade de combinação para caracteres agronômicos

Para a CGC do caráter DM (Tabela 13), o genitor G3 se destacou por apresentar valores negativos em ambos os locais avaliados. De forma antagônica, os genitores G6 e G8 apresentaram estimativas positivas de CGC para este caráter em Aquidauana e Chapadão do Sul.

Tabela 12 - Estimativas da capacidade geral de combinação para o caráter dias para maturação (DM) em genitores de soja em Aquidauana (A1) e Chapadão do Sul (A2).

Genitor	DM	
	A1	A2
G1	-0,01	0,61
G2	0,54	-0,74
G3	-1,36	-1,04
G4	-0,01	-0,24
G5	1,24	-0,19
G6	0,09	0,26
G7	-0,56	0,96
G8	0,09	0,36

Fonte: Elaboração do próprio autor.

As populações segregantes P1 e P15 se destacaram por apresentar estimativas de CEC positivas para os caracteres dias para maturação e produtividade de grãos (Tabela 14). Outras populações que merecem destaque são P11, P12 e P26 por apresentarem estimativas negativas para o caráter dias para maturação em ambos os locais, além de estimativas positivas de CGC para produtividade de grãos.

Tabela 13 - Estimativas da capacidade específica de combinação para caracteres agrônômicos dias para maturação (DM) e produtividade de grãos (PROD) avaliados em populações segregantes F₂ de soja em Aquidauana (A1) e Chapadão do Sul (A2).

População	DM		PROD (kg ha ⁻¹)
	A1	A2	
P1	3,91	0,42	223,83
P2	-2,19	-2,28	-90,98
P3	-5,04	2,42	-366,66
P4	-0,79	-1,63	-304,92
P5	5,36	1,92	-576,13
P6	-4,99	2,22	1491,26
P7	-1,14	0,82	634,25
P8	-0,24	0,57	-469,71
P9	-0,59	-0,73	-451,71
P10	-0,84	1,22	258,42
P11	-5,19	-2,73	644,45
P12	-2,04	-1,43	45,33
P13	0,31	-0,83	101,42
P14	-0,69	-0,93	-403,13
P15	1,56	0,02	540,82
P16	3,71	2,57	-0,83
P17	1,86	0,37	784,49
P18	-4,29	0,97	-175,6
P19	3,71	0,72	-12,84
P20	2,86	-1,23	1243,25
P21	-1,49	1,07	-398,19
P22	1,36	0,17	334,13
P23	-2,39	-1,28	-592,71
P24	0,76	1,02	-60,86
P25	-0,89	-1,38	43,12
P26	-3,59	-0,93	596,58
P27	0,76	2,17	327,61
P28	1,41	-1,03	143,01

Fonte: Elaboração do próprio autor.

3.3.5 Capacidade de combinação para caracteres industriais

O genitor G5 se destacou por contribuir com valores positivos em todos os caracteres industriais em Aquidauana e Chapadão do Sul (Tabela 15).

Tabela 14 - Estimativas da capacidade geral de combinação para os caracteres industriais teor de proteína (TP), óleo (TO) e fibras (TF) avaliados em genitores de soja em Aquidauana (A1) e Chapadão do Sul (A2).

Genitor	TP		TO		TF	
	A1	A2	A1	A2	A1	A2
G1	-0,24	0,51	-0,1	-0,46	0,02	-0,05
G2	0,46	0,4	-0,41	-0,42	0,04	-0,06
G3	-0,21	-0,4	0,43	0,47	-0,02	0,00
G4	0,52	-0,27	-0,27	0,18	-0,14	0,05
G5	0,46	0,25	0,1	0,04	0,05	0,01
G6	-0,18	-0,14	0,12	0,02	0,04	0,11
G7	-0,39	-0,15	-0,15	-0,03	-0,05	-0,02
G8	-0,41	-0,21	0,28	0,22	0,07	-0,04

Fonte: Elaboração do próprio autor.

As populações segregantes P1, P24, P25, P26 e P27 se destacaram por apresentar estimativas de teor de proteína positivas para ambos os ambientes (Tabela 16). A população segregante P6, obteve estimativas positivas em teor de proteína e óleo em Aquidauana e Chapadão do Sul. A população P11 obteve estimativas positivas em óleo e fibras em ambos os locais e cinzas em Aquidauana. A população segregante P19 obteve estimativas positivas para TO e TC em ambos os locais avaliados.

Tabela 15 - Estimativas da capacidade específica de combinação para os caracteres industriais teor de proteína (TP), óleo (TO), fibras (TF) e cinzas (TC) avaliados em populações segregantes F₂ de soja em Aquidauana (A1) e Chapadão do Sul (A2).

População	TP		TO		TF		TC	
	A1	A2	A1	A2	A1	A2	A1	A2
P1	0,33	0,56	0,09	-0,35	-0,09	-0,03	0,02	0,03
P2	-0,36	0,11	-0,5	-0,45	0,04	0,23	-0,12	0,01
P3	-0,21	-0,14	0,31	0,32	-0,04	-0,14	0	-0,02
P4	-0,66	0,02	0,46	0,44	0,2	-0,23	0,12	0,01
P5	0,27	-0,63	0,1	0,54	-0,17	0,39	0,08	0,03
P6	1,02	0,19	0,1	0,26	-0,23	-0,05	-0,08	-0,04
P7	-0,45	-0,28	-0,08	-0,16	-0,17	-0,11	-0,14	-0,02
P8	-0,27	-0,39	-0,56	0,27	0,55	-0,04	0,1	-0,03
P9	0,34	-0,2	0,02	0,37	-0,14	-0,22	0,08	-0,05
P10	-0,1	1,01	0,35	-0,27	-0,1	-0,18	-0,15	0,04
P11	0,39	-0,62	1,08	0,6	0,41	0,14	0,06	-0,03
P12	1,01	-0,27	-0,74	-0,78	-0,12	0,01	-0,04	0,06
P13	-1,31	-0,14	0,31	0,09	0,07	0,12	-0,06	0,01
P14	-0,86	0,11	0,24	-0,19	0,05	0,13	-0,08	0,01
P15	0,56	0,2	-0,77	0,26	-0,07	-0,01	0,23	0,01
P16	-1,95	-0,42	-0,08	-0,48	0,03	0	-0,07	-0,04
P17	1,27	-0,64	-0,7	0,27	-0,43	0,12	-0,11	0,00
P18	1,06	0,21	-0,22	-0,38	0,17	-0,13	0,1	0,02
P19	-0,59	0,71	1,42	1,16	0,66	0,58	-0,02	0,00
P20	1,65	-0,39	-0,78	0,6	-0,56	-0,09	0,3	0,02
P21	0,83	0,07	-0,22	-0,73	0,24	-0,17	0,03	0,01
P22	-0,71	-0,63	-0,16	0,02	0,11	0,15	-0,05	-0,01
P23	-1,78	0,38	0,86	0,14	-0,2	-0,33	-0,04	0,01
P24	0,67	0,26	-0,46	-0,16	-0,04	-0,3	-0,04	0,02
P25	0,22	1,67	-0,43	-0,27	0,52	-0,25	0,13	-0,01
P26	1,3	0,19	-0,51	-1,06	-0,67	0,55	-0,03	0,01
P27	0,43	0,4	-0,73	-0,1	-0,08	-0,17	-0,03	-0,02
P28	0,15	-0,53	0,81	0,85	-0,1	-0,07	0,11	0,00

Fonte: Elaboração do próprio autor.

3.4 DISCUSSÃO

O teor de Mg foi significativo para CGC, sendo os genótipos G1, G3 e G7 e as populações segregantes P1, P2, P20, P21, P24 e P27 que se destacaram para o teor deste nutriente. Portanto, pelo menos um dos genitores utilizados se diferiu dos demais em relação a concentração de alelos favoráveis (PIMENTEL *et al.*, 2013). O diferencial de se obter linhagens com maior quantidade de Mg na planta está

relacionado com a função deste nutriente, em ativar reações enzimáticas, e há presença na parte estrutural das plantas (molécula de clorofila) (MASRSCHNER, 1986). Dessa forma é significativamente importante desenvolver genótipos eficientes na absorção e assimilação de tal nutriente, buscando genótipos fotossinteticamente superiores devido a melhor assimilação do nutriente, que é constituinte estrutural base da clorofila.

O teor de P foi significativo para CEC, sendo os melhores genitores G1, G5 e G7 e populações segregantes P4, P5, P11, P14, P18, P19, P24 e P27. Isto significa que as diferenças entre as médias dos nutrientes avaliados não resume apenas ao comportamento individual dos genitores (CRUZ *et al.*, 2012; PIMENTEL *et al.*, 2013).

Os solos do Cerrado são intemperizados, com baixos teores de P na forma disponível para as plantas, além desses solos reterem o fósforo (NOVAIS; SMYTH, 1999). Na falta desse nutriente pode provocar atraso na maturação (HYLAND *et al.*, 2005). Quanto maior a disponibilidade de P para as atividades da semente, melhor será seu crescimento inicial e melhor o desenvolvimento do sistema radicular, resultando em melhor absorção de nutrientes (TRIGO *et al.*, 1997). Ao saber das exigências das plantas em relação a absorção de P, é possível selecionar genótipos capazes de aproveitarem melhor este nutriente. Isto possibilita o cultivo de linhagens em ambientes que tenham solos com baixa fertilidade, sendo muito importante para a sustentabilidade da produção agrícola (MENDES *et al.*, 2015).

Ao estudar eficiência e responsividade de P em genótipos de soja, Paula (2016) classificou as cultivares estudadas em quatro grupos: eficiente e responsivas, eficientes e não responsivas, não eficientes e responsivas e não eficientes e não responsivas, salientou que a seleção de cultivares eficientes ao uso do fósforo em ambiente com baixa disponibilidade deste nutriente favoreceu a seleção de cultivares responsivas a este nutriente.

Podemos notar que os genitores avaliados neste experimento, obtiveram diferenças significativas em relação a interação genótipos x ambientes para a maioria dos teores nutricionais, sendo este um dos principais desafios na escolha e recomendação de cultivares superiores. Esta interação permite o surgimento de genótipos estáveis para determinados ambientes específicos ou genótipos com comportamento geral adaptados a uma grande amplitude de ambientes (CHAVES, 2001). Nesta pesquisa, além dos fatores climáticos (Figura 2 e 3) distintos de cada

local, as propriedades físico-químicas do solo são fatores preponderante para ocorrência de interação genótipos x ambientes significativa.

Diante da necessidade da obtenção de cultivares mais produtivas, são necessários, grandes gastos em fertilizantes, e a utilização de genótipos eficientes no uso de nutrientes, acaba sendo uma estratégia no desenvolvimento de novos genótipos, principalmente nos solos do Cerrado, que são intemperizados.

O desenvolvimento de genótipos que possuem maior capacidade de acumular teores de potássio (K), resulta na melhoria do metabolismo dos carboidratos e proteínas e na translocação de amido, que são utilizados na formação dos grãos (FAGERIA, 2009). De modo similar, a seleção de genitores e populações segregantes com maior teor de Ca, que tem função estrutural, atuando na síntese da parede celular, no crescimento do tubo polínico e germinação do grão de pólen (FAQUIN, 2005), e o S que tem função estrutural e metabólica nas plantas (VITTI *et al.*, 2006) pode ser uma estratégia promissora para desenvolver cultivares mais adaptadas a solos mais degradados, sobretudo do Cerrado brasileiro.

Neste contexto, o uso cada vez mais intensivo do solo, devido a cultivos sucessivos, pode resultar em deficiências das plantas, sendo assim importante selecionar genótipos com maiores teores de micronutrientes. O Cu possui função estrutural e atua como ativador de enzimas, atuando na fotossíntese, respiração, translocação de açúcares, síntese de DNA e RNA (MARSCHNER, 2012). O Fe tem como função participar na formação de enzimas (catalase, peroxidase, citocromo), além de participar nos processos de respiração e fotossíntese (MARENCO; LOPES, 2009). O Mn é responsável pela ativação enzimática, e é essencial para a síntese de clorofila (DECHEN; NACHTIGALL, 2007). As funções do Zn na planta são a síntese do triptofano que é um precursor da auxina, do RNA e dos ribossomos (BORKERT, 1989), além de participar do aumento do tamanho da multiplicação celular, que auxilia na formação dos grãos (MALAVOLTA *et al.*, 1991).

Além de eficiência em absorção e metabolismo de diversos nutrientes, é foco de programas de melhoramento de soja desenvolver cultivares que reúnam maior precocidade e produtividade de grãos (BEZERRA *et al.*, 2017; DARONCH *et al.*, 2019). De acordo com Almeida *et al.* (2013), as cultivares de soja podem ser classificadas como precoce (111 dias), semiprecoce (112 a 124 dias) e tardia (acima de 125 dias).

A soja é uma cultura que é muito influenciada pelas condições climáticas, ao utilizar genótipos precoces os produtores podem minimizar as perdas por doenças de final de ciclo (BEZERRA *et al.*, 2017; WYSMIERSKI, 2015). Além de permitir a instalação de milho segunda safra (CRUZ *et al.*, 2010; MEOTTI *et al.*, 2012).

Na busca de matérias que se adaptam a determinados ambientes, a duração do período vegetativo é uma característica muito importante a ser observada, porque materiais que não têm genes de juvenilidade irão florescer precocemente, com consequência diminuirá o porte da planta e resultando em perdas no rendimento de grãos (KIHL; GARCIA, 1989). Segundo Almeida *et al.* (2010) a seleção de genótipos com florescimento precoce pode resultar em plantas com menor produtividade, devido a essas plantas terem menor altura e número de nós. Para o DM é desejável que os genótipos apresentem médias reduzidas o que vai ocasionar em maior precocidade para as linhagens, sendo que é necessário que pelo menos um dos genitores tenham valores negativos para CGC (KRAUSE *et al.*, 2012).

O genitor G3 apresentou alta CGC negativa para DM, isto demonstra uma alta concentração de alelos favoráveis a redução do ciclo dessas linhagens de soja por esse genitor. A significância nos efeitos de CGC indica que existem genitores que irão contribuir com maior quantidade de alelos favoráveis transmitidos para os descendentes (RAMALHO *et al.*, 2012).

Levando em consideração as populações segregantes avaliadas neste experimento, P2, P9, P11, P12, P14, P23, P25 e P26 se destacaram por obter capacidade específica de combinação negativa em ambos os locais avaliados. Isso resulta na expectativa de extrair genótipos mais precoces desses cruzamentos após algumas gerações de autofecundações (ABREU *et al.*, 2004). Contudo, dentre essas populações, apenas P11, P12, P25 e P26 apresentaram valores positivos para produtividade de grãos, com destaque para P11 e P26 que apresentaram os maiores valores.

Com o aumento do consumo da proteína animal, cada vez mais tem aumentando a demanda por farelo para rações de aves, bovinos e suínos confinados, para suprir este setor a indústria necessita que a soja tenha alto teor de proteína, sendo que em média os grãos de soja contêm 40% de proteína e 20% de óleo (PÍPOLO *et al.*, 2015), enquanto a média nacional de proteína da soja fica por volta de 37% (OLIVEIRA *et al.*, 2018).

Cultivares precoces e de ciclo indeterminadas têm a tendência de apresentarem maiores teores de proteínas, que pode ser em resposta a maior exposição à radiação solar junto ao calor durante a fase de enchimento de grãos (PANIZZI *et al.*, 2021). Ao avaliar quatro cultivares de sojas desenvolvidas e melhoradas no Brasil, Yamada *et al.* (2003) encontraram concentrações de proteínas variando entre 33,4% e 35,1%, valores estes bem abaixo do encontrado nessa pesquisa.

Desta forma, o melhoramento genético de plantas visa a seleção de genótipos eficientes e de qualidade, facilitando para o produtor rural buscar as melhores cultivares no mercado. Ao combinar os caracteres agrônômicos, nutricionais e industriais, podemos selecionar híbridos promissores, visando maiores produções com a melhor utilização dos nutrientes, visto o aumento crescente dos insumos.

3.5 CONCLUSÕES

O genitor G3 e as populações segregantes P20 e P27 podem ser utilizados visando obter maior eficiência nutricional em novas cultivares de soja.

As populações segregantes P11 e P26 apresentam maior potencial para seleção de genótipos de soja que reúnam precocidade e alta produtividade de grãos.

O genitor G5 e população segregante P24 são promissores para seleção buscando melhoria de caracteres industriais em soja.

REFERÊNCIAS

- ABREU, F. B.; LEAL, N. R.; RODRIGUES, R.; JÚNIOR, A. T. A.; SILVA, D. J. H. Divergência genética entre acessos de feijão-de-vagem de hábito de crescimento indeterminado. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 22, n. 3, p. 547-552, 2004.
- ALMEIDA, R. D.; PELUZIO, J. M.; AFFERRI, F. S. Correlações fenotípicas, genotípicas e ambientais em soja cultivada sob condições várzea irrigada, sul do Tocantins. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 26, n.1, p. 95-99, 2010.
- ALMEIDA, F. A.; BRUSCKE, E. L.; POLIZEL A. C.; PETTER F. A.; HAMAWAKI O. T.; NETO, F. A. Desempenho agrônômico de linhagens e cultivares de soja frente a doenças foliares. **Revista de ciências agrárias**, Belém, v. 56, n. 2, p. 88-94, 2013.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTRY - AOAC. **Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemistry**. Gaithersburg: AOAC, 2000. 4p.
- BEZERRA, A. R. G.; SEDIYAMA, T.; SILVA, F. L. S.; BORÉM, A.; SILVA, A. F.; SILVA, F. C. S. Agronomical Aspects of the Development of Cultivars. *In*: LOPES, F. S, BORÉM, A; SEDIYAMA, T; LUDKE, W. H. **Soybean Breeding**. Cham: Springer; p. 395-411, 2017.
- BORDALLO, P. N.; PEREIRA, M. G.; AMARAL JÚNIOR, A. T.; GABRIEL, A. P. C. Análise dialética de genótipos de milho doce e comum para caracteres agrônômicos e proteína total. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 23, p. 123-127, 2005.
- BORKERT, C. M. Micronutrientes na planta. *In*: BÜLL, L. T.; ROSOLEM, C. A. **Interpretação de análise química de solo e planta para fins de adubação**. Botucatu: Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas e Florestais, 1989. p. 309-329.
- CHAVES, L. J. Interação de genótipos com ambientes. *In*: NASS, L. L; VALOIS, A. C. C; MELO, I. S; VALADARES-INGLIS, M. C. **Recursos genéticos e melhoramento**: Plantas. Rondonópolis: Fundação MT, 2001. p. 673-713.
- COLOMBO, G. A.; CARVALHO, E. V.; DARONCH, D. J.; PELUZIO, J. M. Capacidade combinatória de genótipos de soja sob condições de Cerrado de baixa latitude. **Revista de Ciências agrárias**, Lisboa, v. 61, p. 1-9, 2018.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos: safra 2022/23**. Brasília, DF: CONAB, 2023. (Sétimo levantamento).
- CRUZ, C. D. Genes: a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 35, n. 3, p. 271-276, 2013.

CRUZ, C. D.; FERREIRA, F. M.; PESSONI, L. A. **Biometria aplicada ao estudo da diversidade genética**. Visconde do Rio Branco: Suprema, 2011. v. 1. 620 p.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. **Métodos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 4. ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2012. 512 p.

CRUZ, T. V.; PEIXOTO, C. P.; MARTINS, M. C. Crescimento e produtividade de soja em diferentes épocas de semeadura no oeste da Bahia. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 11, n. 1, p. 33-42, 2010.

DARONCH, D. J.; PELUZIO, F. S.; TAVARES, A. T.; SOUZA, C. M. Eficiência ambiental e divergência genética de genótipos de soja na região central do Tocantins. **Revista Cultura Agronômica**, Ilha Solteira, v. 28, n. 1, p. 1-18, 2019.

DECHEN, N. A.; NACHTIGALL, G. R. Elementos requeridos à nutrição de plantas. In: NOVAIS, R. F, ALVAREZ, V. V. H, BARROS, N. F, FONTES, R. F, CANTARUTTI, R. B, NEVES, J. C. L. **Fertilidade do Solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 91-132.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, DF: EMBRAPA, 2018. 356 p.

FAGERIA, N. K. **The use of nutrients in crop plants**. Boca Rato: CRC Press, 2009. 430p.

FAQUIN, V. **Nutrição mineral de plantas**. Lavras: Ed. da UFLA, 2005. 183 p.

FRIEDRICH, M. R.; BURTON, J. W.; BROWNIE, C. Heterosis and Genetic Variance in Soybean Recombinant Inbred Line Populations. **Crop Science**, Madison, v. 5 n. 6, p. 2072-2079, 2016.

GRIFFING, B. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. **Australian journal of biological sciences**, Melbourne, v. 9, p. 463-493, 1956.

HALLAUER, A. R.; CARENA, J. M.; MIRANDA FILHO, J. B. **Quantitative genetics in maize breeding**. New York: Springer, 2010. 500 p.

HYLAND, C.; KETTERINGS, Q.; DEWING, D.; STOCKIN, K.; CZYMMEK, K.; ALBRECHT, A.; GEOHRING, L. Phosphorus basics: the phosphorus cycle. **Agronomy Fact Sheet Series**, Ithaca, v. 12, p. 1-2, 2005.

KIIHL, R. A. S.; GARCIA, A. The use of the long-juvenile train in breeding soybean cultivars. In: WORLD SOYBEAN RESEARCH CONFERENCE, 4th., 1989, Buenos Aires. **Proceedings** [...] [S. l.: s. n.], 1989. p. 994-1000.

KRAUSE, W.; RODRIGUES, R.; LEAL, N. R. Capacidade combinatória para características agronômicas em feijão-de-vagem. **Revista Ciência Agronômica**, Jaboticabal, v. 43, n. 3, p. 522-531, 2012.

MALAVOLTA, E.; BOARETTO, A. E.; PAULINO, V. T. Micronutrientes: uma visão geral. In: FERREIRA, M. E.; CRUZ N. C. P. **Micronutrientes na agricultura**. Piracicaba: POTAFOS/CNPq, 1991.

MARENCO, R. A.; LOPES, N. F. **Fisiologia vegetal: fotossíntese, respiração, relações hídricas e nutrição mineral**. Viçosa, MG: Ed. da UFV, 2009. p. 267-297

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. London: Elsevier; Academic Press, 2012. 651p.

MENDES, F. F.; GUIMARÃES, L. J. M.; SOUZA, J. C.; GUIMARÃES, P. E. O.; MAGALHÃES, J. V. M.; GARCIA, A. A. F.; PARENTONI, S. N.; GUIMARÃES, C. T. Genetic architecture of phosphorus use efficiency in tropical maize cultivated in a low-P soil. **Crop Science**, Madison, v. 54: p. 1530-1538, 2015.

MEOTTI, G. V.; BENIN, G.; SILVA, R. R.; BECHE, E.; MUNARO, L. B. Épocas de semeadura e desempenho agrônômico de cultivares de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 47, n. 1, p. 14-21, 2012.

NOVAIS, F. R.; SMYTH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa: UFV; Departamento de Solos, 1999. 399 p.

OLIVEIRA, M. A.; MANDARINO, J. M. G.; LEITE, R. S. Características físico-químicas das sementes de soja: teor de proteína, teor de óleo, acidez do óleo e teor de clorofila. In: LORINI, I. **Qualidade de sementes e grãos comerciais de soja no Brasil: safra 2016/2017**. Londrina: Embrapa Soja, 2018.

PANIZZI, M. C. C.; PIRES, J. L. F.; STRIEDER, M. L.; LEITE, R. S.; OLIVEIRA, M. C. N.; CORASSA, G. M. **Teores de óleo e proteína em genótipos de soja em diferentes situações de manejo**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2021. 27 p. (Circular Técnica Online, 60).

PAULA, G. S. **Responsividade e eficiência do uso de fósforo de cultivares de soja**. 2016. 44 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Viçosa - UFV, Viçosa, MG, 2016.

PIMENTEL, A. J. B.; SOUZA, M. A.; CARNEIRO, P. C. S.; ROCHA, J. R. A. S. C.; MACHADO, J. C.; RIBEIRO, G. Análise dialélica parcial em gerações avançadas para seleção de populações segregantes de trigo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 48, p. 1555-1561, 2013.

PIPOLO, A. E.; HUNGRIA, M.; FRANCHINI, J. C.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; DEBIASI, H.; MANDARINO, J. M. G. **Teores de óleo e proteína em soja: fatores envolvidos e qualidade para a indústria**. Londrina: Embrapa Soja, 2015. 15p. (Comunicado técnico, 86).

RAMALHO, M.; SANTOS, J. B.; PINTO, C. B. **Genética na agropecuária**. Lavras: UFLA, 2012. 565p.

ROCHA, F.; STINGHEN, J. C.; GEMELI, M. S.; COIMBRA, J. F. L. M.; GUIDOLIN, A. F. Análise dialética como ferramenta na seleção de genitores em feijão. **Revista Ciência Agronômica**, Jaboticabal, v. 45, n. 1, p. 74-81, 2014.

ROCHA, M. K.; HAMAWAKI, O. T.; NOGUEIRA, A. P. O.; MACHADO JUNIOR, C. J.; HAMAWAKI, C. D. L.; HAMAWAKI, R. L. Combinatorial analysis of agronomic characters in soybean. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, MG, v. 43, p. 1-7, 2019.

SILVA, F. C. D. S. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009.

SPRAGUE, G. F.; TATUM, L. A. General and specific combining ability in single crosses of corn. **Journal of American Society of Agronomy**, Madison, v. 34, p. 923-932, 1942.

TRIGO, L. F. N.; PESKE, S. T.; GASTAL, M. F.; VAHL, L. C.; TRIGO, M. F. O. Efeito o conteúdo de fósforo na semente de soja sobre o rendimento da planta resultante. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, DF, v. 19, p. 111-115, 1997.

VASCONCELOS, E. S.; REIS, M. S.; SEDIYAMA, T.; CRUZ, C. D. Grains productivity, adaptability and stability of earlier and medium cycles of soybean genotypes. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 36, n. 3, p. 1203-1214, 2015.

VITTI, G. C.; LIMA, E.; CICARONE, F. Cálcio, magnésio e enxofre. In: FERNANDES, M. S. **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p. 299-325.

WYSMIERSKI, P. T. **Seleção de linhagens experimentais de soja para tolerância à ferrugem asiática e produtividade**. 2015. 168 f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2015.

YAMADA, L. T. P.; BARCELOS, M. F. P.; SOUZA, R. V.; LIMA, A. L. Composição química e conteúdo de ferro solúvel em soja. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, MG, v. 27, n. 2, p. 406-413, 2003.

4 CAPÍTULO 2 - RELAÇÕES ENTRE CARACTERES NUTRICIONAIS, AGRONÔMICOS E INDUSTRIAIS EM GENÓTIPOS DE SOJA

RESUMO

A soja é a cultura oleaginosa de maior importância econômica no Brasil, através da seleção de genótipos, podemos observar novas cultivares, sendo lançadas, com menores ciclos e maiores produtividade. O objetivo desse trabalho selecionar genótipos de soja através das relações entre os caracteres nutricionais, agronômicos e industriais. A condução do experimento foi realizada em dois locais: Aquidauana/MS e Chapadão do Sul/MS. O delineamento experimental foi realizado em blocos casualizados com duas repetições, oito genitores e 28 populações F₂ de soja. Foram avaliados os teores nutricionais de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn). Os caracteres agronômicos avaliados foram: Altura de plantas (AP), dias para maturação (DM) e produtividade de grãos (PROD), enquanto os caracteres industriais avaliados foram: teores de proteína (TP), óleo (TO), fibras (TF) e cinzas (TC) nas populações. Os dados foram submetidos a análises multivariadas. As relações entre grupos de caracteres nutricionais, agronômicos e tecnológicos em soja são afetadas pela interação genótipos x ambientes. A seleção de genótipos de soja com maiores teores foliares de P, Mn e Zn possui reflexo direto no aumento da PROD e TP. O nutriente P se relaciona positivamente com a AP e DM em Chapadão do Sul. O Ca se relaciona positivamente com TP e TO em Aquidauana. O Mn correlaciona positivamente com TO e TF em chapadão do Sul. O TP apresenta efeitos diretos sobre os caracteres agronômicos em ambos os locais.

Palavras-chave: análise multivariada; desempenho de genótipos; *Glycine max*, nutrição; produtividade de grãos.

ABSTRACT

Soybean is the most economically important oilseed crop in Brazil, through the selection of genotypes, we can observe new cultivars being launched, with shorter cycles and higher productivity. The aim of this study, was, evaluated soybean genotypes through the relationships between agronomic, industrial and nutritional

traits. The experiment was conducted in two places: Aquidauana/MS and Chapadão do Sul/MS. The experimental design was in randomized blocks with two replications, eight parents and 28 soybean F₂ populations. The nutritional contents were evaluated was phosphorus (P), potassium (K), calcium (Ca), magnesium (Mg), sulfur (S), copper (Cu), iron (Fe), manganese (Mn) and zinc (Zn). The agronomic traits evaluated were: Plant height (AP), days to maturity (DM) and grain yield (PROD), while the industrial traits evaluated were: protein (TP), oil (TO), fiber (TF) and ash (TC) content in the populations. Data were submitted to multivariate analyses. The relationships between groups of nutritional, agronomic and technological traits in soybean are affected by genotype x environment interaction. The selection of soybean genotypes with higher foliar contents of P, Mn and Zn has a direct effect on the increase in PROD and TP. Nutrient P is positively related to AP and DM in Chapadão do Sul. Ca is positively related to TP and TO in Aquidauana. Mn correlates positively with TO and TF in Chapadão do Sul. TP has direct effects on agronomic traits in both locations.

Key-words: multivariate analysis; genotypes performance; *Glycine max*; nutrition; grains yield.

4.1 INTRODUÇÃO

A cultura da soja (*Glycine max* L.) é a principal commodity brasileira. Na safra 2022/23 o Brasil tem estimativa de produção 153.633,0 mil toneladas, tendo incremento de 22,4% em relação à safra anterior, com produtividade média de 3.527 kg ha⁻¹, em uma área de 43.561,9 mil hectares (CONAB, 2023). Uma das principais áreas de cultivo é o Centro-Oeste, com produção estimada de 76.357,6 mil toneladas em aproximadamente 20.217,2 mil hectares (CONAB, 2023).

No Cerrado brasileiro, além de cultivares de soja cada vez mais precoces e produtivas (BEZERRA *et al.*, 2017; DARONCH *et al.*, 2019; MEOTTI *et al.*, 2012), buscam-se cultivares capazes de se desenvolverem em solos tropicais com pouca fertilidade inicial. Para que isso aconteça, o melhoramento genético desta cultura, é de fundamental importância, pois os programas de melhoramentos podem levar até 12 anos, para lançarem novas cultivares (BORÉM *et al.*, 2017).

A soja é uma cultura exigente em relação a nutrientes, em busca de altas produtividades é importante avaliar a faixa adequada desses teores nutricionais, De acordo com Fauconnier e Malavolta (1999) a cultura da soja com produtividade de 50 a 60 sacas ha^{-1} , apresentam teores de nutrientes na faixa de: P (3,0 – 4,0 g kg^{-1}), K (18 - 21 g kg^{-1}), Ca (9,0 - 20 g kg^{-1}), Mg (3,0 - 6,0 g kg^{-1}), S (2,0 – 3,0 g kg^{-1}), Cu (10 – 15 mg kg^{-1}), Fe (70 - 150 mg kg^{-1}), Mn (60 – 120 mg kg^{-1}) e Zn (50 -70 mg kg^{-1}).

Outra questão importante está relacionada ao ciclo da soja, que é diretamente influenciado pelo número de dias para o florescimento e o número de dias para a maturação, sendo considerados fatores quantitativos, que são de essencial importância no melhoramento da cultura em estudo (TEIXEIRA *et al.*, 2017). Através da diminuição do ciclo, esta cultura permanece menor tempo a campo, ficando menos exposta a pressão de doenças, principalmente as de final de ciclo (BEZERRA *et al.*, 2017; WYSMIERSKI, 2015).

A composição química dos grãos de soja, de acordo com Perkins (1995), apresenta aproximadamente 21% de óleo, 40,3% de proteína, 33,9% de carboidratos e 4,9% de cinzas. O óleo de soja apresenta boa digestibilidade além de proporcionar 92% do consumo para óleo comestível (SEDIYAMA, 2009). O consumo da soja apresentou aumento em relação a alimentação humana, devido a qualidade nutricional e elevado teor de proteína, que fornece todos os aminoácidos essenciais (SANTOS *et al.*, 2019). Diante disso, a seleção de genótipos de soja com maior teor de óleo e proteína é importante do ponto de vista industrial e alimentar.

Diante disso, investigar a associação entre grupos de caracteres (nutricionais, agrônômicos e industriais) torna-se importante para direcionar as estratégias dos programas de melhoramento. A hipótese do estudo é que teores foliares de nutrientes podem afetar o desempenho agrônômico e industrial de genótipos de soja. O objetivo do trabalho foi verificar se existe relação entre grupos de caracteres nutricionais, agrônômicos e industriais em genótipos de soja.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

4.2.1 Condução do experimento

A condução do experimento com as populações F₂ foi realizada em dois locais: Aquidauana e Chapadão do Sul. No primeiro local, o ensaio foi instalado na Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Unidade Universitária de Aquidauana (20°27'S, 55°48'W e altitude média de 170 m). O clima da região, segundo a classificação de Köppen-Geiger, é do tipo Aw (Tropical de Savana) com precipitação de média anual de 1.250 mm e temperaturas média de 26° C.

No segundo local, o experimento foi realizado no campo experimental da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campus de Chapadão do Sul (18°46'S, 52°37'W e altitude média de 810 m). O clima da região é classificado como AW com precipitação anual média de 1.850 mm e temperatura anual média de 20,5°C, com máximas diárias de 36,2°C durante o verão e mínimas de 3,0°C no inverno.

Em Aquidauana, o solo da área experimental foi classificado como Argissolo Vermelho Distrófico de textura arenosa (EMBRAPA, 2018), com as seguintes propriedades químicas: pH (CaCl₂) = 6,2; matéria orgânica = 19,7 (g dm⁻³); P = 67,5 (mg dm⁻³); H + Al = 3,2; K = 32,0 (mg dm⁻³); Ca = 3,30 (cmol_c dm⁻³); Mg = 2,10 (cmol_c dm⁻³); capacidade de troca catiônica (CTC) = 5,1 (cmol_c dm⁻³); saturação de bases (V) = 45,0%.

O solo da área experimental de Chapadão do Sul foi identificado como Latossolo Vermelho Distrófico (EMBRAPA, 2018), e apresenta as seguintes propriedades químicas: pH (CaCl₂) = 4,8; matéria orgânica = 17,6 (g dm⁻³); P = 5,0 (mg dm⁻³); H + Al = 5,3; K = 69,0 (mg dm⁻³); Ca = 1,6 (cmol_c dm⁻³); Mg = 0,5 (cmol_c dm⁻³); capacidade de troca catiônica (CTC) = 7,6 (cmol_c dm⁻³); saturação de bases (V) = 30,0%. Três meses antes da semeadura foi realizada a saturação por bases do solo de ambas as áreas experimentais para elevar a saturação por bases para 60% por meio de uma calagem.

Foi utilizado delineamento de blocos casualizados com duas repetições e 36 genótipos de soja. As parcelas consistiram de uma linha com três metros de comprimento, com espaçamento de 0,45 m entre fileiras e densidade de 15 plantas por metro.

Para implantação do experimento em ambos os locais foi realizado 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 de cinco linhas no espaçamento de 0,45 m entre linhas. A adubação de base utilizada foi 300 kg ha⁻¹ 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 para 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* spp., sendo utilizada a dose de 200 mL de inoculante líquido concentrado para cada 100 kg de sementes. Os tratos culturais foram realizados de acordo com a necessidade da cultura.

4.2.2 Caracteres avaliados

Aos 60 dias após a emergência (DAE), foram avaliados os teores nutricionais de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) de cada tratamento, seguindo a metodologia descrita em Silva (2009). Para realizar a análise nutricional, utilizou-se a terceira folha totalmente desenvolvida do ápice da planta, considerada diagnóstica para análise nutricional da soja, onde ocorre a maioria dos processos metabólicos responsáveis pela aquisição de energia. Foram coletadas 25 folhas com pecíolos em cada unidade experimental. Os teores nutricionais dos macronutrientes foram expressos em g kg⁻¹, enquanto os de micronutrientes em mg kg⁻¹.

Os caracteres agrônômicos avaliados foram: dias para maturação (DM), altura de planta (AP) e produtividade de grãos (PROD, kg ha⁻¹). O DM correspondeu aos dias entre emergência e maturação de mais de 50% de plantas em cada unidade experimental. A AP foi analisada pela distância do colo da planta até a extremidade da haste principal, em m, medida em 5 plantas aleatoriamente. A PROD foi avaliada pela colheita de dois metros centrais de cada parcela e correção para 13% de umidade.

Para determinar os teores de proteína (TP), óleo (TO), fibras (TF) e cinzas (TC) nas populações F₂ de soja, foi utilizada espectroscopia de infravermelho próximo (NIRS) (Metrohm, espectrômetro DS2500, Herisau, Suíça) com alta precisão óptica. As amostras de grãos foram homogeneizadas e colocadas em uma cápsula de amostragem.

A análise foi baseada na iluminação de uma amostra com radiação de um comprimento de onda específico na região de infravermelho próximo e posterior mensuração da diferença entre a quantidade de energia emitida pelo espectroscópio e refletida pela amostra para o detector (AOAC, 2000). Esta diferença foi medida em várias faixas, criando um espectro para cada amostra. O resultado obtido foi comparado com um conjunto de calibração e expressos em porcentagem.

4.2.3 Análises estatísticas

Inicialmente, foi realizada uma análise de variância multivariada (MANOVA) considerando um esquema fatorial em que o primeiro fator foram os genótipos avaliados e o segundo fator os locais. Essa análise considera todos os caracteres avaliados simultaneamente no modelo e foi realizada com pacote “MultivariateAnalysis” do software livre R. Posteriormente, foi realizada análise de componentes principais (PCA) para verificar a inter-relação entre os genótipos e os caracteres em função dos locais com o pacote “ggfortify”. Após, foi construído um scatterplot contendo as correlações de Pearson entre os caracteres avaliados e sua distribuição em função dos locais avaliados com o pacote “GGally”. Por fim, foram realizadas análises de correlações canônicas para verificar a inter-relação entre os seguintes grupos de caracteres para cada local: nutricionais x agrônômicos, nutricionais x industriais e agrônômicos x industriais com pacote “CCA”.

4.3 RESULTADOS

4.3.1 Análise de variância multivariada e componentes principais

Houve efeito significativo (p -valor < 0,05) de genótipos, ambientes e interação genótipos x ambientes (GxA) para os caracteres avaliados (Tabela 17). Resultados

semelhantes foram encontrados em avaliações de genótipos de soja em vários ambientes para rendimento de sementes (ALBUQUERQUE *et al.*, 2023; CARNEIRO *et al.*, 2019; MATEI *et al.*, 2017; MILIOLI *et al.*, 2018). Isso indica que analisando simultaneamente os caracteres nutricionais, agronômicos e industriais, existem genótipos com desempenho diferencial em função do local de cultivo.

Tabela 16 - Análise de variância multivariada para os caracteres agronômicos, nutricionais e industriais avaliados em 36 genótipos de soja cultivados em dois locais.

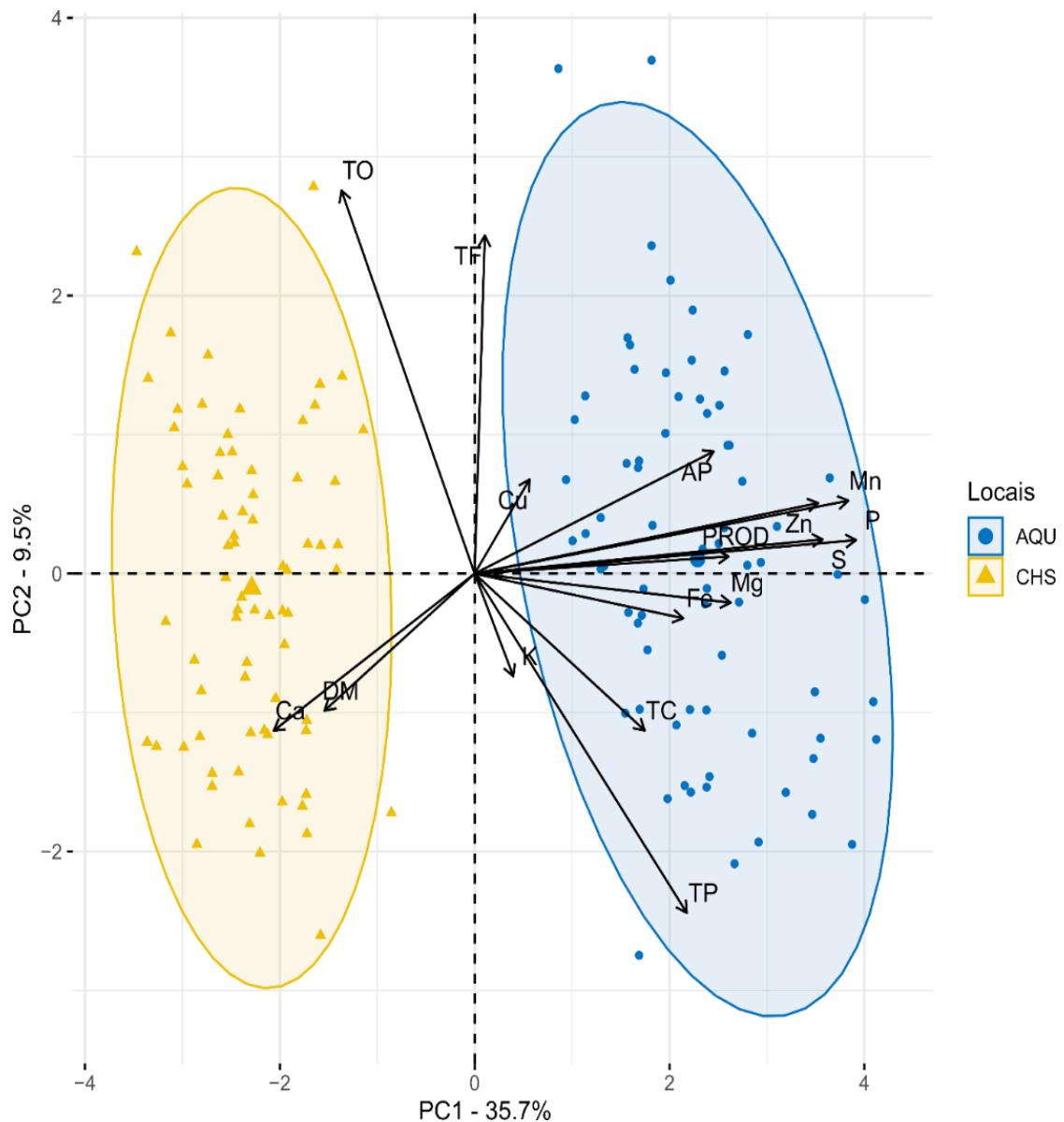
Fonte de variação	Graus de liberdade	F aproximado
Blocos	1	4.01*
Genótipos (G)	35	648.78*
Ambientes (A)	1	3.11*
GxA	35	2.25*
Resíduos	71	---

*: significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

A análise de componentes principais nos locais Aquidauana (AQU) e Chapadão do Sul (CHS) está representado na Figura 4. O primeiro componente principal (PC1) descreve 35,7% da variância dos dados, enquanto o segundo componente principal (PC2) apresenta 9,5%, totalizando 45,2%. Para o local AQU, houve relação entre as variáveis Cu, Mn, Zn, P, S, Mg, Fe, AP, PROD, TC e TP devido à proximidade com os genótipos pertencentes a tal grupo, representado em azul na Figura 4. Para o local CHS, em amarelo, houve proximidade dos vetores Ca e DM.

Figura 4 - Análise de componentes principais para caracteres nutricionais (teores foliares de P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn e Zn), caracteres agronômicos (PROD: produtividade de grãos, AP: altura de planta e DM: dias para maturação) e caracteres industriais (TP: teor de proteína, TO: teor de óleo, TF: teor de fibras e TC: teor de cinzas) avaliados em 36 genótipos de soja cultivados em Aquidauana (AQU) e Chapadão do Sul (CHS).



Fonte: Elaboração do próprio autor.

A Figura 5 apresenta as correlações de Pearson entre os caracteres agronômicos, industriais e nutricionais analisados. Para a relação entre os teores nutricionais, destaca-se o teor P, que se correlacionou-se de forma positiva com S,

Mn, Zn em alta magnitude. A variável S correlacionou-se positivamente e em alta magnitude com Mn e Zn.

A DM esteve correlacionada de forma negativa e em baixa magnitude com os teores de P, S, Mn e Zn. Isso indica que os teores foliares influenciam em pequena magnitude o ciclo dos genótipos de soja.

A PROD e o TP se correlacionaram de forma positiva e em magnitude moderada com os teores de P, Mn e Zn. Quanto a relação entre caracteres tecnológicos, o TO e TF se correlacionaram de forma negativa com TP, enquanto TC se correlacionou de forma positiva. Todas as correlações ocorreram em magnitude moderada. Resultado semelhante entre correlação negativa de TO e TP foram encontradas por (BONATO *et al.*, 2000; GREGGIO; BONINI, 2014; LIANG *et al.*, 2010; MAREGA-FILHO *et al.*, 2001; PANIZZI *et al.*, 2021).

Figura 5 - Scatterplott contendo a distribuição e as correlações de Pearson entre para caracteres nutricionais (teores foliares de P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn e Zn), caracteres agrônômicos (PROD: produtividade de grãos, AP: altura de planta e DM: dias para maturação) e caracteres industriais (TP: teor de proteína, TO: teor de óleo, TF: teor de fibras e TC: teor de cinzas) avaliados em 36 genótipos de soja cultivados em Aquidauana (AQU) e Chapadão do Sul (CHS).



Fonte: Elaboração do próprio autor.

4.3.2 Correlações Canônicas

Observando a probabilidade ($p < 0,05$) pelo teste de Qui-quadrado, nota-se que o primeiro par canônico para Chapadão do Sul foi significativo (Tabela 18). Observa-se no primeiro par canônico em Chapadão do Sul, que a AP e PROD se correlacionam com o P.

Tabela 17 - Correlações canônicas entre caracteres agronômicos e nutricionais avaliados em 36 genótipos de soja cultivados em dois locais.

Caracteres agronômicos	Aquidauana			Chapadão do Sul		
	U1	U2	U3	U1	U2	U3
DM	0,91	-0,46	-0,13	0,17	0,53	0,87
AP	0,41	0,90	-0,16	0,70	0,58	-0,51
PROD	0,40	0,02	0,94	0,47	-0,94	0,21
Caracteres nutricionais	V1	V2	V3	V1	V2	V3
P	0,86	-0,01	-0,32	0,94	0,01	-0,44
K	-0,34	-0,35	-0,41	-0,42	-0,43	-0,06
Ca	0,18	-0,08	0,67	-0,16	0,79	-0,29
Mg	0,06	-0,40	-0,17	0,30	-0,44	0,79
S	-0,24	0,08	-0,15	-0,01	0,10	0,45
Cu	0,09	-0,52	0,31	0,05	-0,47	-0,39
Fe	0,16	0,07	-0,62	0,04	-0,19	-0,03
Mn	-0,34	-0,31	0,30	-0,23	-0,20	-0,04
Zn	0,74	0,50	0,45	-0,40	0,20	0,20
Correlação canônica	0,40 ^{ns}	0,36 ^{ns}	0,25 ^{ns}	0,59*	0,47 ^{ns}	0,29 ^{ns}

Nota: ^{ns} e *: não significativo e significativo a 5% de probabilidade pelo teste qui-quadrado a 5% de probabilidade. Caracteres agronômicos: Dias para maturação (DM), Altura de planta (AP) e Produtividade (PROD). Caracteres nutricionais: Fósforo (P), Potássio (K), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), Enxofre (S), Cobre (Cu), Ferro (Fe) e Manganês (Mn). Fonte: Elaboração do próprio autor.

Observando a probabilidade ($p < 0,05$) pelo teste de Qui-quadrado, nota-se que o primeiro par canônico para Aquidauana e Chapadão do Sul foram significativos (Tabela 19). No primeiro par canônico para Aquidauana, verifica-se que o TP e TO se correlacionam positivamente com o Ca. Em relação ao primeiro par canônico em Chapadão do Sul, observa-se que o TO e TF se correlacionam positivamente com o Mn.

Tabela 18 - Correlações canônicas entre caracteres industriais e nutricionais avaliados em 36 genótipos de soja cultivados em dois locais.

Caracteres industriais	Aquidauana				Chapadão do Sul			
	U1	U2	U3	U4	U1	U2	U3	U4
TP	0,92	0,58	0,53	0,18	0,23	-0,41	0,95	0,22
TO	0,69	-0,71	0,13	0,48	0,90	-0,52	0,21	-0,37
TF	-0,27	-0,27	0,51	0,73	0,63	0,56	0,36	0,55
TC	-0,19	-0,72	0,58	-0,53	0,09	-0,67	-0,54	0,56
Caracteres nutricionais	V1	V2	V3	V4	V1	V2	V3	V4
P	0,13	0,32	-0,21	-0,36	0,35	0,37	-0,25	0,84
K	-0,12	0,12	-0,34	0,16	-0,53	0,31	0,20	-0,16
Ca	0,59	-0,27	0,29	0,14	-0,10	-0,65	0,54	0,54
Mg	-0,36	-0,34	0,93	0,09	-0,24	-0,34	0,05	-0,35
S	-0,01	0,31	0,16	0,40	-0,24	0,29	0,46	-0,72
Cu	0,25	-0,11	-0,09	-0,32	0,11	0,39	0,33	0,34
Fe	-0,27	0,58	-0,15	-0,75	-0,01	-0,30	-0,58	0,09
Mn	-0,22	-0,09	0,00	0,68	0,86	0,12	0,13	-0,26
Zn	0,11	-0,64	-0,17	-0,81	-0,38	0,20	-0,07	0,17
Correlação canônica	0,50*	0,45 ^{ns}	0,38 ^{ns}	0,20 ^{ns}	0,55*	0,42 ^{ns}	0,34 ^{ns}	0,20 ^{ns}

Nota: ^{ns} e *: não significativo e significativo a 5% de probabilidade pelo teste qui-quadrado a 5% de probabilidade. Caracteres industriais: Teor de proteína (TP), Teor de óleo (TO), Teor de fibra (TF), Teor de cinzas (TC). Caracteres nutricionais: Fósforo (P), Potássio (K), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), Enxofre (S), Cobre (Cu), Ferro (Fe) e Manganês (Mn).

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Observando a probabilidade ($p < 0,05$) pelo teste de Qui-quadrado, nota-se que o primeiro par canônico para Aquidauana e Chapadão do Sul foi significativo (Tabela 20). Observa-se que para o primeiro par canônico para Aquidauana e Chapadão do Sul, o DM, AP e PROD, se correlacionam positivamente com o TP.

Tabela 19 - Correlações canônicas entre caracteres agrônômicos e industriais avaliados em 36 genótipos de soja cultivados em dois locais.

Caracteres agrônômicos	Aquidauana			Chapadão do Sul		
	U1	U2	U3	U1	U2	U3
DM	0,51	0,12	0,88	0,54	0,01	0,87
AP	0,74	-0,57	-0,36	0,86	-0,29	0,52
PROD	0,58	0,83	-0,18	0,50	0,99	-0,22
Caracteres industriais	V1	V2	V3	V1	V2	V3
TP	0,99	-0,35	-0,16	0,79	-0,60	0,54
TO	-0,23	-0,78	-0,19	0,33	0,99	0,30
TF	0,60	-0,56	0,63	0,11	0,22	0,80
TC	-0,41	0,29	0,72	0,21	-0,02	0,48
Correlação canônica	0,50*	0,16 ^{ns}	0,03 ^{ns}	0,51*	0,21 ^{ns}	0,09 ^{ns}

Nota: ^{ns} e *: não significativo e significativo a 5% de probabilidade pelo teste qui-quadrado a 5% de probabilidade. Caracteres agrônômicos: Dias para maturação (DM), Altura de planta (AP) e Produtividade (PROD). Caracteres industriais: Teor de proteína (TP), Teor de óleo (TO), Teor de fibra (TF), Teor de cinzas (TC). Fonte: Elaboração do próprio autor.

4.4 DISCUSSÃO

O teor foliar de Mn correlacionou-se de forma positiva com o Zn. Quando há falta de S no solo, mesmo utilizando altas doses de N, P e K, pode não influenciar no aumento da produtividade das plantas, pois ocasiona desequilíbrio nas relações N/S e P/S nas plantas (CRUSCIOL *et al.*, 2006). De acordo com Fageria (2001) ocorre efeito benéfico do Zn sobre a translocação de Mn na cultura da soja.

A produtividade de soja pode ser afetada com a deficiência de P, pois diminuirá a qualidade dos grãos além de ocorrer atraso na maturação da cultura e redução no desenvolvimento de flores (HYLAND *et al.*, 2005). A deficiência de Zn, que tem importante papel na ativação de enzimas, afeta a síntese de RNA pelas plantas, o que consequentemente reduz a síntese de proteínas (SFREDO; BORKERT, 2004). Segundo Mann *et al.* (2002), o Mn tem função indireta na geração de esqueletos de C e N para a síntese de proteínas. Portanto, esses resultados indicam que a seleção de genótipos de soja com maiores teores foliares de P, Mn e Zn possui reflexo direto no aumento da produtividade de grãos e teor de proteína.

Devido aos solos do Cerrado serem intemperizados, a utilização de genótipos eficiente na utilização do P, é de grande importância para a cultura da soja, devido a sua participação em processos metabólicos como exemplo a fotossíntese e respiração (VANCE *et al.*, 2003). A deficiência de P ocasiona diminuição na altura da planta, além de reduzir o desenvolvimento de raízes secundárias (GRANT *et al.*, 2001). Diante disso, selecionar genótipos de soja com maior teor foliar de P acarreta na seleção simultânea de plantas maiores e com maior produtividade.

Mascarenhas *et al.* (1990), ao avaliarem o efeito da calagem nos teores de óleo e proteína na soja em dois locais, observaram que a calagem proporcionou a elevação do teor de proteína e redução do teor de óleo nos grãos. Em outro estudo em relação a calagem, Mascarenhas *et al.* (1996), ao avaliarem quatro cultivares de soja, observaram aumento na produtividade e teor de proteína, porém teve um decréscimo no teor de óleo.

A correlação negativa entre as concentrações de óleo e proteína podem ocorrer devido ao balanço de carbono e nitrogênio disponibilizado para as sementes (PÍPOLO *et al.*, 2002). Ao avaliarem a influência da aplicação de Mn via folha e solo

Mann *et al.* (2002), observaram aumentos na produtividade, germinação, vigor, teores de proteína e óleo da soja.

Diferente deste experimento muitos estudos correlacionam negativamente o TP nos grãos com a produtividade da soja (ALBRECHT *et al.*, 2008; BUENO *et al.*, 2013; GESTEIRA, 2017; PÍPOLO *et al.*, 2015). Esses relatos dificultam a seleção de genótipos para altos teores de proteína devido a possibilidade da diminuição da produtividade de grãos (OBUA *et al.*, 2021).

4.5 CONCLUSÕES

As relações entre grupos de caracteres nutricionais, agronômicos e tecnológicos em soja são afetadas pela interação genótipos x ambientes.

A seleção de genótipos de soja com maiores teores foliares de fósforo, manganês e zinco possui reflexo direto no aumento da produtividade de grãos e teor de proteínas.

O teor foliar de fósforo se relaciona positivamente com a altura da planta e dias para maturação em Chapadão do Sul. O teor foliar de cálcio se relaciona positivamente com teor de proteína e óleo em Aquidauana. O teor foliar de manganês se correlaciona positivamente com teor de óleo e fibra em Chapadão do Sul. O teor de proteína é afetado diretamente pelos caracteres agronômicos em ambos os locais.

REFERÊNCIAS

- ALBRECHT, L. P.; BRACCINI, A. L.; AVILA, M. R.; SUZUKI, L. S.; SCAPIM, C. A.; BARBOSA, M. C. Teores de óleo, proteínas e produtividade de soja em função da antecipação da semeadura na região oeste do Paraná. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 4, p. 865-873, 2008.
- ALBUQUERQUE, J. R. T.; LINS, H. A.; SANTOS, M. G.; FREITAS, M. A. M.; SILVEIRA, M.; NUNES, G. H. S.; JÚNIOR, A. P. B.; VIEIRA, P. F. M. J. Environmental variables in the G x E interaction in soybean in the semiarid. **Revista Ciência Agronômica**, Jaboticabal, v. 54, n. e20218211, p. 1-12, 2023.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTRY - AOAC. **Official methods of analysis of the association of official analytical chemistry**. Gaithersburg: AOAC, 2000. 4 p.
- BEZERRA, A. R. G.; SEDIYAMA, T.; SILVA, F. L. S.; BORÉM, A.; SILVA, A. F.; SILVA, F. C. S. Agronomical Aspects of the Development of Cultivars. In: LOPES, F. S.; BORÉM, A.; SEDIYAMA, T.; LUDKE, W. H. **Soybean breeding**. Cham: Springer; p. 395-411, 2017.
- BONATO, E. R.; BERTAGNOLLI, P. F.; LANGE, C. E.; RUBIN, S. A. L. Teor de óleo e de proteína em genótipos de soja desenvolvidos após 1990. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 35, n. 12, p. 2391-2398, 2000.
- BORÉM, A.; MIRANDA, G. V.; FRITSCHÉ-NETO, R. **Melhoramento de plantas**. Viçosa: Ed. da UFV, 2017. 543 p.
- BUENO, R. D.; BORGES, L. L.; ARRUDA, K. M. A.; BHERING, L. L.; BARROS, E. G.; MOREIRA, M. A. Genetic parameters and genotype x environment interaction for productivity, oil and protein content in soybean. **African Journal of Agricultural Research**, Sapele, v. 8, n. 38, p. 4853-4859, 2013.
- CARNEIRO, A. K.; BRUZI, A. T.; PEREIRA, J. L. A. R.; ZAMBIAZZI, E. V. Stability analysis of pure lines and a multiline of soybean in different locations. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Vicoso, MG, v. 19, n. 4, p. 395-401, 2019.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos: safra 2022/23**. Brasília, DF: CONAB, 2023. (Sétimo levantamento).
- CRUSCIOL, C. A. C.; SORATTO, R. P.; SILVA, L. M.; LEMOS, L. B. Aplicação de enxofre em cobertura no feijoeiro em sistema de plantio direto. **Bragantia**, Campinas, v. 65, n. 3, p. 459-465, 2006.
- DARONCH, D. J.; PELUZIO, F. S.; TAVARES, A. T.; SOUZA, C. M. Eficiência ambiental e divergência genética de genótipos de soja na região central do Tocantins. **Revista Cultura Agronômica**, Ilha Solteira, v. 28, n. 1, p. 1-18, 2019.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p.

FAGERIA, V.D. Nutrient interactions in crop plants. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 24, n. 8, p. 1269-1290, 2001.

FAUCONNIER, D.; MALAVOLTA, E. **Adubação para produtividade e qualidade: soja**. Basel: Instituto Internacional da Potassa, 1999. 74 p.

GESTEIRA, G. S. **Seleção de linhagens de soja precoce para produtividade e qualidade de grãos**. 2017. 58 f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2017.

GRANT, C. A.; FLATEN, D. N.; TOMASIEWICZ, D. J.; SHEPPARD, S. C. A importância do fósforo no desenvolvimento inicial da planta. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, v. 95, p. 1-16, 2001.

GREGGIO, E. A.; BONINI, E. A. Qualidade do Grão de Soja Relacionada com o Teor de Acidez do Óleo. **Revista em Agronegócios e Meio Ambiente**, Maringá, v. 7, n. 3, p. 645-658, 2014.

HYLAND, C. K.; KETTERINGS, Q.; DEWIG, D.; STOCKIN, K.; CZYMMEK, K.; ALBRECHT, G.; GEOHRING, L. Phosphorus basics - The phosphorus cycle. **Agronomy Fact Sheet Series**, Ithaca, v. 12, p. 1-2, 2005.

LIANG, H.; YU, Y.; WANG, S.; LIAN, Y.; WANG, T.; WEI, Y.; ZHANG, M. (2010). QTL Mapping of Isoflavone, Oil and Protein Contents in Soybean (*Glycine max* L. Merr.). **Agricultural Sciences in China**, Oxford, n. 9, v. 8, p. 1108-1116, 2010.

MANN, E. N.; REZENDE, P. M.; MANN, R. S.; CARVALHO, J. G.; VON PINHO, E. V. R. Efeito da aplicação de manganês no rendimento e na qualidade de sementes de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 37, p. 1757-1764, 2002.

MAREGA-FILHO, M.; DESTRO, D.; MIRANDA, L. A.; SPINOZA, W. A.; PANIZZI, M. C. C.; MONTALVÁN, R. Relationships among oil content, protein content and seed size in soybeans. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v. 44, n. 1, p. 23-32, 2001.

MASCARENHAS, H. A. A.; TANAKA, R. T.; GALLO, P. B.; PEREIRA, J. C. V. N. A.; AMBROSANO, G. M. B.; CARMELLO, Q. A. C. Efeito da calagem sobre a produtividade de grãos, óleo e proteína em cultivares precoces de soja. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 53, n. 1, p. 164-172, 1996.

MASCARENHAS, H. A. A.; TEIXEIRA, J. P. F.; NAGAI, V.; TANAKA, R. T.; GALLO, B. B.; PEREIRA, J. C. V. N. A. A calagem nos teores de óleo e proteína em soja. **Bragantia**, Campinas, v. 49, n. 1, p. 171-182, 1990.

MATEI, G.; WOYANN, L. G.; DALLÓ, S. C.; MILIOLI, A. S.; ZDZIARSKI, A. D. Agronomic performance of modern soybean cultivars in multi-environment trials. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 52, n. 7, p. 500-511, 2017.

MEOTTI, G. V.; BENIN, G.; SILVA, R. R.; BECHE, E.; MUNARO, L. B. Épocas de semeadura e desempenho agrônômico de cultivares de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v.47, n. 1, p.14-21, 2012.

MILIOLI, A. S.; ZDZIARSKI, A. D.; WOYANN, L. G.; SANTOS, R.; ROSA, A. C.; MADUREIRA, A.; BENIN, A. Yield stability and relationships among stability parameters in soybean genotypes across years. **Chilean Journal of Agricultural Research**, Chillan, v. 78, n. 2, p. 299-309, 2018.

OBUA, T.; SSERUMAGA, J. P.; AWIO, B.; NGANGA, F.; MUKASA, S. B.; NABASIRYE, M. Multi-Environmental Evaluation of Protein Content and Yield Stability among Tropical Soybean Genotypes Using GGE Biplot Analysis. **Agronomy**, Basel, v. 11, n. 7, 2021.

PANIZZI, M. C. C.; PIRES, J. L. F.; STRIEDER, M. L.; LEITE, R. S.; OLIVEIRA, M. C. N.; CORASSA, G. M. **Teores de óleo e proteína em genótipos de soja em diferentes situações de manejo**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2021. 27 p. (Circular Técnica Online, 60).

PERKINS, E. G. Composition of soybeans and soybeans products. In: ERICKSON, D. R. **Practical Handbook of Soybean Processing and Utilization**. Champaign: AOCS; St. Louis: United Soybean Board, 1995. p. 9-28.

PÍPOLO, A. E. **Influência da temperatura sobre as concentrações de proteína e óleo em sementes de soja (Glycine max (L.) Merrill)**. 2002. 128 f. Tese (Doutorado em Agronomia), Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

PIPOLO, A. E.; HUNGRIA, M.; FRANCHINI, J. C, BALBINOT JUNIOR, A. A.; DEBIASI, H.; MANDARINO, J. M. G. **Teores de óleo e proteína em soja: fatores envolvidos e qualidade para a indústria**. Londrina: Embrapa Soja, 2015. 15 p. (Comunicado técnico, 86).

SANTOS, E. R.; SPEHAR, C. R.; PEREIRA, P. R.; CAPONE, A.; BARROS, H. B. Parâmetros genéticos e avaliação agrônômica em progênies F₂ de soja no Distrito Federal, Brasil. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, [s. l.], v. 14, n. 1, 2019.

SEDIYAMA T. **Tecnologia de produção e usos da soja**. Londrina: Ed. Mecenas. 2009. 314 p.

SFREDO, G. J.; BORKERT, C. M. **Deficiências e toxicidades de nutrientes em plantas de soja**. Londrina: Embrapa, 2004. 44 p. (Documentos, n. 231).

SILVA, F. C. D. S. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009.

TEIXEIRA, F. G.; HAMAWAKI, O. T.; NOGUEIRA, A. P. O.; HAMAWAKI, R. L.; JORGE, GL.; HAMAWAKI, C. L.; MACHADO, B. Q. V.; SANTANA, A. J. O. Genetic parameters and selection of soybean lines based on selection indexes. **Genetics and molecular research**, Ribeirão Preto, v.16, n. 3, 2017.

VANCE, C. P.; UHDE-STONE, C.; ALLEN, D. L. Phosphorus acquisition and use: Critical adaptations by plants for securing a nonrenewable resource. **New Phytologist**, Lancaster, v. 157, n. 3, p. 423-447, 2003.

WYSMIERSKI, P. T. **Seleção de linhagens experimentais de soja para tolerância à ferrugem asiática e produtividade**. 2015. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2015.