

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a)
autor(a), o texto completo desta tese
será disponibilizado somente a partir
de 12/07/2025.

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**ESTUDO GENÉTICO E ANÁLISE MULTIVARIADA DE
MÚLTIPLOS CARACTERES AGRONÔMICOS E COMERCIAL
VISANDO A SELEÇÃO DE LINHAGENS AVANÇADAS DE
SOJA**

**Alice Pereira Silva
Engenheira Agrônoma**

2023

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**ESTUDO GENÉTICO E ANÁLISE MULTIVARIADA DE
MÚLTIPLOS CARACTERES AGRONÔMICOS E COMERCIAL
VISANDO A SELEÇÃO DE LINHAGENS AVANÇADAS DE
SOJA**

Discente: Alice Pereira Silva

Orientadora: Profa. Dra. Sandra Helena Unêda-Trevisoli

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Doutora em Agronomia (Genética e Melhoramento de Plantas).

2023

S586e

Silva, Alice Pereira

Estudo genético e análise multivariada de múltiplos caracteres agronômicos e comercial visando a seleção de linhagens avançadas de soja / Alice Pereira Silva. - Jaboticabal, 2023

56 p.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal

Orientadora: Sandra Helena Uneda-Trevisoli

1. Glycine max. 2. Parâmetros genéticos. 3. Melhoramento de plantas. 4. Análise multivariada. 5. Soja. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO


TÍTULO DA TESE: ESTUDO GENÉTICO E ANÁLISE MULTIVARIADA DE MÚLTIPLOS CARACTERES AGRONÔMICOS E COMERCIAL DOS GRÃOS EM SOJA VISANDO A SELEÇÃO DE LINHAGENS AVANÇADAS

AUTORA: ALICE PEREIRA SILVA


ORIENTADORA: SANDRA HELENA UNÊDA TREVISOLI

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em Agronomia (Genética e Melhoramento de Plantas), pela Comissão Examinadora:


Profa. Dra. SANDRA HELENA UNÊDA TREVISOLI (Participação Presencial)
Departamento de Ciências da Produção Agrícola / FCAV UNESP Jaboticabal

Documento assinado digitalmente
 SANDRA HELENA UNEDA TREVISOLI
Data: 18/07/2023 16:59:21-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>


Pesquisador Dr. EVERTON LUIS FINOTO (Participação Presencial)
APTA - Polo Regional do Centro Norte / Pindorama/SP

Documento assinado digitalmente
 EVERTON LUIS FINOTO
Data: 19/07/2023 09:02:27-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>


Dra. LÍGIA DE OLIVEIRA AMARAL (Participação Virtual)
BASF S/A / Porto Nacional/TO

Documento assinado digitalmente
 LÍGIA DE OLIVEIRA AMARAL
Data: 21/07/2023 18:16:20-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Dr. RAFAEL SILVA RAMOS DOS ANJOS (Participação Presencial)
Departamento de Ciências da Produção Agrícola / FCAV UNESP Jaboticabal

Documento assinado digitalmente
 RAFAEL SILVA RAMOS DOS ANJOS
Data: 25/07/2023 11:53:23-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Pesquisadora Dra SALLY FERREIRA BLAT (Participação Presencial)
Departamento de Descentralização do Desenvolvimento / APTA - Ribeirão Preto

Documento assinado digitalmente
 SALLY FERREIRA BLAT
Data: 01/08/2023 11:21:43-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Jaboticabal, 12 de julho de 2023

DADOS CURRICULARES DA AUTORA

ALICE PEREIRA SILVA – nascida em 09 de outubro de 1990, na cidade de Lavras – MG, é Engenheira Agrônoma formada pela Universidade Federal de Lavras em 2016. Em março de 2017 ingressou no curso de Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas pela mesma instituição, área de concentração em Genética Quantitativa com ênfase em Produção e Melhoramento Genético do feijoeiro comum, como bolsista CAPES sob a orientação do Prof. Dra. Ângela de Fátima Barbosa Abreu, obtendo o título de mestre em fevereiro de 2019. Ingressou no curso de Doutorado em Agronomia (Genética e Melhoramento de Plantas) em março de 2019, na Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Câmpus de Jaboticabal, sob a orientação da Profa. Dra. Sandra Helena Unêda-Trevisoli, como bolsista CAPES.

Dedico,

Ao meu saudoso pai, Luís Vítor da Silva.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de expressar meu profundo agradecimento a Deus por me guiar e me dar forças ao longo desta jornada acadêmica.

Agradeço de todo o coração aos meus pais, Luis Vitor e Helenice, por seu amor incondicional, apoio constante e orientação desde o meu nascimento. Sem o encorajamento de vocês, eu não teria alcançado este momento tão importante em minha vida.

Gostaria também de agradecer imensamente à minha irmã, Letícia, por sempre estar ao meu lado, compartilhando seus preciosos conselhos e sendo uma fonte de inspiração para mim.

Aos meus estimados professores do programa de pós-graduação, em especial à minha orientadora, Sandra, meu profundo agradecimento. Sua sabedoria, orientação e dedicação foram essenciais para o meu crescimento acadêmico e profissional.

Aos meus colegas de trabalho e do laboratório, não tenho palavras para expressar minha gratidão. Sua ajuda, amizade e apoio ao longo desses quatro anos foram fundamentais para o meu desenvolvimento e superação de desafios.

Aos meus queridos amigos que encontrei em Jaboticabal, Gabriel, Igor, Barbara, Paula, Guilherme, Lígia, Alyce, Aninha, Thayna, Dardania, Dolores e Jardel, muito obrigado por compartilharem comigo momentos de alegria, descontração e companheirismo. Vocês tornaram essa jornada ainda mais especial.

Ao André, meu amigo e companheiro, que me apoiou muito na fase final.

Não posso deixar de agradecer aos funcionários da universidade, em especial aos que estiveram ao meu lado nos experimentos em campo: Marcelo (in memoriam), Colovate, Fran, Seu João, Claudinei, Toninho e Faro. Sua colaboração e dedicação foram imprescindíveis para o sucesso do meu trabalho.

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

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a minha formação e crescimento, meu sincero e profundo agradecimento.

Muito obrigada a todos!

SUMÁRIO

RESUMO	iii
ABSTRACT	iii
CAPÍTULO 1 – Considerações Gerais	1
1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	2
2.1 Cultura da soja no Brasil	2
2.2 Características agronômicas em soja	3
2.3 Teor de óleo em soja	4
2.4 Parâmetros genéticos	5
2.5 Análises Multivariadas	5
REFERÊNCIAS.....	7
CAPÍTULO 2. Estudo genético de múltiplos caracteres agronômicos e comercial dos grãos em soja visando a seleção de linhagens avançadas.....	12
1 INTRODUÇÃO.....	13
2 MATERIAL E MÉTODOS	14
2.1 Material Genético.....	14
2.2 Condução experimental	15
2.3 Avaliação dos caracteres agronômicos.....	15
2.4 Análises Estatísticas das Linhagens.....	16
3 RESULTADOS.....	20
4 DISCUSSÃO.....	28
5 CONCLUSÕES.....	33
REFERÊNCIAS.....	34
CAPÍTULO 3. Análise multivariada de caracteres agronômicos e industriais dos grãos em soja visando a seleção de linhagens avançadas.....	38
1 INTRODUÇÃO.....	39

2.	MATERIAL E MÉTODOS	39
2.1	Material Genético	39
2.2	Condução experimental	41
2.3	Avaliação dos caracteres agronômicos	41
2.4	Análises Estatísticas das Linhagens	42
3.	RESULTADOS.....	45
4.	DISCUSSÃO.....	50
5.	CONCLUSÕES.....	54
	REFERÊNCIAS.....	55

ESTUDO GENÉTICO E ANÁLISE MULTIVARIADA DE MÚLTIPLOS CARACTERES AGRONÔMICOS E COMERCIAL VISANDO A SELEÇÃO DE LINHAGENS AVANÇADAS DE SOJA

RESUMO - O objetivo deste trabalho foi obter genótipos de soja que associam atributos agronômicos e comerciais superiores. Para tanto, foi conduzido um experimento durante três anos agrícolas: 2019/2020, quando foram semeados genótipos da geração F_{5:6}; 2020/2021, quando foram semeados genótipos de geração F_{5:7}; e 2021/2022, quando foram semeados genótipos da geração F_{5:8}. Em cada ano, foram semeadas as mesmas quatro populações, denominadas A, B, C e D. Tais populações foram oriundas de genitores contrastantes para o caráter de alto teor de óleo no grão, além de possuírem outras características comerciais desejáveis. Cada parcela foi avaliada individualmente para vários atributos agronômicos na época da maturidade e após a colheita, como também avaliados os caracteres relacionados à produção de grãos. Após a obtenção dos dados, foram realizadas as análises estatísticas, as quais incluíram análise de Deviance (ANADEV), estimativa de parâmetros genéticos e índice de seleção Z. A alta intensidade de seleção para os mesmos caracteres diminuiu a variabilidade da população, ou seja, reduziu a variância genética dentro das populações. O índice de seleção Z se mostrou eficaz ao selecionar os 10 genótipos mais produtivos da população A, B, C e D. A aplicação da análise de componentes principais se mostrou apropriada para a seleção de genótipos de soja, levando em consideração diversos atributos associados aos componentes de produção de grãos, bem como o alto teor de proteína e óleo no grão.

Palavras-chave: *Glycine max*, parâmetros genéticos, melhoramento de plantas, componentes principais

GENETIC STUDY AND MULTIVARIATE ANALYSIS OF MULTIPLE AGRONOMIC AND COMMERCIAL TRAITS FOR THE SELECTION OF ADVANCED SOYBEAN LINES

ABSTRACT - The objective of this study was to obtain soybean genotypes that combine superior agronomic and commercial attributes. To achieve this, an experiment was conducted over three agricultural years: 2019/2020, when F5:6 generation genotypes were sown; 2020/2021, when F5:7 generation genotypes were sown; and 2021/2022, when F5:8 generation genotypes were sown. In each year, the same four populations, labeled A, B, C, and D, were sown. These populations originated from contrasting parents for high grain oil content, as well as possessing other desirable commercial traits. Each plot was individually evaluated for various agronomic attributes at maturity and after harvest, as well as for traits related to grain production. After obtaining the data, statistical analyses were performed, including Deviance Analysis (ANADEV), analysis of variance (ANOVA), estimation of genetic parameters, and Z selection index. The high selection intensity for the same traits reduced the population's variability, i.e., it decreased the genetic variance within the populations. The Z selection index proved effective in selecting the top 10 productive genotypes from populations A, B, C, and D. The application of principal component analysis was suitable for the selection of soybean genotypes, taking into account various attributes associated with grain production components, as well as high protein and oil content in the grain.

Keywords: *Glycine max*, genetic parameters, plant breeding, principal components.

CAPÍTULO 1 – Considerações Gerais

1 INTRODUÇÃO

De acordo com a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2023), a produção de soja no Brasil na safra agrícola de 2022/23 atingiu a marca de 154,6 milhões de toneladas, apresentando um aumento de 23,10% em relação à safra anterior, também houve um crescimento de 6,20% na área plantada, totalizando 44,07 milhões de hectares.

O aumento na produção e produtividade da cultura da soja é atribuída, em grande parte, aos avanços obtidos nos programas de melhoramento genético. Nesses programas, os genótipos mais produtivos são selecionados por meio de experimentos em ambientes diversos (anos e locais), nos quais é possível observar que uma mesma cultivar pode apresentar desempenhos distintos. Essa variação é consequência da interação entre os fatores genéticos e ambientais (Bornhofen, 2017).

O desenvolvimento de novas cultivares é um processo complexo que envolve várias etapas, desde a escolha dos genitores até a seleção de linhagens superiores. A obtenção de populações segregantes e a condução das mesmas no avanço de gerações também são etapas importantes no processo de melhoramento genético de plantas. De acordo com Cruzet al. (2012), o processo de melhoramento genético envolve a realização de cruzamentos entre genitores selecionados, a obtenção de genótipos segregantes e a condução das populações no campo até a obtenção de linhagens superiores. A seleção de genótipos superiores é feita com base em critérios como produção, resistência a doenças e pragas, qualidade dos grãos, dentre outros.

A taxa de sucesso de um programa de melhoramento aumenta quando é possível selecionar simultaneamente um conjunto de características economicamente importantes (Resende et al. , 2007; Vasconcelos et al. , 2010). Assim, o índice de seleção torna-se uma ferramenta adicional, estabelecida pela combinação de vários caracteres, permitindo uma seleção simultânea eficiente (Cruz, 2012).

Os teores de proteína e óleo no grão de soja desempenham um papel fundamental na determinação do seu valor comercial (Wilson, 2004). No cenário brasileiro, a soja desempenha um papel crucial na economia, fornecendo óleo para

consumo interno, servindo como fonte essencial de proteína para ração animal e contribuindo significativamente para as exportações do país (Sediyama et al. , 1993). Dada a relevância econômica da soja, a pesquisa continua a buscar maneiras de aumentar a produtividade e reduzir os custos de produção (EMBRAPA, 2003).

As técnicas de análise multivariada são ferramentas de grande importância para classificação de germoplasmas, além de ordenar variabilidades contidas em acessos e analisar relações genéticas entre características e genótipos superiores (Iqbal et al. , 2008). Com essas informações, torna-se possível identificar genótipos potenciais, uma vez que, de acordo com Oliveira (1989), a avaliação do material genético em um conjunto de características combina múltiplas informações contidas na unidade experimental, facilitando, assim, a seleção de materiais promissores e avaliação da divergência genética.

A estrutura da presente tese é composta por três capítulos. O capítulo I apresenta uma revisão bibliográfica sobre a importância da cultura e o melhoramento genético de soja. No capítulo II, foram estimados parâmetros genéticos por meio de modelos mistos visando a seleção para caracteres agronômicos e de qualidade de grão (teor de óleo). Por sua vez, no capítulo III, foi realizada uma análise multivariada de componentes principais, visando selecionar indivíduos com médias elevadas simultaneamente para teor de óleo, proteína e produtividade de grãos.

5. CONCLUSÕES

A aplicação da análise de componentes principais se mostra apropriada para a seleção de genótipos de soja, levando em consideração diversos atributos associados aos componentes de produção de grãos, bem como o teor de proteína e óleo.

REFERÊNCIAS

Bornhofen E, Benin G, Storck L, Woyann LG, Duarte T, Stoco MG, Marchioro SV (2017) Statistical methods to study adaptability and stability of wheat genotypes. **Bragantia** 76:1-10.

CONAB Companhia Nacional de Abastecimento (2023) **Acompanhamento da safra brasileira de grãos, Safra 2022/23**. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/4971-producao-de-graos-esta-estimada-em-312-5-milhoes-de-toneladas-na-safra-2022-23>>. Acesso em: 15 mai. 2023.

Costa MM, Di Mauro AO, Unêda-Trevisoli SH, Arriel NHC, Bárbaro IM, Silveira GD, Muniz FRS (2008) Heritability estimation in early generations of two-way crosses in soybean. **67**:101-108.

Cruz CD (2013) Genes: a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum. Agronomy** 35:271-276.

Cruz CD, Regazzi AJ, Carneiro PCS (Eds) (2012) **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa:UFV. 514p.

Fehr WR, Caviness CE, Vorst JJ (1977) Response of Indeterminate and Determinate Soybean Cultivars to Defoliation and Half-plant Cut-off 1. **Crop Science** 17(6):913-917.

Ferraudo AS (2010) **Técnicas de Análise Multivariada – uma introdução**. Treinamento. StatSoft South América, São Caetano, SP.

Hassanvand M, Changizi M, Khaghani S, Gomarian M, e Sedaghatfar E (2022) Selection of drought-tolerant and drought-sensitive lines (*Glycine max*) using principal component analysis. **Plant Physiology** 12(2):4145-4151.

K Hongyu, FL Silva, ACS Oliveira, DA Sarti, LB Araújo, CTS Dias (2015) Comparação entre os modelos AMMI e GGE-Biplot para os dados de ensaios multiambientais. **Revista Brasileira de Biometria** 33(2):139-155.

Iqbal Z, Arshad M, Ashraf M, Mahmood T, Waheed A (2008). Evaluation of soybean [*Glycine max* (L.) Merrill] germplasm for some important morphological traits using multivariate analysis **Pakistan Journal of Botany** 40(6):2323-2328.

JAS Martins, FC Juliatti, VA Santos, AC Polizel, FC Juliatt (2007) Período latente e uso da análise de componentes principais para caracterizar a resistência parcial à ferrugem da soja. **Summa Phytopathologica** 33:364-371.

Moitinho ACR (2021) **Estimativa de parâmetros genéticos e análise multivariada na seleção de genótipos de soja oriundos do cruzamento de genitores tipo grão x tipo alimento**. Dissertação (Mestrado em Agronomia (Genética e Melhoramento de Plantas)) - Universidade Estadual Paulista, Campus de Jaboticabal.

Nimbalkar RD, Katre YY, Phad DS (2017) Genetic diversity in chickpea (*Cicer arietinum* L.). **BIOINFOLET-A Quarterly Journal of Life Sciences** 14(1):60-63.

Pimentel-Gomes F (Eds.) (2009) **Curso de estatística experimental**. Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz. 451p.

R Core Team (2021) **R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing**. Vienna, Austria. Disponível em: <<https://www.R-project.org/>>. Acesso em: mar/2023.

Regazzi AJ (2000) Análise multivariada, notas de aula INF 766, **Departamento de Informática da Universidade Federal de Viçosa, 2**.

Tobar-Tosse DE, Castoldi R, Candido WDS, Ferraudo AS, Charlo HCDO, Braz LT (2015) Caracterização de genótipos de soja-hortaliça por análise de componentes principais. **Ciência Rural** 45(7):1214-1219.

Upadhyay P, Shrivastava MK, Amrate PK, Sharma S, Thakur S, Kumar, JA (2022) Assessing genetic diversity of exotic lines of soybean based on D2 and principal component analysis. **The Pharma Innovation Journal** 11(5S):89-93.

Vencovsky R, Barriga P (1992) **Genética biométrica em fitomelhoramento**. Ribeirão Preto, SP: Revista Brasileira de Genética. 486p.