



**LAURENIA OLIVEIRA PESSONI**

**SELEÇÃO SIMULTÂNEA PARA PRODUTIVIDADE,  
PRECOCIDADE E ALTO TEOR DE PROTEÍNA EM SOJA**

**LAVRAS-MG  
2021**

**LAURENIA OLIVEIRA PESSONI**

**SELEÇÃO SIMULTÂNEA PARA PRODUTIVIDADE,  
PRECOCIDADE E ALTO TEOR DE PROTEÍNA EM SOJA**

Dissertação apresentada a Universidade Federal de Lavras-UFLA, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas, área de concentração em Genética Quantitativa, para a obtenção do título de Mestre.

Prof. Adriano Teodoro Bruzi  
Orientador

Prof. Carlos Eduardo Pulcinelli  
Coorientador

**LAVRAS-MG  
2021**

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca  
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Pessoni, Laurenia Oliveira.

Seleção simultânea para produtividade, precocidade e alto teor  
de proteína em soja / Laurenia Oliveira Pessoni. - 2021.

52 p.

Orientador(a): Adriano Teodoro Bruzi.

Coorientador(a): Carlos Eduardo Pulcinelli.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de  
Lavras, 2021.

Bibliografia.

1. Glycine max (L) Merrill. 2. Melhoramento Genético. 3.  
Correlação. I. Bruzi, Adriano Teodoro. II. Pulcinelli, Carlos  
Eduardo. III. Título.

**LAURENIA OLIVEIRA PESSONI**

**SELEÇÃO SIMULTÂNEA PARA PRODUTIVIDADE,  
PRECOCIDADE E ALTO TEOR DE PROTEÍNA EM SOJA**

**SIMULTANEOUS SELECTION FOR YIELD, PRECOCITY AND PROTEIN  
CONTENT IN SOYBEAN**

Dissertação apresentada a Universidade Federal de Lavras-UFLA, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas, área de concentração em Genética Quantitativa, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 31 de MAIO de 2021.

Dra. Hélia Alves de Mendonça      MAPA  
Dr. José Maria Villela Pádua      DAG/UFLA

Prof. Adriano Teodoro Bruzi  
Orientador

Prof. Carlos Eduardo Pulcinelli  
Coorientador

**LAVRAS-MG  
2021**

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, por me guiar e permitir todas as vivências.

Aos meus pais, pelo apoio incondicional e valores transmitidos.

À Universidade Federal de Lavras e ao Departamento de Biologia, pela oportunidade concedida para realização do mestrado.

Ao Professor Doutor Adriano Teodoro Bruzi, pela orientação, competência, profissionalismo e comprometimento.

A equipe Pesquisa Soja, pela dedicação, compartilhamento diário de conhecimento e experiências profissionais e pela amizade.

A Maiara Oliveira Fernandes, pelo apoio como amiga, rommate e pela paciência e dedicação para com as análises de dados.

Aos funcionários do setor de grandes culturas, em especial Antônio, Edésio, Ezequiel e Arnald.

Aos membros da banca pela disponibilidade e contribuições ao trabalho.

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

Às demais agências de fomento pelo financiamento concedido à realização deste projeto.

## RESUMO

As elevadas produtividades das cultivares de soja são atribuídas às melhorias no manejo e ao melhoramento genético da cultura. Neste último caso, são considerados vários caracteres visando à seleção de genótipos e recomendação de cultivares. Alguns vêm sendo amplamente estudados pelos pesquisadores e melhoristas de soja como por exemplo precocidade e produtividade de grãos. O estudo da associação entre caracteres possibilita um melhor entendimento das relações existentes entre os mesmos, ampliando as possibilidades de sucesso com a seleção. Logo, com o propósito de atender a demanda atual do mercado e dos agricultores e da indústria por genótipos que apresentem produtividade, precocidade e qualidade de grãos, objetivou-se selecionar progênies de soja precoces, produtivas e que apresentem alto teor de proteína nos grãos. Os experimentos foram conduzidos nos municípios de Lavras e Ijaci, Estado de Minas Gerais, nos anos agrícolas 2018/19 e 2019/20. Foram utilizadas progênies segregantes obtidas de populações  $F_2$ . As progênies  $F_{2:3}$  e  $F_{2:4}$  foram avaliadas em delineamento de blocos incompletos (DBI) em látice simples  $13 \times 13$  e látice retangular triplo  $9 \times 10$ , respectivamente. Em  $F_{2:3}$  as parcelas foram constituídas de 1 linha de 2,0 metros espaçadas em 0,6m e em  $F_{2:4}$  com 2 linhas de 3,0 metros espaçadas em 0,6m. Ambas as semeaduras foram realizadas manualmente no final de outubro. Os caracteres avaliados foram: maturação absoluta, produtividade de grãos e teor de proteína nos grãos. As análises do teor percentual de proteína foram realizadas pela técnica Espectroscopia no Infravermelho Próximo com leituras em triplicata. Os dados foram analisados com auxílio do software R, via abordagem de modelos mistos. Os resultados obtidos permitem inferir que há variabilidade genética entre as progênies para maturação absoluta e produtividade, e que a associação entre os caracteres avaliados foi de baixa magnitude. É possível obter genótipos precoce e produtivos.

**Palavras-chave:** *Glycine max* (L.) Merrill. Melhoramento Genético. Correlação.

## ABSTRACT

The high yields of soybean cultivars are attributed to crop management and genetic improvement of the crop. In the latter case, several traits are considered in order to select genotypes and recommend cultivars. Some have been widely studied by researchers and soybean breeders, such as precocity and grain yield. The study of the association between traits allows a better understanding of the relationships between them, expanding the possibilities of success with the selection. Therefore, in order to meet the current demand of the market, farmers and industry for genotypes that show yield, precocity and grain quality, the objective was to select early, high yielding soybean progenies with high protein content in the grains. The experiments were carried out in the municipalities of Lavras and Ijaci, State of Minas Gerais, in the crop season 2018/19 and 2019/20. Segregating progenies obtained from  $F_2$  populations were used. The  $F_{2:3}$  and  $F_{2:4}$  progenies were evaluated in an incomplete block design (DBI) in 13x13 single lattice and 9x10 triple rectangular lattice, respectively. In  $F_{2:3}$  the plots consisted of 1 line of 2.0 meters spaced 0.6m apart and in  $F_{2:4}$  two lines of 3.0 meters spaced 0.6m apart. Both sowings were carried out manually at the end of October. The traits evaluated were: absolute maturation, grain yield and grain protein content. Percent protein content analysis were performed using the Near Infrared Spectroscopy technique with readings in triplicate. Data were analyzed using the R software, using mixed model approach. The results obtained allow us to infer that there is genetic variability among the progenies for absolute maturation and yield, and that the association between the evaluated traits was of low magnitude. It is possible to obtain early and high yielding genotypes.

**Keywords:** *Glycine max* (L.) Merrill. Genetical Enhancement. Correlation.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>8</b>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>10</b>
2.1	A cultura da soja no brasil.....	10
2.2	Composição dos grãos de soja .....	11
2.3	Associação entre caracteres na cultura da soja .....	14
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>17</b>
3.1	Local .....	17
3.2	Tratamentos .....	17
3.3	Obtenção dos cruzamentos .....	17
3.4	Obtenção das progênes avaliadas .....	18
3.5	Condução dos experimentos .....	18
3.6	Análise estatística .....	19
3.7	Estimativas de parâmetros genéticos e fenotípicos.....	21
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>24</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>38</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>39</b>
	<b>APÊNDICE .....</b>	<b>44</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O melhoramento genético de plantas no Brasil tem se destacado por sua eficiência, agregando expressivos ganhos para a agricultura brasileira. Tornou-se indispensável para a melhoria na produtividade e qualidade dos produtos agrícolas, associadas a sustentabilidade ambiental (RAMALHO, *et al.*, 2010).

A soja é a cultura anual mais importante do país, com mérito para os programas de melhoramento genético vegetal, sendo o Brasil o maior produtor mundial da cultura, com uma produção estimada pela Conab (2021) de 135,41 milhões de toneladas, um aumento de 8,5% em relação a safra anterior. A leguminosa também é responsável por alavancar os avanços tecnológicos agrícola para várias regiões do país, tendo o complexo agroindustrial da soja uma expressiva importância socioeconômica para o setor (KIIHL, 2017).

A cultura é fonte de óleo e proteína vegetal, neste contexto, a soja possui importância econômica mundial, sendo utilizada para diversos fins, tanto na alimentação humana e animal, como para produtos industriais e matéria-prima para a agroindústria. Há poucos países produtores com capacidade para atender a sua crescente demanda e entre esses o Brasil é fundamental (SEDIYAMA, SILVA e BORÉM, 2015).

Segundo Mandarino (2018), a proteína da soja é a melhor do reino vegetal com possibilidade de substituir as proteínas animais, do ponto de vista nutricional, pois contém todos os aminoácidos essenciais, excetuando-se apenas os aminoácidos sulfurados (metionina e cistina). Esses dois aminoácidos apresentam níveis baixos de concentração, tanto nos grãos quanto nos derivados. A leguminosa em questão, é também a principal fonte de proteína utilizada para se produzir proteínas de origem animal, ou seja, carnes, leite e ovos. Logo, esses sistemas de produção são expressivamente dependentes do farelo de soja, tendo como consequência a leguminosa como a principal commodity agrícola do Brasil.

Em se tratando de economia e sustentabilidade, para evitar o aumento de custos e abertura de áreas, o produtor tem hoje uma única opção, o aumento da produtividade, buscando conciliar o que é produzido com o que é demandado. Diante desse pensamento, o caráter produtividade sobressai-se como critério de maior importância, sendo também, o de maior interesse nos programas de melhoramento genético vegetal.

O mercado internacional está cada vez mais exigente em relação ao teor de proteína da soja brasileira. Em 2017, a China, maior importadora de soja do mercado brasileiro, fez reclamações ao ministério da Agricultura sobre o teor de proteína dos grãos, o que gerou um alerta para a necessidade de atingir o teor ideal de proteína da soja, que deve variar entre 37%

a 43% (SOJA, 2020).

Para evitar atritos com o mercado chinês, a Associação Nacional dos Exportadores de Cereais (Anec) promoveu mudanças no contrato padrão de exportação, estabelecendo parâmetros de qualidade que não incluem uma porcentagem mínima de teor de proteína, mas permite aos exportadores definir padrões de qualidade em negociações diretas com seus clientes. Por isso, produtores que querem fazer bons negócios com países importadores de soja, como a China, devem priorizar o teor de proteína presente após a colheita da soja. Afinal, esse é um grande diferencial competitivo no mercado (SOJA, 2020).

De acordo com os relatos apresentados por Pípolo, *et al.* (2015) as empresas de melhoramento genético de soja no Brasil não têm dado ênfase para caracteres como teores de óleo e proteína nos grãos, tendo como consequência perdas na qualidade do grão. Isso se deve principalmente, como supracitado, ao fato de priorizarem cultivares com alta produtividade, além do fato do produtor brasileiro ainda não ser remunerado por produzir cultivares com destaque para proteína.

A maioria dos trabalhos apresenta background com correlação negativa entre a concentração de proteína e produtividade de grãos, tomando isso como verdade, é requerido mais tempo e esforço em melhoramento genético vegetal visando a obtenção de uma nova cultivar que associe fenótipos desejáveis para todos esses caracteres.

Além dos atributos agronômicos já mencionados, é de interesse também obter cultivares precoces de soja, com o intuito de atender as demandas do sistema de produção das culturas anuais, possibilitando ao produtor rural uma melhor otimização do sistema de produção com o plantio da safra (primavera/verão) e posteriormente da safrinha (outono/inverno). Assim, aumenta a probabilidade de escapar das estiagens em períodos críticos de desenvolvimento da planta, de minimizar a quantidade de aplicações de defensivos na lavoura e de antecipar a colheita da primeira safra (soja), tendo como consequência uma melhor época de semeadura da segunda safra, geralmente o milho (GESTEIRA, *et al.*; 2015).

Diante desse cenário, objetivou-se obter progênies de soja que associem precocidade, produtividade e que ainda apresentem alto teor de proteína, ou seja, obter genótipos que atendam aos interesses diversos da cadeia produtiva da soja.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 A cultura da soja no brasil

A soja originou-se no nordeste da China, por volta do século XVII AEC (HYMOWITZ, 1970). Contudo, a soja cultivada, *Glycine max* (L.), nunca foi encontrada na forma silvestre (SEDIYAMA, TEIXEIRA e REIS., 1999). De acordo com Dall'agnol (2016), o primeiro registro de pesquisa de soja no Brasil é atribuído ao professor Gustavo D'Utra, em 1882, no Recôncavo Baiano. Entretanto, não houve êxito na introdução da cultura no país, pois as cultivares testadas não eram adaptadas à região.

Em 1914, a soja foi de São Paulo (SP) para o Rio Grande do Sul (RS), levada por imigrantes japoneses, tendo como centro o município de Santa Rosa conhecido como o “berço nacional da soja”. Foi no RS que as variedades trazidas dos Estados Unidos melhor se adaptaram às condições de clima, solo e principalmente de fotoperíodo (BONETTI, 1981; BONATO e BONATO, 1987).

Com o intuito de expandir a cultura dentro do Brasil, foram implantados programas de melhoramento de soja no país, o que possibilitou o avanço para as regiões de baixas latitudes, através do desenvolvimento de cultivares mais adaptadas por meio da incorporação de alelos que retardam o florescimento mesmo em condições de fotoperíodo indutor, conferindo a característica de período juvenil longo (KIIHL e GARCIA, 1989).

A partir dos anos 1970 a produção da soja passou a ter grande importância para o agronegócio, devido ao aumento das áreas cultivadas, pelo incremento da produtividade e principalmente pela utilização de novas tecnologias agrícola como por exemplo a sua tropicalização e a adoção da prática da inoculação (CERICATTO, LIMA e BATISTA, 2011).

A cultura da soja é considerada uma das responsáveis por tornar o Brasil um país do agronegócio, isso se deve à estrutura e consolidação de todos os fatores necessários no processo de sua cadeia de produção, como empresas de pesquisa de desenvolvimento, fornecedores de insumos e indústrias de máquinas e equipamentos (BRUM, *et al.*, 2002).

Atualmente o Brasil é o maior exportador de soja do planeta (CONAB, 2019). O complexo soja, composto pela soja em grãos e seus derivados, como óleo e farelo de soja, foi o principal produto exportado em 2017, representando 14,10% de toda a exportação brasileira, ou seja, US\$ 30,69 bilhões, ficando à frente de produtos importantes como minérios, petróleo e combustíveis (CONAB, 2018).

O Brasil produziu na safra 2018/19 114,843 milhões de toneladas em 35,88 milhões de hectares de área plantada, constituindo-se na segunda maior safra da série no país. A cultura teve um aumento de 672,8 mil hectares de área plantada, resultando no acréscimo de 1,9% em relação a safra 2017/18, porém houve decréscimo de 3,7% na produção. Do total produzido, 78% estão nas Regiões Centro-Oeste e Sul. O estado do Mato Grosso lidera o ranking como maior produtor brasileiro de soja com uma produção de 32,5 milhões de toneladas em uma área plantada de 9,7 milhões de hectares, seguido do Rio grande do Sul, Paraná, Goiás e Mato Grosso do Sul, mas a produção de soja está migrando também para áreas no Maranhão, Tocantins, Pará, Rondônia, Piauí e Bahia, que em 2018/19 respondem por 14,0% da produção brasileira (CONAB, 2019).

Dados apresentados pela CONAB (2019) relatam que Minas Gerais lidera a produção da região sudeste com 5,1 milhões de toneladas em 1,6 milhões de hectares plantados. Segundo dados do IBGE/LSPA (2019) *apud* Secretaria de Estado de Agricultura, Pecuária e Abastecimento de Minas Gerais (2019), o município de Unaí localizado no noroeste de Minas é o maior produtor de soja do estado, seguido de Buritis, Paracatu, Uberaba e Guarda-mor, estes dois últimos estão localizados no Triângulo Mineiro.

De acordo com a Secretaria do Estado de Agricultura Pecuária e Abastecimento de Minas Gerais (SEAPA), no último levantamento (dezembro/2019) a região Sul de Minas Gerais/campo das vertentes, relatou um incremento expressivo para safra atual 2019/2020 em relação à safra anterior com produção de 443,16 mil toneladas em uma área de 127,82 mil hectares com bons índices de produtividade (SEAPA, 2020). A região é conhecida pela produção de café e de leite, entretanto, a cultura da soja vem ganhando espaço entre os produtores. É uma excelente alternativa de renda e apresenta papel fundamental na sucessão e rotação com a cultura do milho (CARVALHO et al., 2010; SOARES, 2018).

## **2.2 Composição dos grãos de soja**

O grão de soja é composto de endosperma, casca e embrião, esse último é responsável por 90% do peso do grão e constitui-se de dois cotilédones e eixo embrionário. No grão em desenvolvimento ocorre uma fase de intensa divisão celular nas duas primeiras semanas após a polinização. Esse processo vai diminuindo gradativamente até o número máximo de células do embrião ser atingido. Os aumentos subsequentes no tamanho das células são devidos principalmente ao acúmulo de óleo e proteína nos cotilédones que tem a função de

armazenamento de reservas, por isso os cotilédones são extremamente importantes no ponto de vista comercial, pois são fontes de óleo e proteína (BILS e HOWELL, 1963; EGLI, 1994; MEDIC, ATKINSON e HURBURGH JR, 2014).

A composição bromatológica do grão de soja é formada por proteínas ( $\cong 36,5\%$ ), carboidratos ( $\cong 27\%$ ), lipídios ( $\cong 20\%$ ), cinzas ( $\cong 5,5\%$ ), umidade ( $\cong 11\%$ ), minerais e vitaminas. De acordo com os efeitos ambientais, genéticos e de interação, essa composição pode ser alterada (JUHÁSZ, CIABOTTI e TEIXEIRA, 2017).

Os componentes presentes no grão de soja em proporções menores são os minerais, vitaminas, fitatos e compostos fenólicos. Dentre as vitaminas encontram-se em maiores quantidades as vitamina B3 e a vitamina E. Entretanto, as vitaminas A, B1, B2, B6 também estão presentes. Dentre os minerais, os macronutrientes encontrados em maior quantidade na soja são o potássio, o fósforo, o cálcio e o magnésio e os micronutrientes são o zinco e o ferro. (MANDARINO, 2017).

Os carboidratos encontram-se em grande quantidade no grão de soja, representando cerca de 27% do peso do grão seco, esses carboidratos são constituídos por fibras ( $\cong 17\%$ ) e por açúcares ( $\cong 10\%$ ). As fibras estão presentes na casca do grão e representam os carboidratos insolúveis, são compostas de celulose, hemicelulose e lignina. O principal carboidrato solúvel presente é a sacarose, a qual constitui cerca de 5% do grão de soja, os demais são oligossacarídeos (estaquiase e rafinose) (CARRÃO-PANIZZI e MANDARINO, 1998; KARR-LILIENTHAL, *et al.*, 2005).

Assim como os carboidratos, a proteína presente no grão de soja encontra-se em abundância, além disso, a leguminosa destaca-se pela qualidade da proteína em relação à outros vegetais. As principais proteínas armazenadoras da soja são a glicinina (11S) e a conglucina (7S), que representam cerca de 70% da proteína total do grão, sendo a primeira responsável por mais de 50% da proteína na maioria das variedades. (THANH e SHIBASAKI, 1976).

Os teores de proteína dos grãos de soja são determinados por fatores genéticos, contudo, são fortemente influenciado pelo ambiente (RANGEL, CAVALHEIRO, *et al.*, 2004.).

As condições climáticas durante o cultivo da soja interferem no teor de proteína nos grãos, pois a disponibilidade de nitrogênio durante o período de enchimento de grãos interfere na concentração de proteína dos mesmos, logo, fatores que favoreçam a fixação biológica de nitrogênio como a qualidade do inoculante, assim como a quantidade e disponibilidade de

água para a planta, a correção da acidez do solo, a temperatura, o suprimento de cobalto e molebidênio são tão essenciais quanto a utilização de genótipos que apresentem teores elevados de proteína nos grãos (PÍPOLO e MANDARINO, 2016).

Há linhagens de soja especiais capazes de atingir teores superiores a 45% de proteína, essas são normalmente utilizadas nos cruzamentos em programas de melhoramento genético afim de originar materiais com alto teor de proteína. Entretanto, devido a importância dada nos programas de melhoramento genético de plantas para a produtividade e resistência às pragas, a qualidade do grão de soja tem ficado à desejar. A redução dos teores de proteína nos grãos de soja não tem como causa somente a circunstância citada acima, mas também, se não principalmente, o fato da inexistência de incentivo econômico no Brasil para a utilização de genótipos com alto teor proteico, pois o produtor recebe por tonelada entregue, independentemente do teor de proteína (PÍPOLO, *et al.*, 2015; MANDARINO, 2018).

Nas indústrias a soja recebe o nome de complexo soja, o qual é composto pelos grãos e seus derivados, que são principalmente o óleo e o farelo.

O farelo de soja é um subproduto da indústria de óleo e está disponível comercialmente, com valores de proteína variando entre 44% a 48%, sendo um alimento de alta aceitabilidade e pode ser usado como fonte única de proteína em rações (THIAGO e SILVA, 2003).

As indústrias vem enfrentando dificuldades diante da imprevisibilidade em relação a qualidade do grão de soja. Os fabricantes de ração animal que utilizam a soja como matéria-prima enfrentam uma realidade diferente da vivida na década de 1990, na qual o Brasil produzia o farelo da leguminosa com 46% - 48% de proteína. Infelizmente os grãos de soja não atendem mais esse padrão, o que dificulta e encarece a produção de farelos que supram as necessidades de proteína exigida na nutrição animal. Devido a queda da qualidade do grão, o teor de proteína ideal no farelo não é mais facilmente conseguido, tendo como consequência uma ração mais cara para o consumidor final (EMBRAPA, 2015).

De acordo com os dados apresentados pelo MAPA (2019) na safra de 2018/19 o Brasil exportou 16,9 milhões de toneladas de farelo de soja e 1,4 milhão de toneladas de óleo.

A alta produção de soja no Brasil na próxima década será impulsionada pelo aumento da demanda global e consumo interno. Estima-se que na safra 2028/2029 a produção de soja em grão no Brasil será de 151,873 milhões de toneladas, com exportação de 96,43 milhões de toneladas. O país produzirá 38,875 milhões de toneladas de farelo de soja e exportará 16,875 milhões de toneladas, a respeito do óleo de soja serão produzidas 10,102 milhões de toneladas

e exportadas 890 mil toneladas (GASQUES, *et al.*, 2019).

Em relação aos lipídeos, a maior parte é composta por triacilgliceróis. Os ácidos graxos insaturados representam 86% do total de lipídios na soja, e 60% destes são ácidos graxos essenciais, sendo constituído basicamente por cinco ácidos graxos principais: 11% de ácido palmítico, 4% de ácido esteárico, 25% de ácido oleico, 52% de ácido linoleico e 8% de ácido linolênico, sendo este último um ácido graxo da família ômega 3 de grande importância à saúde humana. A composição e a distribuição desses ácidos são responsáveis por garantirem a qualidade do óleo, o sabor, a estabilidade oxidativa e a digestibilidade (CARRÃO-PANIZZI e MANDARINO, 1998; GRAEF, 2009; SILVA *et al.*, 2010).

É grande o investimento visando desenvolver cultivares que ofereçam características funcionais e nutricionais aprimoradas para óleo. A produção de soja com alto teor de ácido oleico é a mais recente inovação da indústria de soja e está sendo desenvolvida através do melhoramento genético vegetal. O processo patenteado é produto de uma parceria entre a Universidade de Missouri (MU), Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA), Conselho de Merchandising de Soja do Missouri e United Soybean Board (MISSOURI SOYBEANS, 2019). O óleo de soja com alto teor oleico pode ser obtido por meio da transformação genética ou melhoramento convencional (PURDUE UNIVERSITY - College of Agriculture, 2019).

O óleo de soja com teor oleico elevado ( $\cong 79\%$ ) está em ascensão, pois são ricos em gordura monoinsaturada, possuem baixo teor de gordura saturada e não contém gordura trans, pelo fato da necessidade reduzida de hidrogenação, ao contrário dos óleos comuns, os quais possuem em grandes quantidades as gorduras poliinsaturadas e saturadas (JOHNSON, WHITE e GALLOWAY, 2015).

Óleos que apresentam teor de ácido oleico acima de 80% são muito mais estáveis nas prateleiras que os convencionais possuindo um prazo de validade prolongado e proporcionam vida útil adicional aos produtos nos quais são utilizados. Possuem a característica de durarem mais quando expostos a altas temperaturas, devido a estabilidade térmica e oxidativa do óleo, tendo como consequência uma redução nos custos das indústrias para com os mesmos e consequentemente no número de recipientes plásticos destinados ao seu armazenamento. Esses óleos também beneficiam os consumidores finais, pois fazem bem à saúde humana (QUALISOY, 2019).

### **2.3 Associação entre caracteres na cultura da soja**

Os programas de melhoramento visam não somente aprimorar um caráter principal, por exemplo a produtividade, mas também melhorar o maior número possível de caracteres. Assim, conhecer as informações a respeito da correlação entre as características que se deseja trabalhar é de grande interesse para os melhoristas (MIRANDA, 2006).

Por meio da correlação de caracteres é possível certificar-se se a variação de um determinado caráter pode estar associada a variação de outro caráter. É possível estimar a correlação em três graus, são eles o fenotípico, genotípico e ambiental, sendo os dois últimos os principais, pois na determinação do fenótipo estão envolvidas tanto as causas genéticas quanto as ambientais. Considerando dois caracteres correlacionados fenotipicamente e de baixa herdabilidade, a correlação de ambiente predomina na correlação fenotípica, e se for de alta herdabilidade a genotípica se destaca (MIRANDA, 2006; FALCONER, 1987; CRUZ, REGAZZI e CARNEIRO, 2012).

O conhecimento do comportamento associativo entre os caracteres de interesse é de extrema importância quando o objetivo é realizar a seleção de maneira indireta. Ao ser identificado um caráter de fácil avaliação e que possua uma alta correlação com o caráter ao qual se tem grande interesse, cuja avaliação é difícil, o trabalho do melhorista é facilitado. Assim, é facilitada a escolha do melhorista da estratégia de melhoramento mais indicada, tornando maiores as probabilidades de obtenção de um genótipo superior e aumentando as chances de êxitos nos programas de melhoramento (NOGUEIRA, *et al.*, 2012; ALMEIDA, PELUZIO e AFERRI, 2010; BÁRBARO, *et al.*, 2007; HAMAWAKI, *et al.*, 2012).

Estimativas das correlações podem ser positivas, indicando que quando uma variável é beneficiada ou prejudicada, a resposta da outra também é, ou seja, as variações ocorrem no mesmo sentido. No entanto, as correlações negativas indicam tendência inversa, ou seja, quando uma variável aumenta a outra diminui, ou seja, as variações ocorrem em sentidos opostos (NOGUEIRA, *et al.*, 2012).

No que se refere ao teor de óleo e produtividade de grãos a correlação é positiva, o que garante um ganho adicional em relação ao teor de óleo no grão quando associado ao aumento da produtividade, para o qual é dada maior ênfase nos programas de melhoramento (SILVA, 2019).

A correlação entre concentração de proteína e óleo, juntamente com produtividade de grãos e teor de proteína é negativa, logo, o melhoramento de plantas encontra um grande obstáculo quando o objetivo é melhorar essas características em conjunto, pois essa correlação

dificulta maiores ganhos na concentração de proteína devido à maior ênfase dada à produtividade (GESTEIRA, *et al.*, 2018).

Resultados apresentados por Gesteira *et al.* (2018), sugerem que a maturidade absoluta pode auxiliar na seleção quanto à produtividade, havendo uma correlação positiva, pois quanto mais tempo a planta permanecer no campo, realizará mais fotossíntese e conseqüentemente acumulará mais reserva. No entanto os autores ressaltam que é possível obter cultivares precoces e altamente produtivas. Os resultados também demonstram que existe uma correlação negativa entre maturidade absoluta e teor de proteína nos grãos, indicando que é possível obter cultivares precoces e com alto teor de proteína nos grãos.

Ao mensurar os caracteres agronômicos de interesse na cultura da soja, como dias para o florescimento, número de vagens, altura de inserção da primeira vagem, altura da planta na maturação, índice de acamamento, é possível que o melhorista identifique e selecione os melhores genótipos, associando esses caracteres à outros tanto quanto importantes e de difícil identificação (VAL, *et al.*, 2014).

De acordo Dallastra *et al.* (2014) caracteres como número de ramos por planta, número de vagens por planta e número de sementes por planta, fazem parte dos componentes de produção, correlacionando-se positivamente à produção, pois quanto maior o valor destes, maior será o valor da produtividade de grãos de genótipos de soja. O número de vagens por planta destaca-se em relação a sua contribuição para determinar a produtividade.

Segundo Almeida, Peluzio e Aferri (2010), ao selecionar plantas de florescimento tardio e com maior altura de inserção do primeiro legume, seleciona-se simultaneamente por meio da seleção indireta o caráter produção de grãos, logo, a correlação existente entre esses caracteres é positiva, possibilitando o melhoramento indireto.

### **3 MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1 Local**

Os experimentos de campo foram conduzidos em dois locais:

- Lavras, MG. Centro de Desenvolvimento Científico e Tecnológico em Agropecuária da Universidade Federal de Lavras - Fazenda Muquém, situada à latitude de 21°14' S, longitude 45°00' W e altitude de 918 m.
- Ijaci, MG. Centro de Desenvolvimento Científico e Tecnológico em Agropecuária - Fazenda Palmital, situada à latitude de 21°09' S, longitude 44°54' W e altitude de 920 m.

Ambos os locais fazem parte do contexto agrícola do Campo das Vertentes, onde o complexo da soja se encontra em expansão.

As análises para quantificar o teor de proteína nos grãos foram realizadas na Embrapa Soja. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Londrina, PR.

#### **3.2 Tratamentos**

Foram utilizados três genitores FMT 2, FMT 3 e BRSMG 780F RR. Os genitores FMT 2 e FMT 3 são linhagens cedidas pela Fundação Mato Grosso (Fundação MT). Apresentam hábito de crescimento indeterminado e ciclo precoce, além do bom desempenho produtivo. A cultivar BRSMG 780F RR foi desenvolvida pela Embrapa em 2012, pertencente ao grupo de maturidade relativa 7.8 recomendada para região edafoclimática REC-MG 303, Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba. A cultivar é de hábito de crescimento determinado com ciclo médio a tardio, teor de proteína de 38,3%, teor de óleo 22,3%, apresenta resistência ao nematóide do cisto e resistência moderada a ferrugem asiática.

#### **3.3 Obtenção dos cruzamentos**

Na obtenção das 2 populações foram utilizados três genitores:

- FMT3 x BRSMG 780F RR (População 1);
- FMT2 x BRSMG 780F RR (População 2).

Os dois cruzamentos foram realizados manualmente em casa de vegetação na safra 2016/2017. As sementes da geração  $F_1$  foram multiplicadas no inverno de 2017 em casa de vegetação, em vasos contendo duas plantas cada. A população  $F_2$  foi conduzida em campo na safra verão 2017/2018, adotando distribuição espacial da parcela de 4 linhas de 5 metros, como densidade de semeadura de 15 sementes/metro, totalizando 300 plantas por população. As plantas  $F_2$  foram colhidas em duas datas, 24 de fevereiro de 2018 e 09 de março de 2018 correspondentes ao grupo de progênies precoces e tardias, respectivamente. As plantas foram trilhadas individualmente utilizando debulha manual.

### 3.4 Obtenção das progênies avaliadas

Na maturação fisiológica de  $F_2$  foram selecionadas as melhores plantas e colhidas individualmente visando à obtenção das progênies  $F_{2:3}$ .

As progênies  $F_{2:3}$  foram avaliadas na safra 2018/2019, as parcelas constituíram-se de 1 linha de 2,0 metros espaçadas em 0,6m com duas repetições em delineamento de blocos incompletos (DBI), sendo látice simples 13x13 totalizando 169 tratamentos (160 progênies + 9 testemunhas) em cada local (Lavras e Ijaci).

As progênies  $F_{2:4}$  foram avaliadas na safra 2019/2020 em dois experimentos: um contendo progênies precoces e um contendo progênies tardias, em cada local (Lavras e Ijaci). As parcelas constituíram-se de 2 linhas de 3,0 metros espaçadas em 0,6m com 3 repetições. O experimento com progênies precoces foi conduzido em delineamento de blocos incompletos (DBI), sendo um látice retangular triplo 9x10, totalizando 90 tratamentos (77 progênies + 7 testemunhas + 6 enchimentos). O experimento com progênies tardias foi conduzido em delineamento de blocos incompletos (DBI), sendo um látice retangular triplo 9x10, totalizando 90 tratamentos (83 progênies + 7 testemunhas).

### 3.5 Condução dos experimentos

O plantio das safras 2018/19 e 2019/20 foi realizado sob sistema de plantio direto (SPD), a abertura dos sulcos de forma mecânica realizada por semeadora sendo feito a aplicação de *Bradyrhizobium japonicum* em jato dirigido nos sulcos de plantio, com sulcos espaçados em 0,6 m. A semeadura foi realizada manualmente, a adubação foi constituída de 240 kg ha<sup>-1</sup> do formulado de N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O e os demais tratos culturais foram realizados

conforme procedimento apresentado por Carvalho *et al.* (2010).

A colheita dos grãos em ambas as safras foi realizada no estádio R8. Após a trilha mecânica os grãos foram separados das impurezas, com o auxílio de peneiras, sendo acondicionados em sacos de polietileno trançado. Os grãos com teor de umidade elevado foram expostos ao sol até atingirem o teor de 13%. Após atingirem a umidade ideal para armazenamento, uma amostra de 40g de grãos de cada tratamento foi acondicionada em saco de papel Kraft devidamente identificado para posterior envio ao laboratório para as análises do teore de proteína.

E foram avaliados os seguintes caracteres:

- Maturação absoluta: 90% das plantas da parcela em estádio R8 (maturação absoluta) segundo a escala. FEHR & CAVINESS (1977).
- Produtividade de grãos: valor em  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  com 13% de umidade.
- Teor percentual de proteína, determinado em grãos íntegros pela técnica de Espectroscopia em Refletância do Infravermelho Próximo (NIR) segundo Heil (2019). Os grãos de cada progênie foram submetidos a leituras em triplicada com equipamento Thermo, modelo Antaris II, dotado de esfera de integração com resolução  $4\text{ cm}^{-1}$ .

### 3.6 Análise estatística

Os dados para teores de proteína nos grãos obtidos na safra 2018/19 foram submetidos à análise de variância individual e conjunta, analisados com o auxílio do software R (R Core Team, 2018) em delineamento inteiramente casualizado (DIC) (BERNARDO, 2010).

Os dados foram analisados primeiramente de forma individual, de acordo com o modelo apresentado abaixo:

$$y_{ij} = \mu + g_i + e_{ij}$$

Em que:

$y_{ij}$ : observação da parcela que recebeu o genótipo  $i$  dentro da repetição  $j$ ;

$\mu$ : constante associada a todas as observações;

$g_i$ : efeito aleatório dos genótipos  $i$ ;

$e_{ijk}$ : erro experimental aleatório associado a observação  $y_{ij}$ .

Em seguida foi realizada a análise conjunta nos dois ambientes envolvidos de acordo com o modelo apresentado abaixo:

$$y_{ij} = \mu + g_i + a_j + ga_{ij} + e_{ij}$$

Em que:

$y_{ij}$ : observação da parcela que recebeu o genótipo i dentro da repetição j;

$\mu$ : constante associada a todas as observações;

$g_i$ : efeito aleatório dos genótipos i;

$a_j$ : efeito fixo do ambiente j;

$ga_{ij}$ : efeito aleatório da interação genótipo x ambiente;

$e_{ij}$ : erro experimental aleatório associado a observação  $y_{ijk}$ .

Os dados para maturidade absoluta e produtividade obtidos na safra foram submetidos à análise de variância individual e conjunta, analisados com o auxílio do software R (R Core Team, 2018), via abordagem de modelos mistos (BERNARDO, 2010).

Os dados foram analisados primeiramente de forma individual, de acordo com o modelo apresentado abaixo:

$$y_{ijk} = \mu + p_i + r_j + b_{k(j)} + e_{ijk}$$

Em que:

$y_{ijk}$ : observação da parcela que recebeu a progênie i no bloco k dentro da repetição j;

$\mu$ : constante associada a todas as observações;

$p_i$ : efeito aleatório das progênies i;

$r_j$ : efeito aleatório da repetição j;

$b_{k(j)}$ : efeito aleatório do bloco k dentro da repetição j;

$e_{ijk}$ : erro experimental aleatório associado a observação  $y_{ijk}$ .

Em seguida foi realizada a análise conjunta nos quatro ambientes envolvidos de acordo com o modelo apresentado abaixo:

$$y_{ijkl} = \mu + p_i + r_{j(l)} + b_{k(jl)} + a_l + (pa)_u + e_{ijkl}$$

Em que:

$y_{ijkl}$ : observação referente a parcela que recebeu a progênie i, na repetição j, no bloco k, no ambiente l;

$\mu$ : constante associada a todas as observações;

$p_i$ : efeito aleatório das progênies i

$r_{j(l)}$ : efeito aleatório da repetição j dentro do ambiente l;

$b_{k(jl)}$ : efeito aleatório bloco k dentro da repetição j no ambiente l;

$a(l)$ : efeito fixo do ambiente l;

$(pa)_u$ : efeito aleatório da interação progênes x ambientes;

$e_{ijkl}$ : erro experimental aleatório associado a observação  $y_{ijkl}$ .

Para estimar o grupo de maturidade relativa e conduzir  $F_{2:4}$  em dois experimentos (precoce e tardias), foram utilizadas as testemunhas padrão, isto é, as cultivares mais estáveis para a região (ALLIPRANDINI et al., 2009). As testemunhas foram P95R51 (5.5), M5917 (5.9), DESAFIO RR (7.4), 98Y30 (8.3), 98Y12 (8.1) e M8210 (8.2). Assim, foi possível obter o grupo de maturidade relativa das progênes por meio da equação de regressão de primeiro grau:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x$$

Em que:

$y$ : Maturidade relativa

$\beta_0$ : Intercepto;

$\beta_1$ : Coeficiente de inclinação da reta;

$x$ : Maturação absoluta em dias.

### 3.7 Estimativas de parâmetros genéticos e fenotípicos

Os componentes da variância foram estimados através do método da máxima verossimilhança restrita (REML), dessa forma foram obtidas as estimativas de variância genética dos genótipos precoces  $\hat{\sigma}_{GPP}^2$  e tardios  $\hat{\sigma}_{GPT}^2$ ; variância genótipo x ambiente ( $\hat{\sigma}_{GPPXA}^2$ ;  $\hat{\sigma}_{GPTXA}^2$ ).

Para aferir a qualidade experimental foram estimados o coeficiente de variação (CV) e a acurácia seletiva ( $r\hat{g}$ ). A acurácia seletiva foi determinada de acordo com o modelo:

$$r\hat{g} = \sqrt{1 - \left(\frac{PEV}{\sigma_G^2}\right)}$$

Em que:

$PEV$ : Variância do erro da predição dos BLUP;

$\sigma_G^2$ : Variância genotípica.

As estimativas de coeficiente de variação foram obtidas por:

$$CV = \frac{\sqrt{\sigma_E^2}}{\bar{X}}$$

Em que:

$\sigma_E^2$ : Variância ambiental;

$\bar{X}$ : Média fenotípica geral.

A herdabilidade foi estimada a partir da fórmula sugerida por Cullis et al. (2006), proposta como uma expressão alternativa quando se trabalha com dados desbalanceados e modelos mistos:

$$Hc^2 = 1 - \frac{vBLUP}{2\sigma_G^2}$$

Em que:

$Hc^2$ : Valor da herdabilidade para cada variável;

$vBLUP$ : Variânciamédia da diferença de dois BLUP (*Best Linear Unbiased Prediction*);

$\sigma_G^2$ : Variância genética.

Os ganhos esperados com a seleção ( $GS_i$ ) foram estimados considerando-se as proporções de seleção de 5%, 10%, 15%, 20%, 25% e 30%, a partir do estimador abaixo:

$$GS_i = (X_{SI} + X_{oi})h_{ap}^2 = DS_I h_i^2$$

Em que:

$X_{SI}$ : média dos indivíduos selecionados para o caráter  $i$ ;

$X_{oi}$ : média original da população;

$DS_I$ : diferencial de seleção praticado na população;

$h_{ap}^2$ : herdabilidade ampla, ao nível de média de progênies, para o caráter  $i$ .

Os ganhos indiretos foram obtidos por meio da reposta correlacionada no caráter  $Y$  pela seleção efetuada no caráter  $X$  ( $RC_{Y(X)}$ ) conforme a expressão proposta por Falconer e Mackay (1996):

$$RC_{Y(X)} = \frac{Cov_{P_{XY}}}{\sigma_{\bar{F}_x}^2} ds_x = i_x h_x r_{P_{XY}} \sqrt{\sigma_{A_y}^2}$$

Em que:

$ds_x$ : diferencial de seleção fenotípico no caráter  $X$ ;

$i$ : diferencial de seleção padronizado;

$h_x$ : raiz quadrada da herdabilidade para seleção na média de progênies do caráter  $X$ ;

$\sigma_{A_y}^2$ : variância genética aditiva para o caráter  $Y$ .

As estimativas da associação entre os caracteres analisados foram realizadas pelas análises de correlações fenotípicas ( $r_{xy}$ ), de acordo com a expressão:

$$r_{xy} = \frac{Cov_{xy}}{\sqrt{\sigma_x^2 \sigma_y^2}}$$

Em que:

$Cov_{xy}$ : estimativa da covariância entre as variáveis X e Y;

$\sigma_x^2, \sigma_y^2$ : são estimativas das variâncias das variáveis X e Y, respectivamente.

Para seleção simultânea dos vários caracteres de interesse avaliados, foi utilizado o índice de seleção baseado nos caracteres padronizados (MENDES et al., 2009):

$$ZSM = ZPROD - ZMA + ZPROTEÍNA$$

Em que:

$ZSM$ : índice de seleção múltipla;

$ZPROD$ : média padronizada para o caráter produtividade;

$ZMA$ : média padronizada para o caráter maturação absoluta;

$ZPROTEÍNA$ : média padronizada para o caráter teor de proteína.

Os valores obtidos foram somados à uma constante para eliminar valores negativos. Também foi calculada a soma de postos do ranqueamento (SPR) das progênes por meio da atribuição de ranks (postos) classificatórios às progênes de acordo com seu desempenho médio em cada ambiente (MULAMBA; MOCK, 1978), levando em consideração os caracteres produtividade, maturação absoluta e teor de proteína. Dessa forma, a progênie mais produtiva no ambiente em questão recebeu posto um, enquanto a menos produtiva obteve o último valor de posto possível para o caráter. O somatório ao posto de cada progênie, para os caracteres mencionados, foi obtido de acordo com a expressão:

$$SPR_{ik} = PPROD + PMA + PPROT$$

Em que:

$SPR_{ik}$ : soma de postos do ranqueamento para a linhagem i no ambiente k;

$PPROD$ : posto obtido para o caráter produtividade;

$PMA$ : posto obtido para o caráter maturação absoluta;

$PPROT$ : posto obtido para o caráter teor de proteína.

Foi calculada também a correlação classificatória de Spearman entre o índice de seleção múltipla padronizado (ISMP) e a soma de postos do ranqueamento (SPR), visando identificar possíveis associações entre as duas metodologias de comparação para múltiplos caracteres. As análises de correlações foram realizadas com o aporte do software R (R Core Team, 2018).

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Sendo o objetivo do programa de melhoramento genético recomendar genótipos com segurança, faz-se necessária ter uma elevada precisão dos experimentos, pois, assim, as estimativas dos parâmetros avaliados são fornecidas de forma mais precisa (CARNEIRO, *et al.*; 2019). A precisão dos experimentos em questão foi aferida por duas estratégias complementares, sendo o coeficiente de variação experimental (C<sub>Ve</sub>) e a acurácia seletiva ( $r\hat{g}$ ).

A justificativa para a utilização de dois componentes que avaliam a precisão experimental deve-se ao fato do valor do C<sub>Ve</sub> depender apenas da variação residual como proporção da média do experimento (RESENDE; DUARTE, 2007). Assim os maiores valores de CV normalmente são para características com menores médias, isto porque o valor da média está no denominador do estimador do coeficiente de variação (SOARES *et al.*, 2015).

A precisão experimental associada às análises de variância individuais, Lavras-MG e Ijaci-MG, para o caráter teor de proteína nos grãos entre as progênes de soja F<sub>2:3</sub> precoces e tardias na safra 2018/19 foi considerada adequada de acordo com as estimativas do coeficiente de variação ambiental (C<sub>Ve</sub>) e da acurácia (APÊNDICE A e B).

No município de Lavras-MG, considerando as progênes precoces, a média para o caráter em questão foi de 35,88% apresentando uma herdabilidade alta com 96,35%. Isso também foi observado para as progênes tardias, as quais apresentaram uma média do caráter de 36,60% e herdabilidade de 98,35% (APÊNDICE A).

No município de Ijaci, tratando-se do mesmo caráter, as progênes precoces apresentaram uma média de 35,90% apresentando uma herdabilidade alta com 93,21%. Isso também foi observado para as progênes tardias, as quais apresentaram uma média do caráter nos grãos de 36,33% e uma herdabilidade de 93,70% (APÊNDICE B). Esses valores de herdabilidades inflacionados podem ser justificados pelo fato de serem obtidos utilizando-se como estimativa da variação ambiental a repetibilidade da leitura da amostra, já que a mesma amostra foi analisada em triplicata.

As fontes de variação progênes precoces e progênes tardias foram altamente significativas para o caráter em todos os ambientes no ano agrícola 2018/19, relatando que há variabilidade dentre esses grupos (APÊNDICE A e B).

Considerando a análise conjunta dos dois locais em um mesmo ano agrícola (2018/19) para o caráter teor de proteína nos grãos (Tabela 1), a precisão experimental aferida pelo CVe (%) variou de 0,8% em Lavras-MG a 1,05% em Ijaci-MG.

As fontes de variação progênes precoces e progênes tardias não foram significativas para o caráter teor de proteína nos grãos da análise conjunta dos ambientes estudados no ano agrícola 2018/19, o que implica estatisticamente na ausência de variabilidade para o caráter em questão, o que pode ser justificado pelo número elevado de parcelas perdidas em Ijaci-MG. Entretanto, houve diferença de grande magnitude na interação das progênes precoces e das tardias por ambiente, evidenciando que o comportamento dos genótipos foi não consistente nos diferentes ambientes (Tabela 1).

Para o caráter em questão, a análise conjunta diferentemente das análises individuais, não apresentou variabilidade genética entre as progênes estudadas, o que pode ser explicado pela interação genótipo x ambiente significativa e de alta magnitude, pois a variação fenotípica de cada tratamento genético depende, além do efeito genético em si, do efeito do ambiente e da interação genótipos x ambientes (G x A). A avaliação conjunta, envolvendo vários ambientes permitiu a estimação do componente da variação da interação G x A.

Como já relatado por Arslanoglu et al. (2011) os teores de proteína no grão de soja são determinados, principalmente, pelo genótipo de cada cultivar, mas podem variar enormemente dependendo do ambiente ao qual a planta for exposta. O presente estudo reforça o que já foi observado. O caráter teor de proteína é dependente do genótipo e foi muito influenciado pelo ambiente. A interação genótipos x ambientes tem sido considerada como um dos principais complicadores do trabalho dos melhoristas na recomendação de cultivares. A fim de minimizar o efeito da interação na seleção de cultivares para caracteres de interesse, principalmente os de natureza quantitativa, faz-se necessário a avaliação dos genótipos em uma grande quantidade de ambientes (EEUWIJK; BUSTOS-KORTS; MALOSETTI, 2016). Entretanto, nas etapas iniciais dos programas de melhoramento como são avaliados muitos genótipos e muitas vezes não se dispõe de quantidade de sementes, não se torna viável a avaliação em um grande número de ambientes, como é o caso do presente estudo.

Tabela 1 – Estimativas de parâmetros genéticos e fenotípicos associados ao caráter agrônômico teor de proteína nos grãos, entre progênies F<sub>2:3</sub> de soja nos municípios de Lavras-MG e Ijaci-MG, na safra 2018/19.

<b>Fontes de variação<sup>1/</sup></b>		
<b>Efeitos Aleatórios</b>		<b>Proteína (%)</b>
<b>Progênies Precoces</b>	$\hat{\sigma}_{GPP}^2$	0,1030
<b>Progênies Tardias</b>	$\hat{\sigma}_{GPT}^2$	1,18e <sup>-07</sup>
<b>P.Precoces x Ambiente</b>	$\hat{\sigma}_{GPPxA}^2$	0,880***
<b>P. Tardias x Ambiente</b>	$\hat{\sigma}_{GPTxA}^2$	1,60***
<b>Efeitos Fixos</b>		
<b>Testemunhas</b>	$\emptyset_T$	0,004**
<b>Ambiente</b>	$\emptyset_A$	0,507
<b>Testemunhas x Progênies</b>	$\emptyset_{T \times P}$	0,240
<b>rgg' Precoce (%)</b>		-
<b>rgg' Tardia (%)</b>		-
<b>CV<sub>e</sub> Lavras (%)</b>		0,800
<b>CV<sub>e</sub> Ijaci (%)</b>		1,050

<sup>1/</sup>Variância genética entre progênies precoces ( $\hat{\sigma}_{GPP}^2$ ), variância genética entre progênies tardias ( $\hat{\sigma}_{GPT}^2$ ), variância genética entre progênies precoces x ambientes ( $\hat{\sigma}_{GPPxA}^2$ ), variância genética entre progênies tardias x ambientes ( $\hat{\sigma}_{GPTxA}^2$ ).

\*Significância pelo teste de verossimilhança (Likelihood Ratio Test) para os efeitos aleatórios - 0 '\*\*\*' 0,001 '\*\*' 0,01 '\*' 0,05 ',' 0,1 ' '1,

\*Significância pelo teste de Wald para efeitos fixos - 0 '\*\*\*\*' 0,001 '\*\*\*' 0,01 '\*\*' 0,05 ',' 0,1 ' '1.

Fonte: Do Autor (2021).

Em relação às médias fenotípicas, verificou-se ampla variação. Para as progênies precoces, por exemplo, as estimativas variaram de 38,51% a 32,45%. Por seu turno as progênies tardias variaram de 39,54% a 32,14% de teor de proteína nos grãos (Tabela 2). Apesar de não ter sido detectada a variabilidade genética entre as progênies precoces e entre as progênies tardias foi estimado o ganho esperado com a seleção na média da análise conjunta. Nota-se que os ganhos decrescem a medida que a intensidade de seleção diminui. Há ganhos sucintamente maiores entre as progênies tardias, permitindo inferir que estes genótipos tendem a apresentar maiores teores de proteínas nos grãos, embora estatisticamente todos os genótipos se expressem igualmente para o caráter em questão.

Tabela 2 – Estimativas conjuntas de médias geral, máximo, mínimo e amplitude associados aos caráter agrônômico teor de proteína nos grãos, referente a análise conjunta entre progêneses F<sub>2:3</sub> de soja precoces e tardias nos municípios de Lavras-MG e Ijaci-MG, nas safras 2018/19.

<b>Parâmetros<sup>1/</sup></b>	<b>Proteína (%)</b>
<b>Progêneses</b>	
<b>Média Geral</b>	36,21
<b>Máximo</b>	39,54
<b>Mínimo</b>	32,14
<b>Amplitude</b>	7,40
<b>Progêneses Precoces</b>	
<b>Média</b>	36,17
<b>Máximo</b>	38,51
<b>Mínimo</b>	32,45
<b>Amplitude</b>	6,06
<b>Progêneses Tardias</b>	
<b>Média</b>	36,24
<b>Máximo</b>	39,54
<b>Mínimo</b>	32,14
<b>Amplitude</b>	7,40

<sup>1/</sup>Média geral das progêneses, média do desdobramento do grupo precoces e média do desdobramento do grupo tardias para o caráter teor de proteína nos grãos.

Fonte: Do Autor (2021).

Tabela 3 – Estimativas de ganho esperado com a seleção em porcentagem (%) para o caráter teor de proteína nos grãos, referente a análise conjunta entre progêneses F<sub>2:3</sub> de soja precoces e tardias nos municípios de Lavras-MG e Ijaci-MG, safras 2018/19.

<b>Ganho Genético Esperado (%)</b>			
<b>Teor de Proteína</b>			
<b>IS<sup>1/</sup> (%)</b>	<b>Progêneses</b>	<b>Progêneses Precoces</b>	<b>Progêneses Tardias</b>
<b>2</b>	2,62	2,05	2,54
<b>7</b>	2,30	1,71	2,13
<b>12</b>	2,01	1,51	1,75
<b>17</b>	1,79	1,32	1,54
<b>22</b>	1,66	1,22	1,34
<b>27</b>	1,55	1,10	1,17
<b>32</b>	1,45	1,02	1,04

<sup>1/</sup>Proporção de seleção de 2%, 7%, 12%, 17%, 22%, 27% e 32% para o caráter teor de proteína nos grãos.

Fonte: Do Autor (2021).

Quanto ao caráter produtividade de grãos, esse também é muito influenciado pelos fatores ambientais. Isto quer dizer, que todos efeitos relacionados à manifestação fenotípica sejam estes previsíveis ou imprevisíveis, podem influenciar na qualidade experimental. Os resultados obtidos no presente estudo referente a precisão experimental corroboram os relatos reportados na literatura.

A precisão experimental associada às análises de variância individuais, Lavras-MG e Ijaci-MG, para produtividade e dias para maturação absoluta entre as progênes de soja F<sub>2:4</sub> precoces e tardias na safra 2019/20 foi de alta precisão de acordo com as estimativas do coeficiente de variação ambiental (CV<sub>e</sub>) e da acurácia (APÊNDICE C a F).

Para os caracteres maturação absoluta e produtividade de grãos, no município de Lavras-MG, considerando as progênes precoces, a média foi de 72 sacas por hectare e 133 dias e herdabilidade de 43,94% e 9,67%. As progênes tardias apresentaram uma média de produtividade de 64 sacas por hectare e 142 dias para maturação, com herdabilidade de 40,63% e 2,92e<sup>-07</sup>% respectivamente (APÊNDICE C e D).

Considerando apenas as testemunhas, houve diferença significativa na comparação de produtividade e dias para maturação entre as mesmas. Entre as testemunhas e as progênes há variabilidade somente para produtividade no experimento das progênes precoces. Contudo nos tratamentos tardios a variabilidade foi verificada somente para o caráter maturação (APÊNDICE C e D).

Verificou-se para o efeito progênes precoces e tardias a existência de variabilidade para o caráter produtividade de grãos nos dois locais. No município de Ijaci, ainda referindo-se aos mesmos dois caracteres, as progênes precoces apresentaram uma média de 52 sacas por hectare e 124 dias para a maturação absoluta com herdabilidade de 49,58% e 71,17% respectivamente. O grupo das tardias apresentaram uma média de 61,5 sacas por hectare e 136 dias para maturação absoluta e herdabilidade de 51,50 % e 89,05% respectivamente (APÊNDICE E e F).

Tanto para o experimento progênes precoces quanto para tardias houve diferença significativa na comparação entre as testemunhas para os caracteres em questão, porém quando comparada as testemunhas e os tratamentos, somente as progênes tardias apresentaram variabilidade. As fontes de variação progênes precoces e progênes tardias foram altamente significativas para ambos os caracteres (APÊNDICE E e F).

Quanto a análise conjunta dos dois locais em um mesmo ano agrícola (2019/20) para os caracteres produtividade e maturação absoluta (Tabela 4), a precisão experimental aferida

pelo CVe(%) foi abaixo do ideal e ideal, respectivamente. A acurácia para produtividade das progênes precoces foi alta (76,72%) assim como para as tardias (72,18%), também sendo nesta última alta para maturação absoluta (77,73%).

Os valores mais elevados de CV, apresentado para o caráter produtividade de grãos, evidencia a complexidade do controle genético do caráter, uma vez que este é muito influenciado pelos fatores inerentes ao ambiente em estudo. Espera-se que, quanto mais complexo seja o controle do caráter, maior a influência ambiental e, portanto, mais elevadas serão as estimativas de CV e menores as estimativas de acurácia seletiva (RESENDE; DUARTE, 2007), sendo estas as possíveis explicações para a precisão mais baixa denotada neste caráter. Deve-se destacar que resultados diferentes desses foram observados avaliando progênes/linhagens na cultura da soja, onde maiores magnitudes observadas de CVe e menor acurácia (rgg<sup>2</sup>) foram ao caráter produtividade de grãos (SOARES *et al.*, 2015, BIANCHI *et al.*, 2018; SILVA *et al.*, 2016; RIBEIRO, 2018).

Tabela 4 – Estimativas de parâmetros genéticos e fenotípicos associados aos caracteres agrônômicos produtividade de grãos e dias para maturação, entre progênes F<sub>2:4</sub> de soja soja precoces e tardias nos municípios de Lavras-MG e Ijaci-MG, na safra 2019/20.

<b>Caracteres Agrônômicos</b>			
<b>Fontes de variação<sup>1/</sup></b>		<b>Produtividade (Kg.ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>Maturação (Dias)</b>
<b>Efeitos Aleatórios</b>		<b>Parâmetros Genéticos e Fenotípicos</b>	
<b>Progênes Precoces</b>	$\hat{\sigma}_{GPP}^2$	108228,94***	4,406e-01***
<b>Progênes Tardias</b>	$\hat{\sigma}_{GPT}^2$	169494,53***	8,786e-01***
<b>P. Precoces x Ambiente</b>	$\hat{\sigma}_{GPPXA}^2$	4356,97	6,171e-07
<b>P. Tardias x Ambiente</b>	$\hat{\sigma}_{GPTXA}^2$	50808,67	5,576e-01***
<b>Efeitos Fixos</b>		<b>Desvios Genéticos e Fenotípicos</b>	
<b>Testemunhas</b>	$\emptyset_T$	1,146e-06 ***	2.2e-16 ***
<b>Ambiente</b>	$\emptyset_A$	2,2e-16 ***	2.2e-16 ***
<b>rgg<sup>2</sup> Precoce (%)</b>		76,72	-
<b>rgg<sup>2</sup> Tardia (%)</b>		72,18	77,73
<b>CV<sub>e</sub> Lavras Precoces 2019/20 (%)</b>		22,05	0,83
<b>CV<sub>e</sub> Lavras Tardias 2019/20 (%)</b>		22,80	0,95
<b>CV<sub>e</sub> Ijaci Precoces 2019/20 (%)</b>		14,58	0,75
<b>CV<sub>e</sub> Ijaci Tardias 2019/20 (%)</b>		22,61	0,82

<sup>1/</sup>Variância genética entre progênes precoces ( $\hat{\sigma}_{GPP}^2$ ), variância genética entre progênes tardias ( $\hat{\sigma}_{GPT}^2$ ), variância genética entre progênes precoces x ambientes ( $\hat{\sigma}_{GPPXA}^2$ ), variância genética entre progênes tardias x ambientes ( $\hat{\sigma}_{GPTXA}^2$ ).

\*Significância pelo teste de verossimilhança (Likelihood Ratio Test) para os efeitos aleatórios - 0 '\*\*\*' 0,001 '\*\*' 0,01 '\*' 0,05 ',' 0,1 ' '1,

\*Significância pelo teste de Wald para efeitos fixos - 0 '\*\*\*\*' 0,001 '\*\*' 0,01 '\*' 0,05 ',' 0,1 ' '1.

Fonte: Do Autor (2021).

As fontes de variação progênies precoces e progênies tardias foram altamente significativas para os caracteres avaliados, evidenciando a existência de variabilidade de grande magnitude dentre os grupos para produtividade e maturação absoluta. Entretanto, visando o caráter maturação, quando analisada a interação das progênies tardias por ambiente, verificou-se variância significativa, relatando que os genótipos tardios apresentaram desempenhos diferentes para o caráter dias para maturação em detrimento do ambiente (Tabela 4).

As estimativas dos componentes da variância genética entre progênies foram significativas, evidenciando a existência de variabilidade. Este fato é fundamental para se realizar a seleção dos melhores genótipos e obter ganho. A existência de variabilidade também pode ser observada pela amplitude de variação entre as médias BLUP (APÊNDICE G).

Segundo Ramalho et al. (2001) os genitores escolhidos para obter a população base nos programas de melhoramento devem ser o mais divergente possível, além de apresentarem expressões fenotípicas desejáveis para o maior número de caracteres de interesse, possibilitando associar média alta e alto nível de variabilidade genética.

Muito embora as populações segregantes de soja sejam de um mesmo programa de melhoramento, há diferenças quanto ao *background* genético (cultivares de diferentes empresas), maturação absoluta e outros atributos, garantido assim, a existência de variabilidade para o presente estudo. Outros trabalhos também reportam essa existência de variação para a cultura da soja (FLECH et al., 2007; REZENDE; CARVALHO, 2007; PIRES et al., 2012; GESTEIRA et al., 2015; VILELA, 2018).

A variabilidade genética observada nas progênies pode ser explicada pelas diferenças fenotípicas existentes nos genitores. No presente estudo adotou-se três genitores divergentes, isto é, puros e contrastantes para caracteres de interesse agrônomo. A cultivar BRSMG 780F RR é de hábito de crescimento determinado, possui ciclo médio à tardio para macrorregião sojícola recomendada para região edafoclimática REC-MG 303, apresenta resistência ao nematoide do cisto e boa tolerância a ferrugem asiática. Por seu turno, as linhagens FMT's são de hábito de crescimento indeterminado ciclo precoce e apresentam elevado potencial agrônomo e resistência ao nematoide do cisto (GESTEIRA et al., 2015).

Uma possível explicação para a existência de variabilidade para o caráter produtividade de grãos pode estar relacionado ao hábito de crescimento. Como os genitores são contrastantes é possível gerar nas progênies variabilidade, isto é, progênies precoces e

progênes tardias de hábito de crescimento determinado bem como de hábito de crescimento indeterminado. Isto porque neste tipo de planta ocorre maior sobreposição dos períodos vegetativos e reprodutivos, conferindo um aumento do potencial produtivo dessas cultivares. Além disso, o florescimento das cultivares de hábito de crescimento indeterminado e semideterminado ocorre de forma escalonada, portanto caso ocorra um veranico na florada e algumas flores não consigam se desenvolver, a planta pode produzir mais flores posteriormente e assim a produtividade não será muito comprometida. O que não ocorre em cultivares de hábito de crescimento determinado, já que o florescimento ocorre praticamente ao mesmo tempo, em toda a extensão da planta (ZANON et al., 2015).

Após o início da exploração da safrinha no Brasil, muitos programas de melhoramento de soja se voltaram ao desenvolvimento de cultivares mais precoces. Vários relatos evidenciam o sucesso do emprego de cultivares precoces de soja (GESTEIRA et al., 2015; PEREIRA et al., 2017; GESTEIRA et al., 2018).

Gesteira et al. (2015) comentam que além de otimizar a segunda safra, o uso de cultivares precoces reduz a pressão de patógenos. Além da precocidade, os demais caracteres avaliados no trabalho também são levados em consideração no momento da recomendação de uma cultivar, de acordo com as necessidades dos produtores de soja e do complexo industrial.

Para a maturação absoluta, evidenciou-se que os genótipos se diferenciam uns dos outros, ou seja, há variabilidade genética nesse *background* genético para o caráter em questão tanto para o grupo das progênes precoces quanto para o grupo das tardias. Assim como para produtividade, a existência de variabilidade em dias para maturação pode estar relacionada com a utilização de genitores contrastantes (precoce e tardias; hábito de crescimento determinado e indeterminado).

Para esse caráter o efeito da interação genótipos x ambientes foi significativo e de alta magnitude para as progênes tardias. O fato remete que nesse caso específico as progênes mais tardias apresentaram uma maior variação de ciclo de acordo com o ambiente, muito embora, o atributo maturação absoluta apresente herança mais simples e possua menor influência dos fatores ambientais quando comparado ao caráter produtividade dos grãos (RAMALHO et al., 2012).

Quando comparada as testemunhas, essas se comportaram diferentemente tanto para produtividade de grãos quanto dias para maturação absoluta, assim como os ambientes, ou seja, os ambientes foram estatisticamente diferentes no que tange aos dois caracteres analisados.

Em relação as médias fenotípicas conjunta verificou-se uma amplitude de 3058,1kg.h<sup>-1</sup> entre as progênes precoces e 2269,2 kg.h<sup>-1</sup> entre progênes tardias. Para maturação absoluta observou-se uma amplitude de 40 e 28 dias. Entre o grupo das precoces, a mais produtiva apresentou produção dede 5117 kg.h<sup>-1</sup> e entre o grupo das tardias a produção foi de 4822,2 kg.h<sup>-1</sup>. Para o primeiro grupo, a progênie mais precoce atingiu o ponto de maturação absoluta com 102 dias e no segundo grupo a mais precoce alcançou o estágio fenológico R8 com 128 dias (Tabela 5).

Tabela 5 - Estimativas conjuntas de médias geral, máximo, mínimo e amplitude associados aos caracteres agrônômicos produtividade de grãos e dias para maturação, referente a análise conjunta entre progênes F<sub>2:4</sub> de soja precoces e tardias nos municípios de Lavras-MG e Ijaci-MG, na safra 2019/20.

<b>Parâmetros<sup>1/</sup></b>	<b>Produtividade (Kg, ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>Maturação (Dias)</b>
<b>Progênes Precoces</b>		
<b>Média</b>	3694,2	128
<b>Máximo</b>	5117,0	142
<b>Mínimo</b>	2058,9	102
<b>Amplitude</b>	3058,1	40
<b>Progênes Tardias</b>		
<b>Média</b>	3789,4	139
<b>Máximo</b>	4822,2	156
<b>Mínimo</b>	2553,0	128
<b>Amplitude</b>	2269,2	28

<sup>1/</sup>Média geral, máximo, mínimo e amplitude das progênes do grupo precoces e do grupo tardias, Fonte: Do Autor (2021).

Fonte: Do Autor (2021).

Houve variabilidade dentre as progênes precoces e dentre as tardias para os dois caracteres, assim, realizou-se o ganho genético esperado com a seleção de alguns genótipos para os caracteres em estudo. Como o principal objetivo dos programas de melhoramento genético é a obtenção de indivíduos superiores ao final do programa, a estimação dos ganhos com a seleção é essencial, uma vez que estes permitem antever o comportamento das progênes na geração seguinte.

Em qualquer estratégia de seleção o atributo de sucesso perfaz-se pela quantificação do ganho esperado com a seleção. Maiores intensidades de seleção, ou seja, quando se selecionou menos indivíduos, obteve-se um maior ganho esperado, uma vez que são selecionados os indivíduos com maior frequência de alelos favoráveis. No entanto, ao se

utilizar uma maior intensidade de seleção, há uma redução da variabilidade (AMARAL et al., 2019).

Ficou evidente que quanto maior a intensidade de seleção das progênes, maiores são os ganhos percentuais em produtividade e ocorre exatamente ao contrário com o atributo maturação já que o objetivo é selecionar as mais precoces, portanto os dias para maturação tendem a reduzir, logo quanto mais intensa a seleção mais negativo será o ganho, ou seja, menos dias para atingir o estágio fenológico R8 (Tabela 6).

Tabela 6 – Estimativas de ganho esperado com a seleção em porcentagem (%) para os caracteres produtividade de grãos e dias para maturação, referente a análise conjunta entre progênes  $F_{2:4}$  de soja precoces e tardias nos municípios de Lavras-MG e Ijaci-MG, safra 2019/20.

IS <sup>I</sup> (%)	Ganho Genético Esperado (%)			
	Progênes Precoces		Progênes Tardias	
	Produtividade	Maturação	Produtividade	Maturação
2	14,22	-0,40	15,35	-2,08
7	12,78	-0,36	13,41	-1,71
12	10,96	-0,33	12,48	-1,51
17	9,55	-0,32	10,98	-1,10
22	8,57	-0,30	10,04	-0,82
27	7,84	-0,29	9,29	-0,65
32	7,23	-0,28	8,44	-0,53

<sup>I</sup>Intensidade de seleção de 2%, 7%, 12%, 17%, 22%, 27% e 32% para os caracteres produtividade de grãos e dias para maturação.

Fonte: Do Autor (2021).

Conforme Tabela 6, é possível evidenciar na Tabela 6, que o ganho esperado com a seleção das progênes tardias visando os atributos produtividade e menos dias para maturação é melhor do que quando selecionadas as progênes precoces e que em ambos os grupos quanto maior a intensidade de seleção mais próximo se está do objetivo, ou seja, com a maior a intensidade de seleção tem-se maiores ganhos para produtividade e precocidade.

Evidenciou-se que entre as progênes precoces, ao selecionar com maior intensidade para produtividade, também houve um aumento no teor de proteína, ou seja, quando se seleciona para produtividade tem-se um ganho em proteína, embora esses valores sejam estatisticamente de pequena magnitude, já que não detectou-se variabilidade genética para o caráter teor de proteína. O atributo dias para maturação absoluta respondeu de maneira similar, pois quando comparado a intensidade de seleção de 32% e de 7% observa-se o maior e o menor ganho em dias respectivamente, ou seja, quanto mais produtivas forem as progênes

essas tendem a serem mais precoces, entretando os valores são ínfimos. O mesmo não foi visto em se tratando das progênies tardias, pois a variabilidade entre as mesmas para o caráter teor de proteína foi próxima a zero. O mesmo foi observado no atributo dias para maturação, os ganhos foram pequenos e similares independente da intensidade de seleção aplicada às progênies.

Quando são estudados múltiplos caracteres, como no presente trabalho, é oportuno estimar a resposta correlacionada, isto é, o ganho obtido no caráter secundário em razão da seleção no caráter primário. Se dois caracteres possuem uma correlação alta e favorável, ou seja, alteração no fenótipo de acordo com o desejo do melhorista, é possível através da seleção do caráter primário obter ganhos satisfatórios para o caráter secundário. Entretanto, se a correlação não for favorável, com a seleção efetuada para um caráter pode-se provocar uma mudança indesejada no caráter secundário. No presente trabalho realizou-se a seleção das progênies mais produtivas e verificou-se o comportamento das mesmas para os demais caracteres (precocidade e proteína nos grãos).

É possível observar na Tabela 7 que, apesar de não haver variabilidade genética para proteína nos grãos, quando se seleciona dentre as progênies precoces para produtividade, tem-se que quanto maior a intensidade de seleção, maiores os ganhos em proteína. Quanto a maturação absoluta nota-se que os menores ganhos em dias, advém das seleções mais intensas, 7% 12% e 2%. Para as progênies tardias, a variabilidade para teor de proteína foi tão pequena, inviabilizando os cálculos, impossibilitando a obtenção de ganhos com a seleção. Quanto a dias para maturação absoluta, nota-se que ao selecionar para produtividade, não houve perdas em dias, apenas ganhos, sendo o menor ganho com intensidade de seleção de 22%.

Tabela 7 - Estimativas de resposta correlacionada para os caracteres produtividade, dias para maturação absoluta referente a análise conjunta entre progênies  $F_{2:4}$  de soja precoces e tardias na safra 2019/20, e teor de proteína nos grãos referente a análise conjunta entre progênies  $F_{2:3}$  de soja precoces e tardias, safra 2018/19, nos municípios de Lavras-MG e Ijaci-MG.

<b>Resposta correlacionada (%)</b>				
<b>Progênies Precoces</b>			<b>Progênies Tardias</b>	
<b>Produtividade</b>			<b>Produtividade</b>	
<b>IS<sup>I</sup> (%)</b>	<b>Proteína</b>	<b>Dias para Maturação</b>	<b>Proteína</b>	<b>Dias para maturação</b>
<b>2</b>	0,23	-0,15	-	0,06
<b>7</b>	0,22	-0,19	-	0,04
<b>12</b>	0,13	-0,18	-	0,06
<b>17</b>	0,16	-0,09	-	0,03

<b>22</b>	0,10	-0,12	-	0,004
<b>27</b>	0,10	-0,08	-	0,03
<b>32</b>	0,07	0,01	-	0,05

<sup>1/</sup>Intensidade de seleção, Quantidade de progênies correspondentes pela intensidade de seleção: 2%, 7%, 12%, 17%, 22%, 27% e 32%.

Fonte: Do Autor (2021).

Para reafirmar o observado nas respostas correlacionadas realizou-se o gráfico de correlação (Gráfico 1). Através das correlações é possível mensurar o grau de associação entre duas variáveis (BERNARDO, 2010; KEMPTHORNE, 1973). Correlações de grande magnitude para dois caracteres permitem a seleção para uma característica de interesse, principalmente quando esta possui herança complexa, por meio de outra característica correlacionada e de mais fácil mensuração. Esta estratégia é uma alternativa à seleção direta e visa otimizar os ganhos nos programas de melhoramento genético (CARVALHO et al., 2004).

Correlações compreendidas entre 0,3 e 0,6 são consideradas de média magnitude, Correlações compreendidas acima de 0,6 são consideradas de alta magnitude (CARVALHO, LORENCETTI; BENIN, 2004).

O Gráfico 1 apresenta a correlação entre os três caracteres avaliados, evidenciando uma correlação extremamente baixa para esse *background* genético, com base em um ano agrícola e dois locais próximos. A correlação entre teor de proteína nos grãos e produtividade e proteína e dias para maturação foi positiva e de 0,12 e negativa e de 0,03 respectivamente. Entre produtividade e maturação absoluta, apresentou-se uma correlação negativa e de 0,12.

Há relatos de uma correlação negativa e de alta magnitude entre o ciclo e o teor de proteína dos grãos, evidenciando, então, que, quanto menor for o ciclo da planta, maior será o teor de proteína presente nos grãos. Uma possível explicação para o fato de o teor de proteína ser maior em cultivares com ciclo menor seria que há uma menor taxa de degradação de proteínas com a diminuição do ciclo de cultivo (GESTEIRA, 2017).

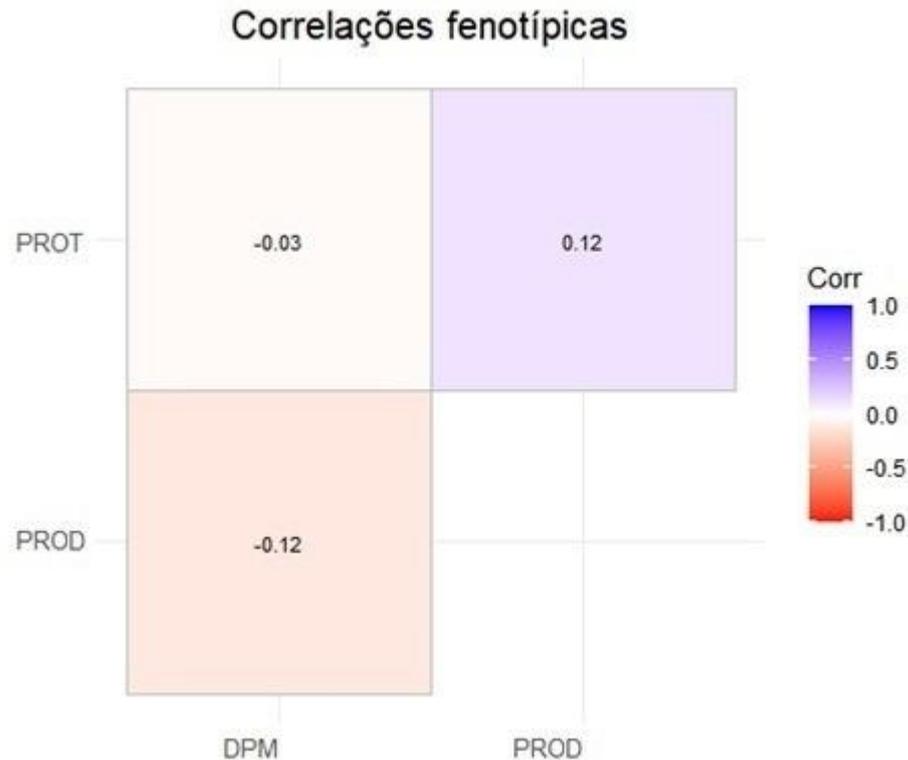
Alguns trabalhos na literatura (GESTEIRA et al., 2018; RODRIGUES et al., 2010) relatam que a seleção para produtividade de grãos reduz o teor de proteína nos grãos. Além disso, é importante dizer que apesar da redução no percentual de teor de proteína nos grãos, o rendimento absoluto de proteína por área pode ser maior devido ao aumento na produtividade de grãos (GESTEIRA et al., 2018).

Pereira et al. (2017) evidenciou que cultivares precoces tendem a ser menos produtivas, mas isto não é uma máxima. Ao selecionarem progênies/linhagens com menor

número de dias a maturação absoluta observaram que é possível ocorrer incrementos na produtividade. O fato que permite selecionar linhagens precoces e produtivas pode ser explicado pela seleção de cultivares de hábito de crescimento indeterminado ou semideterminado.

Gesteira et al. (2018) realizaram testes de correlação fenotípica entre a produtividade de grãos e maturação absoluta para a cultura da soja, sendo significativo e com alta magnitude (0,7417) demonstrando que genótipos mais tardios foram os mais produtivos, embora seja possível identificar genótipos com menor maturação absoluta e boa produtividade de grãos.

Gráfico 1 – Correlação dos caracteres produtividade (sacas  $ha^{-1}$ ), dias para maturação absoluta (dpm) entre progênies  $F_{2:4}$  de soja precoces e tardias na safra 2019/20 e teor de proteína nos grãos (prot) entre progênies  $F_{2:3}$  de soja precoces e tardias na safra 2018/19, nos municípios de Lavras-MG e Ijaci-MG.



Fonte: Do Autor (2021).

Recomenda-se a utilização de uma metodologia para a identificação e seleção de genótipos que associem bom desempenho em produtividade de grãos, precocidade e altos teores de proteína nos grãos. No presente estudo foram utilizadas duas ferramentas para seleção múltipla, o índice de seleção múltipla padronizado (ISMP) e a soma de postos de ranqueamento (SPR).

Com o ISMP evidenciou-se que os genótipos 16, 17, 22 e 11 foram os que apresentaram os melhores valores simultaneamente para os caracteres avaliados, sendo esses respectivamente: 13,31; 13,27; 13,22; 13,10. Em contra partida, a SPR relata que os melhores genótipos para os três caracteres avaliados simultaneamente foram os de número 29, 59, 10, 76, assumindo os 4 primeiros postos respectivamente. Visando estudar a relação entre os dois índices propostos, estimou-se também a correlação classificatória de Spearman para os resultados do índice de seleção múltipla padronizado (ISMP) e da soma de postos do ranqueamento (SPR), visando identificar possíveis associações entre as duas metodologias de comparação para múltiplos caracteres. Obteve-se uma correlação negativa e de grande magnitude (-0,81). A correlação negativa se deve ao fato da soma de postos ser rankeada em ordem crescente de posto, logo o tratamento com maior ganho assume o primeiro posto, ou seja, quanto melhor o tratamento menor o posto, enquanto o ISPM refere-se ao ganho em si, logo quanto maior o ganho, melhor é o tratamento.

Estudo realizado por Gesteira (2017) também evidenciou os mesmos resultados. O autor associou ciclo precoce, boa produtividade e qualidade de grãos (teores de óleo e proteína elevados) em linhagens de soja utilizando ISMP e o SPR. A correlação de Spearman obtida por ele também foi altamente significativa e negativa, com valor de -0,9408. Esta correlação inversamente proporcional indica que a classificação para o ISMP foi realizada levando em consideração o maiores valor. Por seu turno, às linhagens com melhor desempenho, adotando o SPR são aquelas que denotam menor valor do índice. Porém, é importante enfatizar que devido a correlação ser de elevada magnitude entre os índices utilizados, pode-se inferir que as duas metodologias podem ser utilizadas em programas de melhoramento de soja visando proceder a seleção simultânea para caracteres agrônômicos e teor de proteína.

## 5 CONCLUSÃO

Existe variabilidade genética para os caracteres produtividade e dias para maturação absoluta.

A associação entre os caracteres produtividade de grãos, dias para maturação absoluta e teor de proteína nos grãos foi de baixa magnitude.

É possível obter genótipos de soja precoce e produtivos.

As metodologias de seleção simultânea empregadas no presente estudo figuram-se como eficientes para a seleção simultânea para caracteres agronômicos e teor de proteína nos grãos em soja.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, R. D.; PELUZIO, J. M.; AFERRI, 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, Jan/Feb. 2010.
- AMARAL, Lígia de Oliveira et al. Pure line selection in a heterogeneous soybean cultivar. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 19, n. 3, p. 277-284, 2019.
- BÁRBARO, I. M. et al. Comparação de estratégia de seleção no melhoramento de populações F5 de soja. **Revista Ceres**, Viçosa-MG, v. 54, n. 313, p. 251-262, Maio-Junho 2007. ISSN 0034-737X.
- BERNARDO, R. **Breeding for quantitative traits in plants**. Woodbury, MN: Stemma Press, v. 2, 2010. 400 p.
- BILS, R. F.; HOWELL, R. W. Biochemical and cytological changes in developing soybean cotyledons. **Crop Science**, v. 3, p. 304-308, 1963.
- BONATO, E. R.; BONATO, A. L. V. **A soja no Brasil: História e Estatística**. Londrina-PR: EMBRAPA-CNPSo, 1987. ISBN 61p.
- BONETTI, L. P. Distribuição da soja no mundo : origem, história e distribuição. In: MIYASAKA, S.; MEDINA, J. C. **A soja no Brasil**. Campinas: ITAL, 1981. p. 1-6.
- BRUM, A. L. et al. **A economia mundial da soja: impactos na cadeia produtiva da oleaginosa no Rio Grande do Sul 1970-2000**. Ijuí: UNIJUI, 2002. ISBN 85-7429-280-X.
- CARNEIRO, A. K. **Emprego de multilinhas na cultura da soja**. Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de Lavras (UFLA). Lavras-MG, p. 53. 2017.
- CARRÃO-PANIZZI, M. C.; MANDARINO, J. M. G. **Soja: Potencial uso na dieta brasileira**. Londrina-PR: EMBRAPA-CNPSo, 1998.
- CARVALHO, E. R. et al. Desempenho de cultivares de soja [Glycine max (L.) Merrill] em cultivo de verão no sul de Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 4, p. 892-899, Jul./Ago. 2010. ISSN 1413-7054.
- CARVALHO, F. I. F.; LORENCETTI, C.; BENIN, G. **Estimativas e implicações da correlação no melhoramento vegetal**. Pelotas: Editora e Gráfica Universitária - UFPel, 2004. 141 p.
- CERICATTO, A. S.; LIMA, É. P. C.; BATISTA, H.. **A importância da soja para o agronegócio brasileiro: uma análise sob o enfoque da produção, emprego e exportação**. V Encontro de economia catarinense. Florianópolis: UNESC. 2011.
- CONAB. Perspectivas para a agropecuária - Safra 2018/2019. **Companhia Nacional de Abastecimento**, Brasília, v. 6, 2018. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/images/arquivos/outros/Perspectivas-para-a-agropecuaria-2018-19.pdf>>. Acesso em: Junho 2019.

- CONAB. Campanha Nacional de Abastecimento. **Acomp. safra bras. grãos**, Brasília, v. VI, n. 9, p. 1-113, junho 2019. ISSN 2318-6852.
- CONAB. **Campanha Nacional de Abastecimento**, Brasília-DF, v. VIII, n. 6, p. 1 - 106, Março 2021. ISSN 2318-6852.
- CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa-MG, v. 1, p. 514, 2012. ISSN 9788572694339.
- CULLIS, B. R.; SMITH, A. B.; COOMBES, N. E. On the design of early generation variety trials with correlated data. **Journal of Agricultural, Biological, and Environmental Statistics**, v. 11, n. 4, p. 381–393, 2006.
- DALL'AGNOL, A. **A Embrapa soja no contexto do desenvolvimento da soja no Brasil: histórico e contribuições**. Brasília-DF: Embrapa soja, 2016. ISBN 978-85-7035-558-4.
- DALLASTRA, A. et al. Multivariate approach in the selection of superior soybean progeny which carry the RR gene. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza-CE, v. 45, n. 3, p. 588-597, July/Sept. 2014. ISSN 1806-6690.
- EGLI, D. E. Seed growth and development. In: BOOTE, K. J., et al. **Physiology and determination of crop yield**. Madison: American Society of Agronomy; Crop Science Society of America; Soil Science Society of America., 1994. Chapter 6A. p. 127-148.
- EMBRAPA. Soja sofre redução no teor de proteína ao longo do tempo. **Embrapa**, 2015. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/7693893/soja-sofre-reducao-no-teor-de-proteina-ao-longo-do-tempo>>. Acesso em: 11 fevereiro 2020.
- FALCONER, D. S. **Introdução à genética quantitativa**. Viçosa-MG. Tradução de: Martinho de Almeida e Silva e José Carlos Silva.: UFV, 1987. p. 279.
- FALCONER, D. S.; MACKAY, T. F. C. **Introduction to quantitative genetics**. London: Longman, 1996. 463 p.
- FEHR, W. R.; CAVINESS, C. E. **Stages of soybean development**. Ames: Iowa State University: [s.n.], 1977. p. 12p.
- FLECH, N. G.; LAMEGO, F. P.; SCHAEGLER, C. E.; FERREIRA, F. B. **Resposta de cultivares de soja à competição com cultivar simuladora da infestação de plantas concorrentes**. Scientia Agraria v. 8, p. 213- 218, 2007.
- GABRIEL DE SIQUEIRA GESTEIRA, E. V. Z. A. T. B. I. O. S. P. M. D. R. K. B. S. Seleção fenotípica de cultivares de soja precoce para a região Sul de Minas Gerais. **Revista Agrogeoambiental**, Pouso Alegre-MG, v. VII, n. 3, p. 79-88, Setembro 2015. ISSN 2316-1817.
- GASQUES, J. G. et al. Projeções do Agronegócio : Brasil 2018/19 a 2028/29 projeções de longo prazo. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.**, Brasília, n. 10ª, p. 1-126, 2019. ISSN 978-85-7991-127-9.

GESTEIRA, G. D. S. et al. Selection of Early Soybean Inbred Lines Using Multiple Indices. **Crop Science Society of America**, Madison, v. 58, p. 2494–2502, Nov./Dec. 2018. ISSN doi: 10.2135/cropsci2018.05.0295.

GESTEIRA, G. S. **Seleção de linhagens de soja precoce para produtividade e qualidade de grãos**. Dissertação (Mestrado) - UFLA, Lavras-MG, p. 58, 2017.

GRAEF, G. E. A. A high-oleic-acid and low-palmitic-acid soybean: agronomic performance and evaluation as a feedstock for biodiesel. **Plant Biotechnol Journal**, v. 7, n. 5, p. 411- 421, May 2009.

HAMAWAKI, O. et al. Genetic parameters and variability in soybean genotypes. **Comunicata Scientiae**, v. 3, n. 2, p. 76-83, May-June 2012.

HEIL, C. **Rapid, multi-component analysis of soybeans by FT-NIR spectroscopy**, Madison, WI USA, 2019. Disponível em: < <http://www.nicoletcz.cz/upload/kc/files/aplikacni-podpora/nir/soybeans.pdf> >. Acesso em: 15 jul. 2019.

HYMOWITZ, T. On the domestication of the soybean. **Econ. bot.**, n. 24, p. 408-421, 1970.

JOHNSON, L. A.; WHITE, P. J.; GALLOWAY, R. (Eds.). **Soybeans: Chemistry, Production, Processing, and Utilization**. [S.l.]: Elsevier, 2015. ISBN 9780128043523.

JUHÁSZ, A. C. P.; CIABOTTI, S.; TEIXEIRA, L. C. A. A. Breeding for nutritional quality. In: LOPES DA SILVA, F. . B. A. . S. T. . L. W. H. **Soybean breeding**. [S.l.]: Springer International Publishing., 2017. p. 375-393.

KARR-LILIENTHAL, L. K. et al. Amino acid, carbohydrate, and fat composition of soybean meals prepared at 55 commercial U.S. soybean processing plants. **J Agric Food Chem.**, v. 53, n. 6, p. 2146-2150, Mar. 2005.

KEMPTHORNE, O. **An introduction to genetic statistics**. Ames, Iowa: State University Press, 454 p., 1973.

KIIHL, R. Prefácio. In: F., S., et al. **Melhoramento da soja**. Viçosa: UFV, 2017. p. 563.

KIIHL, R. A. S.; GARCIA, A. The use of the long-juvenile trait in breeding soybean cultivars. **World soybean research conference**, Buenos Aires, v. 2, n. 4, p. 994-1000, 1989.

MANDARINO, J. M. G. Componentes do grão de soja e seus efeitos na fisiologia humana. **Embrapa Soja**, Londrina-PR, 23 Maio 2017. 2.

MANDARINO, J. M. G. Valor Nutricional da Soja. **Canal Rural - Blog da Embrapa Soja**, 2018. Disponível em: <<https://blogs.canalrural.com.br/embrapasoja/2018/03/13/valor-nutricional-da-soja/>>. Acesso em: 11 fevereiro 2020.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **AGROSTAT**, 2019. Disponível em: <<http://indicadores.agricultura.gov.br/agrostat/index.htm>>. Acesso em: 12 fevereiro 2020.

MEDIC, J.; ATKINSON, C.; HURBURGH JR, C. R. Current knowledge in soybean composition. **J Am Oil Chem Soc (AOCS)**, v. 91, n. 3, p. 363–384, January 2014. ISSN

1558-9331.

MIRANDA, F. D. **Produção, conteúdo de proteína e óleo no grão da soja: herdabilidades, correlações e seleção de genótipos superiores.** Tese (Doutorado) - UFV. Viçosa-MG., Dez. 2006.

MISSOURI SOYBEANS. **Mosoy.org**, 2019. Disponível em: <<https://mosoy.org/missouri-now-holds-patent-for-high-oleic-soybeans/>>. Acesso em: 13 setembro 2019.

NOGUEIRA, A. P. O. et al. análise de trilha e correlações entre caracteres em soja cultivada em duas épocas de semeadura. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, n. 6, p. 877-888, Nov./Dec. 2012.

PEREIRA, F. C. et al. Implications of the population effect in the selection of soybean progenies. **Plant Breeding**, v.136, p. 679–687, 2017.

PÍPOLO, A. E. et al. Teores de óleo e proteína em. **Comunicado Técnico,86**, Londrina-PR, p. 16, Maio 2015. ISSN 2176-2889.

PÍPOLO, A. E.; MANDARINO, J. M. G. Os teores de proteína da soja e a qualidade para a indústria. **BOLETIM INFORMATIVO DA SBCS**, v. 42, n. 2, p. 30-32, mai-ago 2016. ISSN 1981-979X.

PURDUE UNIVERSITY - College of Agriculture. **ag.purdue.edu**, 2019. Disponível em: <<https://ag.purdue.edu/high-oleic-soybean-oil/Pages/background.aspx>>. Acesso em: 13 setembro 2019.

PIRES, L. P. M.; PELUZIO, J. M.; CANCELLIER, L. L.; SANTOS, G. R. R.; COLOMBO, G. A.; AFFÉRI, F. S. Performance Of Soybean Genotypes In Central-South Region On Tocantins State, Crop Season 2009/2010. **Bioscience Journal** (Online), v. 23, p. 214-223, 2012.

QUALISOY. **Qualisoy.com**, 2019. Disponível em: <<https://www.qualisoy.com/food-industry-solutions/high-oleic-soybean-oil>>. Acesso em: 13 setembro 2019.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing.** R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2018. Disponível em: < <https://www.R-project.org/> >. Acesso em: março/2019.

RAMALHO, M. A. P. et al. **Competências em Melhoramento Genético de Plantas no Brasil.** Viçosa - MG: Arka, 2010. ISBN 978-85-755-332.

RAMALHO, M. A. P. et al. **Aplicações da genética quantitativa no melhoramento de plantas autógamas.** Lavras, MG: UFLA, 2012. 522 p.

RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B.; SANTOS, J. B. Melhoramento de espécies autógamas. In: NASS, L. L.; VALOIS, A. C. C.; MELO, I. S. de; VALADARES-INGLIS, M. C. (Ed.). Recursos genéticos e melhoramento de plantas. Rondonópolis: **Fundação MT**, p. 201- 230, 2001.

RANGEL, M. A. S. et al. Efeito do genótipo e do ambiente sobre os teores de óleo e proteína

nos grãos de soja, em quatro ambientes da Região Sul de Mato Grosso do Sul, safra 2002/2003. **Embrapa Agropecuária Oeste: Fundação Vegetal.**, Dourados-MS, n. 1, p. 20, Setembro 2004. ISSN 1517-0322 (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 17).

REZENDE, P. M. D.; CARVALHO, E. D. A. Avaliação de cultivares de soja [*Glycine max* (L.) Merrill] para o sul de Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, n. 6, p. 1616-1623, 2007.

RODRIGUES, J. I. D. et al. Mapping QTL for protein and oil content in soybean. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v. 45, n. 5, p. 472-480, 2010. ISSN 0100-204X.

SEAPA. Secretaria de Estado de Agricultura, Pecuária e Abastecimento de Minas Gerais. **Projeções do Agronegócio - Minas Gerais 2017 a 2027 - Projeções de longo prazo**, n. 3, p. 1-98.

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

SEDIYAMA, T.; TEIXEIRA, R. D. C.; REIS., M. S. Melhoramento da soja. In: BORÉM, A. **Melhoramento de Espécies Cultivadas**. Viçosa - MG: UFV, 1999. p. 487 - 533.

SILVA, C. E. et al. **Avaliação de ácidos graxos da soja**: grão inteiro, casca, cotilédones e hipocótilo. V Jornada Acadêmica da Embrapa Soja. Londrina-PR: Embrapa soja. Documentos, 323. 2010. p. 4.

SILVA, F. D. S. **Melhoramento da soja visando à qualidade de grãos**. Universidade Federal de Lavras - UFLA. Lavras, p. 70. Tese. 2019.

SOARES, I. O. **Emprego da seleção recorrente visando a obtenção de progênes de soja adaptadas ao Sul de Minas Gerais.**, Lavras - MG, 2018. 64.

SOJA, E. M. Plantação de soja: teor de proteína é diferencial competitivo. +**Soja**, 2020. Disponível em: <<https://maissoja.com.br/plantacao-de-soja-teor-de-proteina-e-diferencial-competitivo/>>. Acesso em: 22 maio 2021.

THANH, V. H.; SHIBASAKI, K. Major proteins of soybean seeds. A straightforward fractionation and their characterization. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 24, n. 6, p. 1117-1121, Nov. 1976.

THIAGO, L. R. L. D. S.; SILVA, J. M. D. Soja na Alimentação de Bovinos. **Embrapa Gado de Corte - Circular Técnica**, 31, Campo Grande-MS, n. 1ª, p. 1-6, Dezembro 2003. ISSN 1518-088.

VAL, B. H. P. et al. Diversidade genética de genótipos de soja por meio de caracteres agromorfológicos. **Ciência & Tecnologia: FATEC-JB**, Jaboticabal-SP, v. 6, n. 1, p. 72-83, 2014. ISSN 2178-9436.

VILELA, G. L. D. (2019). **Potencial genético de populações de soja para produtividade de grãos e maturação absoluta**. Departamento de Agricultura. Lavras, Universidade Federal de Lavras: 50 p.

## APÊNDICE

APÊNDICE A – Resumo da análise individual de parâmetros genéticos e fenotípicos associados ao caráter agrônômico teor de proteína nos grãos, entre progênies F<sub>2:3</sub> de soja no município de Lavras-MG, na safra 2018/19.

<b>Caracteres Agrônômicos</b>		
<b>Fontes de variação<sup>1/</sup></b>	<b>Proteína (%)</b>	
<b>Efeitos Aleatórios</b>		
<b>Parâmetros Genéticos e Fenotípicos</b>		
<b>Progênies Precoces</b>	$\hat{\sigma}_{GPP}^2$	0,78***
<b>Progênies Tardias</b>	$\hat{\sigma}_{GPT}^2$	1,67***
<b>Resíduo</b>	$\hat{\sigma}_e^2$	0,084
<b>Efeitos Fixos</b>		
<b>Desvios Genéticos e Fenotípicos</b>		
<b>Testemunhas</b>	$\emptyset_T$	0,0006217***
<b>Ciclo</b>	$\emptyset_C$	0,0001299***
<b>Testemunhas x Progênies</b>	$\emptyset_{T \times P}$	0,14365
<b>CV<sub>e</sub> (%)</b>		0,79950
<b>Progênies Precoces</b>		
<b>rgg' (%)</b>		97,61
<b>h<sup>2</sup> (%)</b>		96,35
<b>Média</b>		35,88
<b>Progênies Tardias</b>		
<b>rgg' (%)</b>		97,61
<b>h<sup>2</sup> (%)</b>		98,35
<b>Média</b>		36,60

<sup>1/</sup>Variância genética entre progênies precoces ( $\hat{\sigma}_{GPP}^2$ ), variância genética entre progênies tardias ( $\hat{\sigma}_{GPT}^2$ ). \*Significância pelo teste de verossimilhança (Likelihood Ratio Test) para os efeitos aleatórios - 0 '\*\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1.

\*Significância pelo teste de Wald para efeitos fixos - 0 '\*\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1.

Fonte: Do Autor (2021).

APÊNDICE B – Resumo da análise individual de parâmetros genéticos e fenotípicos associados ao caráter agrônômico teor de proteína nos grãos, entre progêneses F<sub>2:3</sub> de soja no município de Ijaci-MG, na safra 2018/19.

Caracteres Agrônômicos		
Fontes de variação <sup>1/</sup>	Proteína (%)	
<b>Efeitos Aleatórios</b>		
<b>Parâmetros Genéticos e Fenotípicos</b>		
Progêneses Precoces	$\hat{\sigma}_{GPP}^2$	1,2867***
Progêneses Tardias	$\hat{\sigma}_{GPT}^2$	1,51***
Resíduo	$\hat{\sigma}_e^2$	0,1432
<b>Efeitos Fixos</b>		
<b>Desvios Genéticos e Fenotípicos</b>		
Testemunhas	$\emptyset_T$	0,2383
Ciclo	$\emptyset_C$	0,1553
Testemunhas x Progêneses	$\emptyset_{T \times P}$	0,7254
CV <sub>e</sub> (%)	1,05	
<b>Progêneses Precoces</b>		
rgg' (%)	97,24	
h <sup>2</sup> (%)	93,21	
Média	35,90	
<b>Progêneses Tardias</b>		
rgg' (%)	97,60	
h <sup>2</sup> (%)	93,70	
Média	36,33	

<sup>1/</sup>Variância genética entre progêneses precoces ( $\hat{\sigma}_{GPP}^2$ ), variância genética entre progêneses tardias ( $\hat{\sigma}_{GPT}^2$ ). \*Significância pelo teste de verossimilhança (Likelihood Ratio Test) para os efeitos aleatórios - 0 '\*\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' '1.

\*Significância pelo teste de Wald para efeitos fixos - 0 '\*\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' '1.

Fonte: Do Autor (2021).

APÊNDICE C – Resumo da análise individual de parâmetros genéticos e fenotípicos associados aos caracteres agrônômicos produtividade de grãos e dias para maturação, entre progêneses precoces F<sub>2:4</sub> de soja no município de Lavras-MG, na safra 2019/20.

Caracteres Agrônômicos		
Fontes de variação <sup>1/</sup>	Produtividade (Kg.ha <sup>-1</sup> )	Maturação (Dias)
<b>Efeitos Aleatórios</b>		
<b>Parâmetros Genéticos e Fenotípicos</b>		
Progêneses Precoces	$\hat{\sigma}_{GPP}^2$	189235,50***
Resíduo	$\hat{\sigma}_e^2$	630064,60
<b>Efeitos Fixos</b>		
<b>Desvios Genéticos e Fenotípicos</b>		
Testemunhas	$\emptyset_T$	2,609e <sup>-11</sup> ***
Testemunhas x Progêneses	$\emptyset_{T \times P}$	2,2e <sup>-16</sup> ***
CV <sub>e</sub> (%)	18,37	
rgg' (%)	61,73	
h <sup>2</sup> (%)	43,94	
Média	4320,009	
		133,29

<sup>1/</sup>Variância genética entre progêneses precoces ( $\hat{\sigma}_{GPP}^2$ ). \*Significância pelo teste de verossimilhança (Likelihood Ratio Test) para os efeitos aleatórios - 0 '\*\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' '1.

\*Significância pelo teste de Wald para efeitos fixos - 0 '\*\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' '1.

Fonte: Do Autor (2021).

APÊNDICE D – Resumo da análise individual de parâmetros genéticos e fenotípicos associados aos caracteres agrônômicos produtividade de grãos e dias para maturação, entre progênies tardias F<sub>2:4</sub> de soja no município de Lavras-MG, na safra 2019/20.

<b>Caracteres Agrônômicos</b>			
<b>Fontes de variação<sup>1/</sup></b>		<b>Produtividade (Kg.ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>Maturação (Dias)</b>
<b>Efeitos Aleatórios</b>			<b>Parâmetros Genéticos e Fenotípicos</b>
<b>Progênies Tardias</b>	$\hat{\sigma}_{GPT}^2$	191421,90**	1,87e <sup>-07</sup>
<b>Resíduo</b>	$\hat{\sigma}_e^2$	735217,50	1,85
<b>Efeitos Fixos</b>			<b>Desvios Genéticos e Fenotípicos</b>
<b>Testemunhas</b>	$\emptyset_T$	0,003386**	2,2e <sup>-16***</sup>
<b>Testemunhas x Progênies</b>	$\emptyset_{T \times P}$	0,32	1,196e <sup>-06***</sup>
<b>CV<sub>e</sub> (%)</b>		22,26	0,96
<b>rgg' (%)</b>		61,43	-
<b>h<sup>2</sup> (%)</b>		40,63	2,92e <sup>-07</sup>
<b>Média</b>		3850,944	141,70

<sup>1/</sup>Variância genética entre progênies tardias ( $\hat{\sigma}_{GPT}^2$ ). \*Significância pelo teste de verossimilhança (Likelihood Ratio Test) para os efeitos aleatórios - 0 \*\*\*\* 0.001 \*\*\* 0.01 \*\* 0.05 \* .0.1 ' '1.

\*Significância pelo teste de Wald para efeitos fixos - 0 \*\*\*\* 0.001 \*\*\* 0.01 \*\* 0.05 \* .0.1 ' '1.

Fonte: Do Autor (2021).

APÊNDICE E – Resumo da análise individual de parâmetros genéticos e fenotípicos associados aos caracteres agrônômicos produtividade de grãos e dias para maturação, entre progênies precoces F<sub>2:4</sub> de soja no município de Ijaci-MG, na safra 2019/20.

<b>Caracteres Agrônômicos</b>			
<b>Fontes de variação<sup>1/</sup></b>		<b>Produtividade (Kg.ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>Maturação (Dias)</b>
<b>Efeitos Aleatórios</b>			<b>Parâmetros Genéticos e Fenotípicos</b>
<b>Progênies Precoces</b>	$\hat{\sigma}_{GPP}^2$	96218,33***	0,7039***
<b>Resíduo</b>	$\hat{\sigma}_e^2$	290956,20	0,7808
<b>Efeitos Fixos</b>			<b>Desvios Genéticos e Fenotípicos</b>
<b>Testemunhas</b>	$\emptyset_T$	4,647e <sup>-11***</sup>	2,2e <sup>-16***</sup>
<b>Testemunhas x Progênies</b>	$\emptyset_{T \times P}$	0,389	1,838e <sup>-12***</sup>
<b>CV<sub>e</sub> (%)</b>		17,43	0,71
<b>rgg' (%)</b>		64,28	77,55
<b>h<sup>2</sup> (%)</b>		49,57	71,17
<b>Média</b>		3094,442	123,64

<sup>1/</sup>Variância genética entre progênies precoces ( $\hat{\sigma}_{GPP}^2$ ). \*Significância pelo teste de verossimilhança (Likelihood Ratio Test) para os efeitos aleatórios - 0 \*\*\*\* 0.001 \*\*\* 0.01 \*\* 0.05 \* .0.1 ' '1.

\*Significância pelo teste de Wald para efeitos fixos - 0 \*\*\*\* 0.001 \*\*\* 0.01 \*\* 0.05 \* .0.1 ' '1.

Fonte: Do Autor (2021).

APÊNDICE F – Resumo da análise individual de parâmetros genéticos e fenotípicos associados aos caracteres agronômicos produtividade de grãos e dias para maturação, entre progênies tardias F<sub>2:4</sub> de soja no município de Ijaci-MG, na safra 2019/20.

<b>Caracteres Agronômicos</b>			
<b>Fontes de variação<sup>1/</sup></b>		<b>Produtividade (Kg.ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>Maturação (Dias)</b>
<b>Efeitos Aleatórios</b>			
<b>Progênies Tardias</b>	$\hat{\sigma}_{GPT}^2$	229146***	2,79***
<b>Resíduo</b>	$\hat{\sigma}_e^2$	641620,30	1,03
<b>Efeitos Fixos</b>			
<b>Testemunhas</b>	$\hat{\sigma}_T$	0,0007869 ***	2,2e-16 ***
<b>Testemunhas x Progênies</b>	$\hat{\sigma}_{T \times P}$	0,3454785	2,2e-16 ***
<b>CV<sub>e</sub> (%)</b>		21,71	0,74
<b>rgg' (%)</b>		67,54	89,73
<b>h<sup>2</sup> (%)</b>		51,50	89,05
<b>Média</b>		3690,28	136,41

<sup>1/</sup>Variância genética entre progênies tardias ( $\hat{\sigma}_{GPT}^2$ ). \*Significância pelo teste de verossimilhança (Likeliho3,lod Ratio Test) para os efeitos aleatórios - 0 '\*\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.'0.1 ' '1.

\*Significância pelo teste de Wald para efeitos fixos - 0 '\*\*\*\*'. 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.'0.1 ' '1.

Fonte: Do Autor (2021).

APÊNDICE G – Médias BLUPs da análise conjunta associados aos caracteres agronômicos produtividade de grãos, teor de proteína nos grãos e dias para maturação absoluta, entre progênies F<sub>2:4</sub> de soja precoces e tardias nos municípios de Lavras-MG e Ijaci-MG, na safra 2019/20. (continua)

<b>Tratamentos</b>	<b>Ciclo</b>	<b>Dias para maturação</b>	<b>Proteína</b>	<b>Produtividade</b>
81	Tardia	139,34	36,24	4353,21
169	Tardia	139,39	36,24	4334,36
82	Tardia	139,07	36,24	4267,14
136	Tardia	139,41	36,24	4242,85
59	Precoce	128,36	36,44	4237,38
88	Tardia	139,33	36,24	4219,51
134	Tardia	139,48	36,24	4205,67
83	Tardia	139,51	36,24	4176,57
130	Tardia	139,00	36,24	4171,34
23	Precoce	128,03	36,07	4165,07
72	Precoce	128,03	36,13	4162,11
155	Tardia	139,69	36,24	4149,14
161	Tardia	139,41	36,24	4118,25
58	Precoce	128,23	36,25	4095,64
141	Tardia	139,32	36,24	4092,14
122	Tardia	139,23	36,24	4084,28
29	Precoce	128,12	36,35	4080,68
97	Tardia	139,12	36,24	4059,99
12	Precoce	128,2	36,02	4037,84

166	Tardia	139,29	36,24	4033,10
75	Precoce	128,13	36,19	4031,46
147	Tardia	139,38	36,24	4027,62
116	Tardia	138,9	36,24	4020,47
104	Tardia	139,15	36,24	4019,63
127	Tardia	139,09	36,24	4008,77
102	Tardia	139,57	36,24	4003,84
91	Tardia	139,43	36,24	4001,52
124	Tardia	139,28	36,24	3980,60
42	Precoce	128,44	36,34	3978,36
103	Tardia	139,54	36,24	3970,22
95	Tardia	139,8	36,24	3968,67
119	Tardia	139,48	36,24	3948,73
90	Tardia	139,23	36,24	3946,23
76	Precoce	127,95	36,17	3942,43
64	Precoce	128,66	36,35	3927,55
98	Tardia	139,39	36,24	3926,64
%	Precoce	128,70	36,21	3919,37
87	Tardia	139,68	36,24	3919,11
115	Tardia	139,35	36,24	3914,06
73	Precoce	128,48	36,35	3906,64
16	Tardia	136,36	36,24	3905,65
60	Precoce	128,31	36,10	3895,56
21	Precoce	128,30	36,09	3881,90
10	Precoce	128,12	36,29	3879,34
4	Precoce	128,03	36,06	3876,33
47	Precoce	127,98	36,10	3868,64
86	Tardia	139,33	36,24	3865,88
30	Precoce	129,12	36,18	3860,73
68	Precoce	128,33	36,17	3857,50
150	Tardia	139,89	36,24	3851,59
128	Tardia	139,76	36,24	3850,05
31	Precoce	128,30	36,20	3847,17
55	Precoce	128,21	36,28	3846,95
135	Tardia	139,76	36,24	3845,34
37	Precoce	128,35	36,24	3829,87
46	Precoce	128,17	36,14	3829,77
48	Precoce	127,85	35,99	3821,61
109	Tardia	139,60	36,24	3821,36
132	Precoce	132,07	36,15	3817,26
144	Tardia	139,80	36,24	3814,44
1	Precoce	128,01	36,09	3811,48
39	Precoce	128,11	36,26	3807,91
125	Tardia	139,48	36,24	3806,40

139	Tardia	139,23	36,24	3795,15
32	Precoce	128,06	36,19	3794,85
100	Tardia	139,32	36,24	3792,46
70	Precoce	128,14	36,06	3788,41
129	Tardia	139,43	36,24	3786,35
131	Tardia	139,54	36,24	3781,29
74	Precoce	128,49	36,09	3774,60
151	Tardia	138,50	36,24	3773,17
121	Tardia	137,11	36,24	3770,11
133	Tardia	139,14	36,24	3765,36
105	Tardia	139,07	36,24	3763,89
77	Precoce	128,31	36,01	3754,43
164	Tardia	139,39	36,24	3749,37
22	Tardia	136,43	36,24	3747,97
15	Precoce	128,14	36,08	3744,34
112	Tardia	139,39	36,24	3741,70
85	Tardia	139,94	36,24	3741,43
56	Precoce	128,19	36,46	3740,95
107	Tardia	139,58	36,24	3740,69
28	Precoce	128,01	36,12	3739,77
34	Precoce	128,09	36,30	3735,01
40	Precoce	128,16	35,93	3733,15
27	Precoce	128,09	36,15	3732,03
138	Tardia	139,43	36,24	3729,53
142	Tardia	139,31	36,24	3727,68
99	Tardia	139,40	36,24	3716,80
33	Precoce	128,29	36,15	3702,51
38	Precoce	128,20	36,27	3700,55
123	Tardia	139,51	36,24	3695,99
62	Precoce	128,07	36,00	3695,66
162	Tardia	139,22	36,24	3689,79
137	Tardia	139,34	36,24	3674,17
67	Precoce	128,18	36,28	3673,31
35	Precoce	128,15	36,33	3671,75
79	Precoce	128,07	36,23	3666,99
118	Tardia	139,43	36,24	3665,05
49	Precoce	128,25	36,24	3662,25
149	Tardia	139,35	36,24	3660,45
146	Tardia	139,22	36,24	3653,19
93	Tardia	139,67	36,24	3646,70
6	Precoce	128,43	36,18	3641,60
110	Tardia	139,70	36,24	3632,21
94	Tardia	139,83	36,24	3630,66
66	Precoce	128,56	36,10	3626,74

160	Tardia	139,56	36,24	3622,52
53	Precoce	128,07	36,26	3618,63
108	Tardia	139,55	36,24	3598,37
69	Precoce	128,01	36,26	3596,41
50	Precoce	128,07	36,22	3592,16
17	Tardia	136,41	36,24	3578,96
114	Tardia	139,56	36,24	3573,31
168	Tardia	139,49	36,24	3568,64
45	Precoce	127,95	36,40	3567,24
24	Precoce	129,11	36,09	3566,16
7	Precoce	128,79	36,37	3558,76
71	Precoce	128,6	36,05	3547,25
19	Precoce	128,37	36,05	3546,35
43	Precoce	128,50	36,15	3538,64
61	Precoce	128,48	36,28	3536,68
44	Precoce	128,35	36,27	3532,67
96	Tardia	139,41	36,24	3529,78
57	Precoce	128,02	35,85	3529,10
111	Tardia	139,56	36,24	3523,67
80	Precoce	127,92	35,97	3521,34
26	Precoce	128,07	36,30	3513,39
106	Tardia	139,78	36,24	3504,14
148	Tardia	139,56	36,24	3485,83
13	Precoce	128,80	36,08	3485,73
5	Precoce	129,01	36,02	3484,22
152	Tardia	139,56	36,24	3483,06
126	Tardia	139,79	36,24	3474,78
2	Precoce	128,09	36,19	3471,80
9	Precoce	129,11	36,19	3470,07
143	Tardia	139,63	36,24	3468,15
145	Tardia	139,45	36,24	3444,66
78	Precoce	128,73	36,24	3441,61
120	Tardia	139,63	36,24	3431,77
41	Precoce	128,15	36,10	3399,97
63	Precoce	128,15	35,84	3378,38
52	Precoce	128,48	36,17	3377,82
20	Precoce	128,84	36,17	3364,09
36	Precoce	128,79	36,25	3363,71
8	Precoce	128,42	36,20	3353,97
18	Precoce	129,69	35,92	3347,60
65	Precoce	128,24	36,27	3337,84
11	Tardia	136,55	36,24	3329,82
101	Tardia	139,81	36,24	3308,93
92	Tardia	139,32	36,24	3279,81

54	Precoce	128,49	36,26	3252,39
51	Precoce	128,24	36,12	3197,68
84	Tardia	139,78	36,24	3196,70
89	Tardia	139,37	36,24	3144,05
113	Tardia	139,62	36,24	3068,93
3	Precoce	129,28	36,11	3063,20
117	Tardia	139,55	36,24	3036,48
140	Tardia	139,87	36,24	2896,99
14	Precoce	129,25	36,05	2863,20

---

(conclusão)

Fonte: Do Autor (2021).