

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS  
EMBRAPA MANDIOCA E FRUTICULTURA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS GENÉTICOS VEGETAIS  
CURSO DE MESTRADO**

**PARÂMETROS GENÉTICOS E ÍNDICES DE SELEÇÃO EM MULTI-  
AMBIENTES PARA DESEMPENHO E ESTABILIDADE DE MAMONEIRA**

**SAULO COLONNEZI DE OLIVEIRA RAMALHO**

**CRUZ DAS ALMAS - BAHIA  
2024**

# **PARÂMETROS GENÉTICOS E ÍNDICES DE SELEÇÃO EM MULTI-AMBIENTES PARA DESEMPENHO E ESTABILIDADE DE MAMONEIRA**

**Saulo Colonnezi de Oliveira Ramalho**

Engenheiro Agrônomo

Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), 2022

Dissertação apresentada ao Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Recursos Genéticos Vegetais da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia e Embrapa Mandioca e Fruticultura, como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Recursos Genéticos Vegetais.

**Orientador:** Dra. Simone Alves Silva

**Coorientador:** Dr. Diego Marmolejo Cortes

**CRUZ DAS ALMAS - BAHIA**

**2024**

## FICHA CATALOGRÁFICA

R166p	<p>Ramalho, Saulo Colonnezi de Oliveira. Parâmetros genéticos e índices de seleção em multi-ambientes para desempenho e estabilidade de mamoneira / Saulo Colonnezi de Oliveira Ramalho._ Cruz das Almas, BA, 2024. 67f.; il.</p> <p>Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias Ambientais e Biológicas, Mestrado em Recursos Genéticos Vegetais.</p> <p>Orientadora: Prof. Dra. Simone Alves Silva. Coorientador: Prof. Dr. Diego Marmolejo Contes.</p> <p>1.Mamona – Cultivo. 2.Mamona – Melhoramento genético. 3.Produtividade – Análise. I.Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias Ambientais e Biológicas. II.Título.</p> <p>CDD: 633.85</p>
-------	---

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS**  
**EMBRAPA MANDIOCA E FRUTICULTURA PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM**  
**RECURSOS GENÉTICOS VEGETAIS**  
**CURSO DE MESTRADO**

**PARÂMETROS GENÉTICOS E ÍNDICES DE SELEÇÃO EM MULTI-AMBIENTES PARA DESEMPENHO E ESTABILIDADE DE MAMONEIRA**

COMISSÃO EXAMINADORA DA DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE SAULO COLONNEZI  
DE OLIVEIRA RAMALHO

Documento assinado digitalmente  
 **SIMONE ALVES SILVA**  
Data: 05/09/2024 18:33:19-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

**Prof. Dra. Simone Alves Silva**  
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB)  
(Orientador)

Documento assinado digitalmente  
 **HELLEN CRISTINA DA PAIXAO MOURA**  
Data: 06/09/2024 09:30:38-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

**Dra. Hellen Cristina da Paixão Moura**  
Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UNEF)  
(Examinador externo)

Documento assinado digitalmente  
 **ANGELO GALLOTTI PRAZERES**  
Data: 05/09/2024 17:23:41-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

**Dr. Angelo Gallotti Prazeres**  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia - IF Baiano (IF - BAIANO)  
(Examinador externo)

## **DEDICATÓRIA**

À toda minha família Colonnezi e Ramalho, em especial Altiva Maria Colonnezi, Edluzia Colonnezi, João Bosco Ramalho, Maria Florisbela Ramalho, minha eterna gratidão.

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus, pela minha vida, e por me ajudar a ultrapassar todos obstáculos encontrados ao longo do caminho.

À minha família, meus pais, João Bosco e Edluzia, por todas as orações diárias, por me educarem e me conduzirem da melhor maneira possível. Aos meus irmãos e a minha namorada Larah pelo apoio irrestrito.

Agradeço à minha orientadora Dra. Simone Alves, pelo exemplo profissional e pela confiança em mim depositada e ao meu Coorientador Dr. Diego Marmolejo, por direcionar meu trabalho de pesquisa, pela paciência e oportunidade.

Agradeço imensamente a Universidade Federal do Recôncavo da Bahia ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Genéticos Vegetais aos professores e todos os servidores, pelos ensinamentos e experiências compartilhadas, buscando formar profissionais com caráter, ética, conhecimento e comprometimento.

Sou grato a minha Avó, Altiva Maria, que sempre acreditou no meu potencial e nunca negou uma palavra de incentivo, mulher guerreira ao qual tenho como inspiração sua força, coragem e trabalho. Também sou grato aos meus avôs, João e Maria, que sempre estiveram presente em toda minha caminhada me incentivando e mostrando o melhor caminho.

Por fim, manifesto aqui a minha eterna gratidão a Deus, e a todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha jornada, que me deram força e energia para realizar o sonho de ser mestre, não é possível achar a melhor palavra para agradecer todo o apoio nessa trajetória, mas com certeza é uma conquista de todos nós, por isso, muito obrigado.

*“Para atingir o sucesso, seu desejo de sucesso tem de ser maior do que seu medo do fracasso”.*

Bill Cosby

## PARÂMETROS GENÉTICOS E ÍNDICES DE SELEÇÃO EM MULTI-AMBIENTES PARA DESEMPENHO E ESTABILIDADE DE MAMONEIRA

**RESUMO:** A mamoneira destaca-se globalmente devido ao óleo versátil extraído de suas sementes, sendo o melhoramento genético considerado crucial para atender à crescente demanda por recursos sustentáveis e maximizar a produção e qualidade dos subprodutos, como biodiesel, lubrificantes, e outros compostos industriais. O objetivo deste trabalho foi estimar parâmetros genéticos e utilizar índices de seleção para identificar genótipos superiores em diferentes ambientes. O estudo foi realizado no estado da Bahia, abrangendo os municípios de Alagoinhas, Cruz das Almas, Iraquara e Irecê, cada um com características climáticas distintas. Foram analisadas características como: número de frutos por planta (NFP), peso dos frutos por planta (PFP), peso de sementes por planta (PCEM), bem como a produtividade por planta (PP). No Capítulo I, a análise estatística empregou modelos lineares mistos para estimar parâmetros genéticos. Características como PFP, PSP e PP revelaram proporções significativas de variância genética, evidenciando a diversidade entre os genótipos avaliados. A herdabilidade variou, sendo elevada para PCEM e reduzida para PFP, PSP e PP. A interação genótipo  $\times$  ambiente destacou-se, especialmente para PSP, PP e PFP. A notável acurácia da seleção para PCEM ressalta seu potencial de exploração no melhoramento genético. No Capítulo 2, os objetivos foram: i) testar índices de seleção, baseados em estabilidade e desempenho agrônomo para multicaracterísticas e multiambientes; (ii) selecionar genótipos superiores com bom desempenho agrônomo e estabilidade. Análises individuais avaliaram a homogeneidade das variações, seguidas pela análise conjunta com base em modelo linear misto. Para a seleção de genótipos superiores com boa estabilidade fenotípica e excelente desempenho agrônomo, foram testados os índices: MPS (Desempenho médio e estabilidade em ensaios multiambientais) e MTMPS (Índice médio de desempenho e estabilidade multicaracterística). Houve efeito significativo da interação genótipos  $\times$  ambientes nas características produtivas, indicando a necessidade de futuros trabalhos sobre adaptabilidade e estabilidade na seleção de genótipos de mamoneira. Os índices (MPS e MTMPS) possibilitaram a classificação e identificação de genótipos promissores desta oleaginosa para características produtivas em diversos ambientes, destacando os genótipos UFRB-23, UFRB-93, UFRB-86, UFRB-11, UFRB-214 e UFRB-15 por apresentarem bom desempenho agrônomo e boa estabilidade fenotípica nos ambientes avaliados.

**Palavras-chave:** *Ricinus communis* L.; variabilidade genética; herdabilidade; interação genótipo  $\times$  ambiente.

## GENETIC PARAMETERS AND SELECTION INDICES IN MULTI-ENVIRONMENTS FOR PERFORMANCE AND STABILITY OF CASTOR BEAN

**ABSTRACT:** The castor bean stands out globally due to the versatile oil extracted from its seeds, with genetic improvement considered crucial to meet the growing demand for sustainable resources and maximize the production and quality of by-products, such as biodiesel, lubricants, and other industrial compounds. The aim of this study was to estimate genetic parameters and use selection indices to identify superior genotypes in different environments. The research was conducted in the state of Bahia, encompassing the municipalities of Alagoinhas, Cruz das Almas, Iraquara, and Irecê, each with distinct climatic characteristics. Traits such as the number of fruits per plant (NFP), weight of fruits per plant (PFP), weight of seeds per plant (PCEM), and plant productivity (PP) were analyzed. In Chapter 1, statistical analysis employed mixed linear models to estimate genetic parameters. Characteristics like PFP, PSP, and PP revealed significant proportions of genetic variance, highlighting diversity among evaluated genotypes. Heritability varied, being high for PCEM and low for PFP, PSP, and PP. Genotype × environment interaction stood out, especially for PSP, PP, and PFP. The remarkable accuracy of selection for PCEM underscores its potential for exploration in genetic improvement. In Chapter 2, the objectives were: i) to test selection indices based on stability and agronomic performance for multiple traits and environments; (ii) to select superior genotypes with good agronomic performance and stability. Individual analyses assessed the homogeneity of variations, followed by joint analysis based on a mixed linear model. For the selection of superior genotypes with good phenotypic stability and excellent agronomic performance, the indices MPS (Mean Performance and Stability in Multi-environment Trials) and MTMPS (Multi-trait Mean Performance and Stability Index) were tested. There was a significant effect of genotype × environments interaction on productive characteristics, indicating the need for future studies on adaptability and stability for the selection of castor bean genotypes. The indices (MPS and MTMPS) enabled the classification and identification of promising genotypes of this oilseed for productive traits in various environments, highlighting genotypes UFRB-23, UFRB-93, UFRB-86, UFRB-11, UFRB-214, and UFRB-15 for presenting good agronomic performance and phenotypic stability in the evaluated environments.

**Keywords:** *Ricinus communis* L.; genetic variability; heritability; genotype × environment interaction.

## LISTA DE TABELAS

<b>CAPÍTULO I</b> .....	<b>30</b>
<b>Tabela 1</b> Localizações geográficas e classificações climáticas, segundo Köppen-Geiger, dos municípios baianos de Alagoinhas, Cruz das Almas, Iraquara e Irecê .....	34
<b>Tabela 2</b> Análise de variância das características produtivas de genótipos de mamoneira avaliados em oito ambientes localizados no estado da Bahia .....	38
<b>Tabela 3</b> Estimativas de parâmetros genéticos para características produtivas de genótipos de mamoneira avaliados em oito ambientes localizados no estado da Bahia .....	39
<b>CAPÍTULO II</b> .....	<b>47</b>
<b>Tabela 1</b> Resumo do teste da razão de máxima verossimilhança conjunta para características produtivas de genótipos de mamoneira avaliados em oito ambientes localizados no estado da Bahia .....	56
<b>Tabela 2</b> Cargas fatoriais, comunalidade, autovalores e variância explicada após rotação varimax, obtidas na análise fatorial do modelo de Eberhart e Russell, 1966 utilizando o parâmetro $R^2$ .....	59
<b>Tabela 3</b> Diferencial de seleção para o índice de estabilidade MPS ( <i>Mean Performance and Stability</i> ) das características produtivas em mamoneira com base no modelo de Eberhart e Russell, 1966 utilizando o parâmetro $R^2$ .....	60
<b>Tabela 4</b> Diferencial de seleção para a média das variáveis, dos genótipos selecionados, para o modelo de Eberhart e Russell, 1966 utilizando o parâmetro $R^2$ .....	60

## LISTA DE FIGURAS

<b>CAPÍTULO I</b> .....	<b>30</b>
<b>Figura 1</b> Precipitação mensal do período de 2013 a 2015 nos municípios de Irecê, Cruz das Almas, Alagoinhas e Lençóis.....	<b>35</b>
<b>Figura 2</b> Correlações entre as características produtivas pelo índice de Pearson para os genótipos de mamoneira avaliados em quatro ambientes localizados no estado da Bahia.....	<b>43</b>
<b>CAPÍTULO II</b> .....	<b>47</b>
<b>Figura 1</b> Variação fenotípica dos ambientes individuais para NFP: Número de frutos por planta; PFP: Peso de frutos por planta (g); PSP: Peso de sementes produzidas por planta; PCEM: Peso de 100 sementes (g); PP: Produtividade (kg. ha-1) em 24 genótipos de mamoneira avaliados em 8 ambientes localizados no estado da Bahia. Ala13: Alagoinhas 2013; Ala14: Alagoinhas 2014; CDA13: Cruz das Almas 2013; CDA14: Cruz das Almas 2014; Ira13: Iraquara 2013; Ira14: Iraquara 2014; Ire13: Irecê 2013; Ire14: Irecê 2014	<b>58</b>
<b>Figura 2</b> Valores do índice multi-características MTMPS ( <i>Multi-trait mean performance and stability index</i> ) para 24 genótipos de mamoneira avaliados em oito ambientes localizados no estado da Bahia. Genótipos em vermelho foram selecionados para vários atributos considerando uma intensidade de seleção de 40% e menores valores do índice MTMPS.....	<b>61</b>

## SUMÁRIO

<b>RESUMO</b> .....	<b>7</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>8</b>
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>12</b>
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>14</b>
2.1 Características gerais da Mamona.....	14
2.1.1 Diversidade e melhoramento genético em Mamona .....	16
2.2 Parâmetros Genéticos .....	18
2.3 Seleção de Genótipos .....	19
2.4 Índices de Seleção considerando multiple-características e multi-ambientes.....	20
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>23</b>
<b>CAPÍTULO I</b> .....	<b>30</b>
<b>Introdução</b> .....	<b>33</b>
<b>Material e métodos</b> .....	<b>33</b>
Material vegetal.....	34
Delineamento experimental .....	34
Área de estudo .....	34
Características analisadas .....	36
Análise estatística .....	36
<b>Resultados e discussão</b> .....	<b>44</b>
<b>CAPÍTULO II</b> .....	<b>47</b>
<b>Introdução</b> .....	<b>50</b>
<b>Material e métodos</b> .....	<b>52</b>
Material vegetal.....	52
Local de condução e delineamento experimental .....	52
Características avaliadas .....	53
Análise estatística .....	53
<b>Resultados e discussão</b> .....	<b>56</b>
<b>Conclusões</b> .....	<b>62</b>
<b>Referências bibliográficas</b> .....	<b>63</b>
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>66</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A mamoneira (*Ricinus communis* L.) é uma oleaginosa globalmente importante devido à versatilidade de seus subprodutos, especialmente o óleo extraído de suas sementes (FALASCA et al., 2012). Este óleo possui diversas aplicações industriais, contribuindo significativamente para diferentes setores.

O óleo de mamona destaca-se na produção de biocombustíveis, sendo uma fonte valiosa para a fabricação de biodiesel devido à sua composição química, incluindo o ácido ricinoleico (NAUTIYAL, 2017). Essa utilização não apenas reduz a dependência de combustíveis fósseis, mas também promove a sustentabilidade ambiental.

Além disso, o óleo de mamona desempenha um papel relevante na indústria farmacêutica. Suas propriedades laxativas, atribuídas ao ácido ricinoleico, o tornam adequado para a produção de laxantes. Além disso, suas propriedades anti-inflamatórias e antimicrobianas contribuem para sua presença em medicamentos e formulações farmacêuticas (CHAKRABARTY et al., 2021).

Na indústria cosmética, o óleo de mamona é amplamente utilizado devido às suas propriedades emolientes e hidratantes. Encontrado em produtos para cuidados com a pele, cabelo, maquiagem e itens de cuidados pessoais, o óleo contribui para a formulação de cremes, loções, shampoos e outros produtos (GEBREHIWOT; ZELELEW, 2022).

A busca por variedades geneticamente superiores, capazes de maximizar a produção e otimizar a qualidade dos produtos derivados, torna-se crucial para atender à crescente demanda por recursos renováveis e sustentáveis. Diante desse contexto, o melhoramento genético da mamona é fundamental para, desenvolver cultivares que não apenas maximizem a produção, mas também incrementem o teor de óleo, atendendo às exigências de agricultores e da indústria, impulsionando a competitividade dessa cultura no cenário agrícola global (XU et al., 2021).

O entendimento dos parâmetros genéticos é crucial para desvendar a complexidade hereditária associada às características agrônômicas da mamona. Este conhecimento é essencial para compreender a herdabilidade de características como produtividade, resistência a pragas e tolerância ao estresse

ambiental, sendo fundamental na definição de estratégias eficientes no processo de seleção (BERTOLDO; SILVA; FAVRETO, 2016).

A análise das correlações genéticas e ambientais é de grande importância, pois proporciona informações sobre as complexas interações entre diferentes características da mamoneira. Essas correlações podem abranger uma variedade de traços agronômicos, embora não especificados no texto. A compreensão dessas relações permite uma abordagem mais abrangente no trabalho de seleção, indo além da consideração isolada de características e considerando sua relação e influência recíproca (PAIVA et al., 2019). Isso fornece uma base sólida para o desenvolvimento de estratégias de seleção mais eficazes, visando a melhoria global das características agronômicas da cultura.

A aplicação de índices de seleção no melhoramento de plantas representa uma estratégia promissora para otimizar a escolha de genótipos superiores. Ao integrar informações de diversas características relevantes e ponderar sua importância relativa, os índices de seleção oferecem uma visão abrangente, permitindo a identificação de genótipos que se destacam não apenas em uma única característica, mas também demonstram desempenho equilibrado em múltiplos atributos (RESENDE, 2007).

Os índices de seleção, aliados a abordagens alternativas, têm o potencial de escolher progênies e estabelecer a base para a seleção recorrente, contribuindo para o desenvolvimento de novas variedades (GARDE et al., 2023). Além disso, a aplicação de índices de seleção possibilita a combinação de múltiplas informações contidas em unidades experimentais, permitindo a seleção com base em um complexo de variáveis. Essas variáveis podem abranger diversos atributos de interesse (WELLMAN, 2023).

Ao integrar informações provenientes de diversas características relevantes e ponderar sua importância relativa, os índices de seleção oferecem uma visão abrangente. Isso possibilita a identificação de genótipos que não apenas se destacam em uma única característica, mas apresentam um desempenho equilibrado em vários aspectos (RESENDE, 2007). Entre esses aspectos, podem incluir, por exemplo, produtividade e teor de óleo, que são cruciais para a seleção de variedades de mamoneira com características agronômicas desejáveis.

Além disso, a previsão de ganhos genéticos para características

específicas é crucial para orientar os melhoristas sobre a utilização mais eficaz do material genético disponível, visando alcançar ganhos máximos para as características avaliadas (PAIVA et al., 2019).

Diante do exposto, este estudo tem como objetivo estimar os parâmetros genéticos e avaliar índices de seleção eficazes para aprimorar a identificação de genótipos com elevada produção em mamona em diferentes ambientes do estado da Bahia.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 Características gerais da Mamona**

A mamoneira pertence à família Euphorbiaceae, sendo nativa de regiões tropicais (SINGH et al., 2018). Esse arbusto é amplamente cultivado em várias partes do mundo e se destaca como a espécie mais reconhecida e estudada do gênero *Ricinus* (POLITO et al., 2019).

Acredita-se que a mamoneira possa ser originária da Etiópia, na antiga Abissínia, no continente africano, embora alguns pesquisadores apontem o continente asiático como seu possível centro de origem (ALLAN et al., 2008). A história da mamoneira remonta a mais de 4000 anos, quando sementes dessa espécie foram encontradas em sarcófagos egípcios, sugerindo seu cultivo para fins medicinais (OLSNES, 2004).

No Brasil, a introdução da mamoneira remonta à colonização portuguesa, quando a planta foi trazida com o propósito de utilizar o óleo extraído de suas sementes para iluminação e lubrificação de eixos de carroças (AZEVEDO; BELTRÃO; SEVERINO, 2007). Ao longo do tempo, a mamoneira demonstrou notável adaptação às diversas condições edafoclimáticas do país, sendo encontrada praticamente em todo o território brasileiro. Notadamente, é frequentemente cultivada em regiões semiáridas do Nordeste do Brasil, abrangendo estados como Bahia, Ceará e Pernambuco, desempenhando um papel econômico significativo nessas localidades (FERREIRA; MELO, 2018).

Devido ao seu potencial econômico como uma cultura de alto rendimento em termos de óleo extraído das sementes, a mamoneira desempenha um papel crucial na agricultura e na economia, tanto em nível local como global (FALASCA et al., 2012). Reconhecida por sua versatilidade, a planta é conhecida por seus

diversos usos e aplicações, principalmente relacionados ao óleo de rícino extraído de suas sementes.

Esse óleo é utilizado em uma ampla gama de indústrias, incluindo a produção de biodiesel, lubrificantes, medicamentos e próteses médicas, entre outras aplicações industriais (NAUTIYAL, 2017; CHAKRABARTY et al., 2021; GEBREHIWOT; ZELELEW, 2022). A mamoneira, assim, se destaca como uma cultura versátil que não apenas tem raízes históricas no Brasil, mas também contribui significativamente para diversos setores econômicos, demonstrando a importância contínua dessa planta na sociedade contemporânea.

Em relação à morfologia, a mamoneira é um arbusto variadas colorações de caules e folhas apresentando diferentes formas. Seus frutos estão agrupados em racemos, muitas vezes com espinhos, e suas sementes apresentam diversidade de tamanho, formato e coloração (ACOSTA-NAVARRETE et al., 2023). O caule é geniculado, robusto e ramificado, com variações de cor e presença de cera. A haste principal cresce verticalmente até o aparecimento da primeira inflorescência, e os ramos laterais se desenvolvem a partir da axila da última folha, localizada abaixo da inflorescência (LANDONI et al., 2023).

As folhas da mamoneira são simples, geralmente grandes, com filotaxia alternada. Elas podem variar em largura do limbo, cor, cerosidade, comprimento do pecíolo e profundidade dos lóbulos (ACOSTA-NAVARRETE et al., 2023). A mamoneira é uma planta monoica com inflorescências do tipo panicular, contendo flores femininas na parte superior e flores masculinas na parte inferior. A proporção de flores masculinas e femininas pode variar amplamente, variando de 30 a 50% para femininas e 50 a 70% de masculinas (HUSSEN, 2021).

O ciclo de vida da mamoneira abrange diversos estágios, incluindo germinação, crescimento, floração e frutificação. O florescimento ocorre de forma sequencial, com intervalos entre as inflorescências primárias, secundárias e terciárias, resultando em colheitas parceladas à medida que os racemos amadurecem (HUSSEN, 2021).

A mamoneira possui um sistema radicular pivotante com raízes ramificadas e características fistulosas. Em situações de escassez de água, a raiz principal é capaz de penetrar profundamente no solo em comparação com condições de umidade adequada (SAVY FILHO, 2005). Esse sistema radicular profundo e resistente à seca desempenha um papel fundamental na capacidade

da planta de sobreviver em ambientes com escassez de água. Além disso, a mamoneira demonstra notável tolerância a solos pobres, secas e pragas, tornando-a uma escolha atraente para o cultivo em diversas condições (PAPAZOGLU et al., 2020).

### **2.1.1 Diversidade e melhoramento genético em Mamona**

O gênero *Ricinus*, pertencente à família Euphorbiaceae, é reconhecido como monotípico, contendo apenas uma espécie. Esta espécie é subdividida em várias subespécies notáveis, incluindo *R. communis sinensis*, *R. communis zanzibarensis*, *R. communis persicus*, e *R. communis africanus*. Juntas, essas subespécies englobam um total de 25 variedades botânicas, todas intercompatíveis entre si e com número cromossômico  $2n=2x=20$  (SAVY FILHO, 1999). Entre elas, apenas a *R. communis persicus* se destaca por não possuir carúncula, uma estrutura presente nas sementes que desempenham um papel fundamental na dispersão, e ser considerada a mais produtiva, enquanto *R. communis sinensis* tem uma carúncula de tamanho pequeno, diferenciando-se das demais que apresentam carúnculas grandes (MILANI; MIGUEL JÚNIOR, SOUSA, 2009).

Essa variação genética será fundamental para programas de melhoramento genético, uma vez que influenciará na seleção de genitores para hibridações, resultando em maior efeito heterótico na progênie (REVATHI et al., 2016).

A avaliação da diversidade genética na mamoneira, que pode ser efetuada por meio de características agrônômicas, morfológicas e moleculares (DEEPIKA et al., 2022), é fundamental em diversos aspectos, especialmente na agricultura. Esta diversidade é essencial para a seleção de cultivares que atendam a critérios específicos como maior produtividade, aumento do teor de óleo nas sementes e resistência a fitomoléstias. Estas características são decisivas para o sucesso e a eficiência da cultura da mamona (OLIVEIRA NETO et al., 2019).

O desenvolvimento da mamoneira no Brasil teve início em 1936 no Instituto Agrônomo de Campinas, São Paulo, com foco em cultivares de maior porte e produtividade, destacando-se a Guarani, IAC-80, IAC-226, e IAC-2028,

além da AL Guarany 2002 (SANTOS, 2010). Na Bahia, o melhoramento começou nos anos 60 com o Instituto IPEAL, seguido pela EPABA e EBDA, resultando em variedades como Sipeal 1-7, 9, 13, 19, 25, 28 e Epaba 2 (SAVY FILHO, 1999; FREIRE et al., 2001; MYCZKOWSKI, 2003; BELTRÃO, 2004).

Nos anos 90, a Embrapa Algodão liderou pesquisas para adaptação ao semiárido nordestino, desenvolvendo as cultivares BRS 188 Paraguaçu, BRS 149 Nordestina e BRS Energia, e em 2012, lançou a BRS Gabriela (SAVY FILHO, 1999; FREIRE et al., 2001). Instituições como ESALQ-USP, UFV, IPA, EPAMIG e EPACE também contribuíram significativamente.

Desde 2005, o programa de melhoramento genético da mamoneira da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB) vem contribuindo, por meio de pesquisas em campo e laboratório, no desenvolvimento de variedades adaptadas a diferentes condições da Bahia. Visando aumentar o teor de óleo, melhorar os aspectos produtivos e fortalecer a resistência a fitomoléstias como o mofo cinzento (*Amphobotrys ricini*), além de adaptar as plantas a áreas com baixo índice pluviométrico, típicas do nordeste brasileiro.

Nesse sentido, inúmeros estudos foram e continuam sendo realizados, envolvendo inicialmente a introdução de cultivares (CERQUEIRA, 2008; SILVA, 2008; SAMPAIO FILHO, 2009), assim como, com trabalhos enfatizando hibridações (PASSOS FILHO, 2010) e condução de populações segregantes para avançar gerações (OLIVEIRA, 2011; SANTOS, 2013), com o desenvolvimento de linhagens homozigotas com alta variabilidade genética e seleção morfoagronômicas e moleculares.

Adicionalmente, Cavalcante et al. (2018) investigaram o efeito de nitrogênio, fósforo e potássio no crescimento de plântulas de mamona da linhagem UFRB 222, observando respostas positivas às dosagens de fósforo e efeitos negativos das adubações na emergência das sementes. Por outro lado, Silva et al. (2019) caracterizaram 203 linhagens e cinco genitores de mamona provenientes do banco de germoplasma da UFRB, utilizando descritores morfoagronômicos e quantitativos, revelando variabilidade genética significativa e potencial para programas de melhoramento genético da espécie. Estes estudos, juntos, contribuem para um entendimento mais profundo sobre o comportamento de diferentes genótipos, quando submetidos a condições edafoclimáticas heterogêneas, favorecendo ainda mais o desenvolvimento da

ricinocultura no Brasil.

## **2.2 Parâmetros Genéticos**

Os parâmetros genéticos desempenham um papel crucial no melhoramento genético de plantas, pois permite aos melhoristas medir o potencial de seleção e identificar genótipos com características desejáveis para programas de melhoramento. Ao estimar parâmetros como herdabilidade e ganho genético, poderão ser avaliadas a proporção de variabilidade, em função das causas genéticas e posteriormente determinar a eficácia da seleção para essas características (PAIVA et al., 2019).

Esses parâmetros também podem ser fundamentais para auxiliar na compreensão do controle genético das características, seja pela ação genética aditiva ou por outros mecanismos genéticos, como por exemplo, a epistasia, que envolve a interação entre diferentes genes (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012). Além disso, fornecem informações sobre as relações entre diferentes características fenotípicas e morfológicas, permitindo ao melhorista identificar características que estão fortemente correlacionadas e podem ser trabalhadas simultaneamente (NUSSBAUMER et al., 2019).

De maneira geral, os parâmetros genéticos constituem ferramentas fundamentais que permitem aos melhoristas tomar decisões com maior fundamentação teórica e aprimorar de forma eficaz o potencial genético das plantas. Esses parâmetros são essenciais para orientar estratégias de seleção, identificar genótipos promissores e compreender a herança das características de interesse durante o processo de melhoramento genético (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012).

Os parâmetros genéticos na cultura da mamona foram estudados em diferentes pesquisas, revelando aspectos importantes para o seu melhoramento. Santos et al. (2018) destacaram alta variabilidade genética para o peso de sementes por planta, com maior coeficiente de variação genética. A herdabilidade ampla foi mais elevada para o teor de óleo nas sementes. A seleção precisa foi notável para diversas características, com correlações positivas entre ciclo vegetativo e altura da planta, e correlações negativas entre número e peso de sementes e teor de óleo.

Kim et al. (2021) exploraram a diversidade genética da mamona, identificando três grupos distintos com base na similaridade genética. A análise molecular e morfológica reforçou a existência de uma base genética estreita nas variedades cultivadas e destacou similaridades genéticas entre regiões geográficas específicas.

Yamanura e Mohan Kumar (2019) investigaram a variabilidade genética, observando alta herdabilidade e capacidade de combinação para diversas características, como dias para florescimento, altura da planta e peso da semente. Correlações positivas foram evidenciadas entre rendimento de sementes e outras características, indicando potencial para seleção.

Xu et al. (2021) realizaram um estudo abrangente, identificando genes associados à arquitetura da planta e tamanho da semente na mamona. A análise genômica revelou uma diferenciação genética significativa entre populações selvagens na África Oriental, relacionada a mudanças climáticas passadas. A domesticação ocorreu há aproximadamente 3200 anos, influenciando a diversidade genética e diferenciação dos progenitores selvagens.

### **2.3 Seleção de Genótipos**

A seleção de genótipos desempenha um papel fundamental no melhoramento genético da mamoneira, uma vez que permite a identificação e escolha dos melhores indivíduos com características desejáveis, tais como alta produtividade, resistência a doenças e adaptação a diversos ambientes (DEEPIKA et al., 2022). Assim, ao levar em consideração a seleção de genótipos adaptados, estáveis e responsivos, os pesquisadores e agricultores podem tomar decisões mais informadas sobre quais variedades cultivar em diferentes regiões e condições, contribuindo para a eficiência e sustentabilidade do cultivo da mamoneira (TORRES et al., 2015).

Os programas de melhoramento genético desempenham um papel essencial na busca por genótipos mais produtivos. A avaliação da diversidade genética das populações fornece informações valiosas para a identificação das melhores combinações híbridas, além de auxiliar os melhoristas na escolha das combinações mais promissoras e vantajosas para os cruzamentos (AMABILE et al., 2018).

Para efetuar uma seleção eficaz de genótipos superiores, é imperativo que haja variabilidade genética, bem como dados precisos relacionados a parâmetros genéticos e ambientais ligados aos caracteres de interesse (BLIND et al., 2018). Estudos demonstram que a densidade de plantio poderá influenciar a produtividade e outras características da mamoneira, incluindo o número de cachos e a altura das plantas (MAI; XUE; AZEEM, 2023). Portanto, a seleção criteriosa de genótipos adequados para diferentes densidades de plantio representa uma estratégia crucial no aprimoramento genético da mamona.

#### **2.4 Índices de Seleção considerando multiple-características e multi-ambientes**

Os índices de seleção são elementos-chave no processo de melhoramento genético de plantas, desempenhando um papel crucial ao permitir que os melhoristas atribuam ponderações adequadas a diversas características no momento das decisões de seleção. Esses índices são construídos por meio de técnicas estatísticas avançadas, como a análise de função discriminante, envolvendo a consideração simultânea de múltiplos caracteres relacionados (RESENDE, 2007).

Ao adotar uma abordagem multivariada, os índices de seleção oferecem uma visão mais abrangente das características fenotípicas das plantas, em contraste com a análise isolada de cada característica. Essa metodologia é essencial para refletir a complexidade das plantas cultivadas, contribuindo para uma seleção mais precisa e eficaz (CRUZ; REGAZZI, 1994).

A eficiência da seleção é ampliada com a inclusão de mais características nos índices, resultando em maior ganho genético. A maximização desse ganho é fundamental para o aprimoramento global das plantas, visando características como produtividade, resistência a fitomoléstias, qualidade nutricional e adaptabilidade ao ambiente (CARNEIRO JÚNIOR, 2009).

Além disso, os índices de seleção são construídos para proporcionar eficiência relativa, possibilitando uma comparação eficaz entre diferentes genótipos. Essa eficiência é particularmente valiosa em contextos de mudanças ambientais, onde a seleção baseada em múltiplos caracteres contribuirá para o desenvolvimento de plantas mais resistentes e adaptáveis (GARCIA, 1998).

A seleção sintética, facilitada pelos índices, representa uma prática eficiente no contexto do melhoramento genético, uma vez que leva em consideração diversas características para formar uma pontuação composta. Essa abordagem agiliza significativamente o processo de seleção de genótipos desejáveis. Essa aceleração é crucial em um cenário global em que a demanda por alimentos está em constante crescimento e as condições ambientais são suscetíveis a variações imprevisíveis, tais como mudanças climáticas, eventos extremos e variações sazonais.

A seleção de genótipos em múltiplos ambientes e múltiplas características pode ser alcançada usando diversas metodologias. Uma abordagem é o método genótipo  $\times$  rendimento  $\times$  característica (GYT), que envolve a investigação das relações entre rendimento e características em diferentes ambientes (SHOJAEI et al., 2023).

Outra abordagem é o uso de uma estrutura analítica de fator parcialmente separável, que incorpora informações sobre características múltiplas e ambientes múltiplos para seleção genômica (BANCIC et al., 2023). Além disso, análises multivariadas e técnicas biplot podem ser usadas para identificar características-chave para seleção indireta e para avaliar o desempenho e a estabilidade do genótipo em diferentes ambientes (BAKHSI et al., 2023).

A integração de técnicas de envirotipagem e seleção multicaracterística também poderá contribuir para a compreensão das interações genótipo por ambiente em ensaios multiambientais (YUE et al., 2022). Além disso, o uso da metodologia de regressão de mínimos quadrados parciais multicaracterísticas (MT-PLS) mostrou-se promissor na previsão do desempenho em temporadas futuras ou em novos ambientes (MONTESINOS-LÓPEZ et al., 2022). Essas metodologias fornecem aos melhoristas estruturas informativas para selecionar genótipos com base em seu desempenho em múltiplos ambientes e características.

Dentre todos os parâmetros de estabilidade, o modelo AMMI (Additive Main Effect and Multiplicative Interaction) e a técnica de biplot GGE (Genotype  $\times$  Genotype  $\times$  Environment) são mais eficientes e frequentemente utilizados para processar dados multiambientais. O modelo AMMI fornece informações sobre efeitos principais e de interação, incluindo o biplot (ANNICCHIARICOM, 1997). É especialmente eficiente para ilustrar resposta adaptativa e capacidade de

amortecimento.

No entanto, o AMMI não consegue identificar a relação próxima entre desempenho médio elevado e estabilidade. Esse problema é superado pelo método de biplot GGE (YAN et al., 2000), que inclui tanto efeitos principais de genótipo quanto efeitos de interação genótipo-ambiente para o estudo (Miranda et al., 2002). Como resultado, o modelo de biplot GGE é usado para determinar os genótipos e locais de teste ótimos (DIN et al., 2007).

Atualmente, há uma grande demanda por cultivares estáveis que se desenvolvam e produzam satisfatoriamente em diversos ambientes. Essa exigência foi atendida por meio do índice de seleção de Smith (1936) e Hazel (1943). No entanto, esse índice sofre de efeitos de multicolinearidade quando aplicado a dados de Experimentos Multiambientais (MET). Essa restrição é resolvida pelo índice de seleção de múltiplos traços (ROCHA et al., 2018). Ele evoluiu como uma técnica única para escolher genótipos superiores com alta estabilidade de rendimento e características desejáveis que poderão ter mais êxito, sob diversas circunstâncias ambientais (OLIVOTO et al., 2019).

Apesar da mamoneira ser uma cultura de importância mundial, especialmente no Brasil, Índia e China, os programas de melhoramento genético da mamona têm sido limitados em comparação com outras oleaginosas como soja, girassol e canola (DEEPIKA et al., 2022). No entanto, têm sido feitos esforços para desenvolver variedades de mamona de alto rendimento e maturação precoce, adequadas para cultivo em climas moderados (KURMA et al., 2022).

Índices de seleção, baseados na abordagem simultânea para desempenho agrônômico e estabilidade, são fundamentais para otimizar os programas de melhoramento genético de mamoneira. Entre os índices disponíveis o índice MTMPS, derivado do conceito de Índice de Estabilidade Multicaracterísticas (MTSI), utiliza métodos paramétricos e não paramétricos convencionais amplamente reconhecidos na literatura (OLIVOTO et al., 2019; 2022).

O processo do MTMPS envolve uma análise fatorial exploratória em três etapas: primeiro, a obtenção da matriz de correlação entre as características; em seguida, a análise de componentes principais para explicar a variação genética dos dados; e, finalmente, a aplicação da técnica de rotação varimax para obter as estimativas das cargas fatoriais utilizadas para calcular os escores dos

genótipos (OLIVOTO et al., 2017, 2021).

Com base na intensidade da seleção aplicada, o MTMPS permite a escolha de genótipos que possuam características agronômicas desejáveis, especialmente em relação à produtividade e qualidade das raízes, enquanto apresentam estabilidade conforme o método selecionado e de acordo com a direção de seleção indicada pelo melhorista. Além disso, o índice MTMPS revela os pontos fortes e fracos de cada genótipo, destacando quais características mais irão contribuir para a sua seleção.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACOSTA-NAVARRETE, M. S.; TIGREROS, J. A.; HOLGADO-APAZA, L. A.; FLORES-BALDERAS, J. N.; ADAME, J. M. B. Morphometric, weight, viability, and germination analysis of castor bean seeds (*Ricinus communis*) under two temperature and relative humidity conditions. **Agro Productividad**, Texcoco, v. 9, 2023.

ALLAN, G.; WILLIAMS, A.; RABINOWICZ, P.D.; CHAN, A.P.; RAVEL, J.; KEIM, P. Worldwide genotyping of castor bean germplasm (*Ricinus communis* L.) using AFLPs and SSRs. **Genetic Resources and Crop Evolution**, Berlim, v. 55, p. 365-378, 2008.

AMABILE, R.F.; VILELA, M.S.; PEIXOTO, J.R.; VILELA, M.S.; PEIXOTO, J.R. **Melhoramento de plantas: variabilidade genética, ferramentas e mercado**. Brasília: Proimpress, Sociedade Brasileira de Melhoramento de Plantas, 2018. 108p.

ANNICCHIARICO, P. Additive main effects and multiplicative interaction (AMMI) analysis of genotype-location interaction in variety trials repeated over years. **Theoretical and applied genetics**, v. 94, p. 1072-1077, 1997.

AZEVEDO, D.M.P.; BELTRÃO, N.E. M.; SEVERINO, L.S. Manejo Cultural. *In*: AZEVEDO, D. M. P.; BELTRÃO, N.E. M. (Ed.). **O agronegócio da mamona no Brasil**. Campina Grande: Embrapa Algodão; Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2007. p.224-253

BANCIC, J.; OVENDEN, B.; GORJANC, G.; TOLHURST, D. J. Genomic selection for genotype performance and stability using information on multiple traits and multiple environments. **Theoretical and Applied Genetics**, London, v. 136, n. 5, p. 104, 2023.

BAKHSI, B.; OGHAN, H. A.; RAMEEH, V.; TABRIZI, H. Z.; ASKARI, A.; FARAJI, A.; GHODRATI, G.; FANAEI, H. R.; DANAEI, A. K.; KAZERANI, N. K.; PAYGHAMZADEH, K.; KIANI, D.; SADEGHI, H.; SHARIATI, F.; DALILI, A.; AFROUZI, M. A. A. N. Trait profiling and genotype selection in oilseed rape using genotype by trait and genotype by yield\* trait approaches. **Food Science &**

**Nutrition**, 2023.

BELTRÃO, N. E.M. **A Cadeia da Mamona no Brasil, com Ênfase para o Segmento P e D: Estado da Arte, Demandas de Pesquisa e Ações Necessárias para o Desenvolvimento**. Campina Grande: Embrapa – CNPA. 2004. (Embrapa – CNPA. Documentos, 129)

BERTOLDO, J.G.; SILVA, R.P. DA; FAVRETO, R. **Recursos vegetais e melhoramento genético: conceitos e aplicações**. Porto Alegre: Fepagro, 2016. 100 p.

BLIND, A.D.; VALENTE, M.S.F.; LOPES, M.T.G.; RESENDE, M.D.V. Estimativa de parâmetros genéticos, análise de trilha e seleção em bucha vegetal para caracteres agronômicos. **Revista Brasileira de Ciência Agrárias**, Recife, v. 13, n.2, p.1-8, 2018.

BUZZETTI, A. R. Falta estímulo à produção de mamona. **Óleos & grãos**, v. 8, n. 47, p. 39-45, 1999.

CARNEIRO JÚNIOR, J.M. Melhoramento Genético Animal. GONÇALVES, R.C.; OLIVEIRA, L.C.de (Ed.). **Embrapa Acre: ciência e tecnologia para o desenvolvimento sustentável do sudoeste da Amazônia**. Rio Branco: Embrapa Acre, 2009. cap.11.

CAVALCANTE, A.R.; CHAVES, L.H.G.; LIMA, W.B. de; FERNANDES, J.D.; SILVA, S. A. da. Emergência e crescimento de plântulas de mamona, linhagem UFRB 222, sob adubação mineral. **Energia na agricultura**, Botucatu, v. 33, n. 4, p. 391-398, 2018.

CHAKRABARTY, S.; ISLAM, A.K.M.A.; YAAKOB, Z.; ISLAM, A.K.M.M. Castor (*Ricinus communis*): An underutilized oil crop in the South East Asia. *Agroecosystems—Very Complex Environmental Systems*. **IntechOpen**, London, p. 61, 2021.

CERQUEIRA, L. S. **Variabilidade genética e teor de óleo em mamoneira visando ao melhoramento para região de baixa altitude**. 2008. 57p. (Dissertação) - Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, 2008.

CRUZ, C.D.; CARNEIRO, P.C.S.; REGAZZI, A.J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 3 ed. Viçosa: Editora UFV. 2014. 668 p.

CRUZ, C.D; REGAZZI, A.J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: Imprensa Universitária, Universidade Federal de Viçosa. 1994.

DEEPIKA, C.; VENKATACHALAM, S. R.; YUVARAJA, A.; ARUTCHENTHIL, P.; INDRA, N.; RAVICHANDRAN, V.; KATHIRVELAN, P. Seed morphological characterization, genetic diversity and association analysis in late flowering monoecious lines of castor (*Ricinus communis* L.). **Electronic Journal of Plant**

**Breeding**, Coimbatore, v. 13, n. 2, p. 574-583, 2022.

EBERHART, S.; RUSSELL, W. A. Stability parameters for comparing varieties 1. **Crop science**, v. 6, n. 1, p. 36-40, 1966.

FALASCA, S.L.; ULBERICH, A.C.; ULBERICH, E. Developing an agro-climatic zoning model to determine potential production areas for castor bean (*Ricinus communis* L.). **Industrial Crops and Products**, v. 40, n. 1, p. 185–191, 2012.

FERREIRA, R.S.; MELO, A.S. O comportamento da mamona no nordeste brasileiro: uma análise das fontes de crescimento no período de 1990 a 2016. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, Maringá, v. 11, n. 4, p. 1147-1170, 2018.

FREIRE, E. C.; LIMA, E. F.; ANDRADE, F. P. de. Melhoramento genético. *In*: AZEVÊDO, D. M. P. de.; LIMA, E. F. (Ed.). **O agronegócio da mamona no Brasil**. Brasília: Embrapa-Algodão, 2001.

FREEMAN, G. H. Statistical methods for the analysis of genotype-environment interactions. **Heredity**, v. 31, n. 3, p. 339-354, 1973.

GARDE, Y. A.; SAKURE, A. A.; PATEL, D. A.; PATEL, M. P. Construction of Selection Indices by using Different Economic Coefficients in Indian Bean [*Lablab purpureus* (L.) Sweet]. **Legume Research**, Jabalpur, v. 46, n. 9, p. 1155-1161, 2023.

GARCIA, A.A.F. **Índice para a seleção de cultivares**. 1998. 112p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1998.

GEBREHIWOT, H.; ZELELEW, D. *Ricinus communis* Seed Oils as a Source of Biodiesel; A Renewable Form of Future Energy. **Journal of the Turkish Chemical Society Section A: Chemistry**, v. 9, n. 2, p. 339-354, 2022.

HAZEL, L. N. The genetic basis for constructing selection indexes. **Genetics**, v. 28, n. 6, p. 476-490, 1943.

HUSSEN, K. Review on Reproductive Biology of Caster bean (*Ricinus communis* L.). **Journal of ecology & natural resources**, Michigan, v., n.1, 2021.

KIM, H.; LEI, P.; WANG, A.; LIU, S.; ZHAO, Y.; HUANG, F.; MENG, F. Genetic diversity of castor bean (*Ricinus communis* L.) revealed by ISSR and RAPD markers. **Agronomy**, Basel, v. 11, n. 3, p. 457, 2021.

KUMAR, S.; SAKURE, A. A.; PATEL, D. A.; PATEL, M. P. Integration of morpho-physico-biochemical traits with SSR and SRAP markers for characterization of castor genotypes of Indian origin. **Oil Crop Science**, Wuhan, v. 7, n. 1, p. 22-30, 2022.

LANDONI, M.; BERTAGNON, G.; GHIDOLI, M.; CASSANI, E.; ADANI, F.; PILU,

R. Opportunities and challenges of castor bean (*Ricinus communis* L.) genetic improvement. **Agronomy**, Basel, v. 13, n. 8, p. 2076, 2023.

MAI, W.; XUE, X.; AZEEM, A. Plant Density Differentially Influences Seed Weight in Different Portions of the Raceme of Castor. **Polish Journal of Environmental Studies**, Olsztyn, v. 32, n. 4, 2023.

MILANI, M.; MIGUEL JÚNIOR, S. R.; SOUSA, R. L. **Sub-espécies de mamona**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2009. (Documentos, 230).

MONTESINOS-LÓPEZ, O. A.; MONTESINOS-LÓPEZ, A.; BERNAL SANDOVAL, D. A.; MOSQUEDA-GONZALEZ, B. A.; VALENZO-JIMÉNEZ, M. A.; CROSSA, J. Multi-trait genome prediction of new environments with partial least squares. **Frontiers in Genetics**, Lausanne, v. 13, p. 966775, 2022.

MYCZKOWSKI, M. L. **Variabilidade genética para o teor de óleo entre progênies autofecundadas de mamona (*Ricinus communis* L.) da cultivar Guarani**. 2003. 38p. (Dissertação) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2003.

NAUTIYAL, O. H. 'Castor Oil and its Derivatives' with Market Growth, Commercial Perspective. **Research & Reviews: Journal of Chemistry**, v. 7, n. 1, p. 1-13, 2018.

NUSSBAUMER, T.; WAGNER, C.; HEIDARI, P. TraitCorr—correlating gene expression measurements with phenotypic data. **bioRxiv**, New York, p. 557975, 2019.

OLIVOTO, T.; ANDRADE, S.M.P.; DEL PONTE, E. M. Measuring plant disease severity in R: introducing and evaluating the pliman package. **Tropical Plant Pathology**, v. 47, n. 1, p. 95-104, 2022.

OLIVOTO, T.; LÚCIO, A.D.; SILVA, J.A. da; SARI, B.G.; DIEHL, M. Mean performance and stability in multi-environment trials II: Selection based on multiple traits. **Agronomy Journal**, v. 111, n. 6, p. 2961-2969, 2019.

OLIVOTO, T.; NARDINO, M.; CARVALHO, I.R.; FOLLMANN, D.N.; SZARESKI, V.J.; FERRARI, M.; SOUZA, V.Q. Plant secondary metabolites and its dynamical systems of induction in response to environmental factors: A review. **African Journal of Agricultural Research**, v. 12, n. 2, p. 71-84, 2017.

OLIVOTO, T.; NARDINO, M. MGIDI: Toward an effective multivariate selection in biological experiments. **Bioinformatics**, v. 37, n. 10, p. 1383-1389, 2021.

OLIVEIRA NETO, S. S. D.; MANJAVACHI, M. K. D. P.; ZEFFA, D. M.; SARTORI, M. M. P.; ZANOTTO, M. D. Morphological characterization and selection of castor bean accessions for mechanized production. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Brasília, v. 49, p. e56749, 2019.

OLIVEIRA, R. S. **Avaliação de população segregante (F3) de mamoneira em**

**condições do Recôncavo Baiano**. 2011. 40p. (Dissertação) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, 2011.

OLSNES, S. The history of ricin, abrin and related toxins. **Toxicon**, v. 44, p. 361-370, 2004.

PAIVA, J.T.; RESENDE, M.D.V.; RESENDE, R.T.; OLIVEIRA, H.R.; SILVA, H.T.; CAETANO, G.C.; LOPES, P.S.; SILVA, F.F. Herdabilidade de características de crescimento em bovinos da raça Nelore utilizando métodos da Máxima Verossimilhança Restrita e Inferência Bayesiana. **Archivos de Zootecnia**, v. 68, n. 263, p. 440-446, 2015.

PAPAZOGLU, E. G.; ALEXOPOULOU, E.; PAPADOPOULOS, G. K.; ECONOMOU-ANTONAKA, G. Tolerance to drought and water stress resistance mechanism of castor bean. **Agronomy**, Madiso, v. 10, n. 10, p. 1580, 2020

POLITO, L.; BORTOLOTTI, M.; BATTELI, M. G.; CALAFATO, G.; BOLOGNESI, A. Ricin: an ancient story for a timeless plant toxin. **Toxins**, Basel, v. 11, n. 324, 2019.

RESENDE, M.D.V. de. **Matemática e estatística na análise de experimentos e no melhoramento genético**. Colombo: Embrapa Florestas, 2007.

REVATHI, S.; SAKTHIVEL, K.; MANONMANI, S.; UMADEVI, M.; USHAKUMARI, R.; ROBIN, S. Genetics of wide compatible gene and variability studies in rice (*Oryza sativa* L.). **Journal of genetics**, London, v. 95, p. 463-467, 2016.

ROCHA, J.R. do A.S. de C.; MACHADO, J.C.; SOUZA, P.C Multitrait index based on factor analysis and ideotype-design: Proposal and application on elephant grass breeding for bioenergy. **Gcb Bioenergy**, v. 10, n. 1, p. 52-60, 2018.

SAMPAIO FILHO, O. M. **Análise descritiva, agrupamento e análise de trilha de cultivares de mamoneira em dois anos de cultivo em Cruz das Almas – BA**. 2009. 73p. (Dissertação) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, 2009.

SANTOS, H. O. **Conservação de sementes de mamona (*Ricinus communis* L.)**. 2010. 85p. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras - UFLA, Lavras, 2010.

SANTOS, L. A. **Caracterização e seleção de linhagens elites de mamoneira (*Ricinus communis* L.) por meio do desempenho morfoagronômico e molecular no Estado da Bahia**. 2013. 85p. (Doutorado) - Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, 2013.

SANTOS, L. A. D.; SILVA, S. A.; SOUZA, D. R. D.; ARAUJO, G. D. M.; ALMEIDA, V. D. O.; NEVES, C. G. Genetic parameters in agronomic characters for selection of superior lineages of *Ricinus communis* L. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 49, 2019.

SMITH, H. Fairfield. A discriminant function for plant selection. **Annals of eugenics**, v. 7, n. 3, p. 240-250, 1936.

SAVY FILHO, A.; BANZATTO, N.V.; VEIGA, R.F. A.; CHIAVEGATO, C.E. O.; CAMPO-LL'ORTO, F.A.; GODOY, I.J.; FAZUOLI, L.C.; CARBONELL, S.A.M.; SIQUEIRA, W.J. **Descritores Mínimos para o registro institucional de cultivares**: mamona. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, documentos IAC. 1999.

SAVY FILHO, A. **Mamona tecnologia agrícola**. Campinas: EMOPI, 2005, 105p.

SAVY FILHO, A. Melhoramento da mamona. *In*: BORÉM, A. **Melhoramento de espécies cultivadas**. Viçosa: UFV, 1999. p. 385-485.

SILVA, A.R.D.; SILVA, S.A.; SANTOS, L.A.; SOUZA, D.R.; ARAUJO, G.D.M.; DANTAS, J.L.L.; LEITE, E.S.; DANTAS, A.C.V.L. Characterization and performance of castor bean lineages and parents at the UFRB germplasm bank. **PloS one**, v. 14, n. 1, p. e0209335, 2019.

SILVA, V. **Características fisiológicas de cultivares de mamoneira (*Ricinus communis* L.) no Recôncavo baiano**. 2008. 73p. (Dissertação) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, 2008.

SINGH, V.G; JITHENDRA, K.D; CHAUHAN, S.S.; SINHA, A.; SIGH, S.; SHARMA, S. *Ricinus Communis* (palm of Christ) healing touch of God. **International Journal of Advance Research and Development**, [s. l.], v. 3, p. 181-183, 2018.

SHOJAEI, S. H.; MOSTAFAVI, K.; BIHAMTA, M.; OMRANI, A.; BOJTOR, C.; ILLES, A.; MOUSAVI, S. M. N. Selection of maize hybrids based on genotype× yield× trait (GYT) in different environments. *Brazilian Journal of Biology*, **São Carlos**, v. 84, p. e272093, 2023.

TORRES, F.E.; TEODORO, P.E.; SAGRILO, E.; CECCON, G.; CORREA, A.M. Interação genótipo x ambiente em genótipos de feijão-caupi semiprostrado via modelos mistos. **Bragantia**, Bragança, v. 74, p. 255-260, 2015.

XU, W.; WU, D.; YANG, T.; SOL, C.; WANG, Z.; HAN, B.; WU, S.; YU, A.; CHAPMAN, M. A.; MURAGURI, S.; TAN, Q.; WANG, W.; BAO, Z.; LIU, A.; LI, D.L. Genomic insights into the origin, domestication and genetic basis of agronomic traits of castor bean. **Genome Biology**, New York, v. 22, p. 1-27, 2021.

YAN, W.; HUNT, L. A.; SHENG, Q.; SZLAVNICS, Z. Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on the GGE biplot. **Crop science**, v. 40, n. 3, p. 597-605, 2000.

WELLMANN, R. Selection index theory for populations under directional and stabilizing selection. **Genetics Selection Evolution**, Paris, v. 55, n. 1, p. 10, 2023.

YAMANURA., R.; MOHAN, K. Study of genetic variability, path coefficient and genetic diversity in castor (*Ricinus communis* L.). **The Pharma Innovation Journal**, New Delhi, v.9, n.8, p.285-292, 2019.

YUE, H.; OLIVOTO, T.; BU, J.; LI, J.; WEI, J.; XIE, J.; CHEN, S.; PENG, H.; NARDINO, M.; JIANG, X. Multi-trait selection for mean performance and stability of maize hybrids in mega-environments delineated using envirotyping techniques. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v. 13, 2022.

## **CAPÍTULO I**

### **PARÂMETROS GENÉTICOS E CORRELAÇÕES EM MULTIAMBIENTES EM MAMONEIRA**

## **PARÂMETROS GENÉTICOS E CORRELAÇÕES EM MULTIAMBIENTES EM MAMONEIRA**

**RESUMO:** A demanda por biocombustíveis sustentáveis eleva o interesse na mamona, uma cultura oleaginosa com alto rendimento de óleo e grande adaptabilidade a diferentes condições de cultivo. Para melhorar geneticamente a mamona, estuda-se a herdabilidade e correlações genéticas, essenciais para entender a expressão fenotípica da planta. Este trabalho tem como objetivo estimar esses parâmetros genéticos, bem como a variação genética em populações específicas da cultura. Nesse sentido, foram avaliados 24 genótipos de plantas, incluindo 20 linhagens elites e 4 parentais, em um experimento de blocos completos casualizados conduzido em quatro municípios da Bahia com diferentes condições climáticas (Alagoinhas, Cruz das Almas, Iraquara e Irecê). As características avaliadas foram número e peso dos frutos e sementes por planta e produtividade. A análise estatística envolveu modelos lineares mistos para estimar a herdabilidade e o ganho de seleção, utilizando variâncias fenotípicas, genéticas e da interação genótipos  $\times$  ambientes, com análise no software R. Características como PFP, PSP e PP exibem alta variância fenotípica, indicando diversidade considerável entre os genótipos. A variância genética é menor, sugerindo maior influência de fatores não-genéticos. A herdabilidade varia, sendo alta para PCEM (79%) e baixa para PFP, PSP e PP. A interação genótipos  $\times$  ambientes é significativa, especialmente para PSP, PP e PFP. A acurácia da seleção é notável para PCEM, e a correlação genótipos  $\times$  ambientes destaca a variação significativa na performance dos genótipos. O índice de variação é elevado para PCEM, indicando potencial para exploração no melhoramento genético. A análise de correlação revela relações lineares entre diversas características produtivas. O estudo destaca variabilidade genética em genótipos de mamoneira em oito ambientes na Bahia, com ênfase na importância da adaptabilidade e estabilidade na seleção de genótipos. A alta herdabilidade do Peso de 100 Sementes (PCEM) destaca sua confiabilidade na seleção genotípica, enquanto outras características mostram maior influência de fatores ambientais.

**PALAVRAS CHAVE:** Ricinocultura, herdabilidade; interação genótipo  $\times$  ambiente.

## GENETIC PARAMETERS AND CORRELATIONS IN MULTI-ENVIRONMENTS IN CASTOR BEAN

**ABSTRACT:** The demand for sustainable biofuels raises interest in castor bean, an oilseed crop with high oil yield and great adaptability to different cultivation conditions. To genetically improve castor bean, heritability and genetic correlations are studied, essential for understanding the plant's phenotypic expression. This study aims to estimate these genetic parameters, as well as genetic variation in specific populations of the crop. In this regard, 24 plant genotypes, including 20 elite lines and 4 parents, were evaluated in a randomized complete block experiment conducted in four municipalities in Bahia with different climatic conditions (Alagoinhas, Cruz das Almas, Iraquara, and Irecê). Evaluated characteristics included the number and weight of fruits and seeds per plant and productivity. Statistical analysis involved mixed linear models to estimate heritability and selection gain, using phenotypic, genetic, and genotype × environment interaction variances, with analysis in R software. Characteristics such as PFP, PSP, and PP exhibit high phenotypic variance, indicating considerable diversity among genotypes. Genetic variance is lower, suggesting greater influence of non-genetic factors. Heritability varies, being high for PCEM (79%) and low for PFP, PSP, and PP. Genotype × environment interaction is significant, especially for PSP, PP, and PFP. Selection accuracy is notable for PCEM, and genotype × environment correlation highlights significant variation in genotype performance. The variation index is high for PCEM, indicating potential for exploration in genetic improvement. Correlation analysis reveals linear relationships between various productive characteristics. The study highlights genetic variability in castor bean genotypes in eight environments in Bahia, emphasizing the importance of adaptability and stability in genotype selection. The high heritability of 100 Seed Weight (PCEM) underscores its reliability in genotype selection, while other characteristics show greater influence from environmental factors.

**KEYWORDS:** Riciniculture, heritability; genotype × environment interaction.

## **Introdução**

A crescente demanda por fontes sustentáveis de biocombustíveis tem motivado a busca por culturas oleaginosas mais produtivas e adaptáveis às diversas condições edafoclimáticas (Bhuiya et al. 2016; Patel et al. 2016). Nesse contexto, a mamoneira surge como uma opção promissora, não apenas devido ao seu expressivo rendimento de óleo, mas também pela sua notável capacidade de aclimação a diferentes condições de cultivo (Severino et al. 2012). Essa resiliência é particularmente valiosa em um cenário global em que as variações climáticas e as características específicas dos ambientes de cultivo poderão influenciar significativamente o desempenho das culturas.

Com o intuito de conhecer a estrutura populacional, diversidade genética e a herança das características de importância para a cultura da mamoneira, são utilizados métodos para a estimativa de parâmetros genéticos. A herdabilidade, representando a proporção da variação total de uma característica atribuída à variação genética, e as correlações genéticas, indicando as associações genéticas entre diferentes características (Boligon et al. 2005), desempenham papel fundamental na compreensão da base genética subjacente à expressão fenotípica da mamona.

A análise desses parâmetros além de ser uma ferramenta essencial para impulsionar a eficiência dos programas de melhoramento genético, desempenha papel fundamental no entendimento da adaptação para espécies a diferentes ambientes e condições climáticas (Fritsche-Neto and Borém, 2011). Compreender a herdabilidade das características de interesse, como produção e teor de óleo, permite direcionar os esforços do melhoramento genético com maior precisão, focando nas características mais importantes e passíveis de serem melhoradas.

Assim, o presente trabalho teve como objetivo avaliar os parâmetros genéticos para características de rendimento em diferentes genótipos de mamoneira, contribuindo para o conhecimento da base genética dessa oleaginosa.

## **Material e métodos**

## Material vegetal

Foram avaliados 24 genótipos, sendo 20 linhagens elites: UFRB 11, UFRB 15, UFRB 19, UFRB 23, UFRB 32, UFRB 86, UFRB 93, UFRB 151, UFRB 160, UFRB 208, UFRB 214, UFRB 222, UFRB 227, UFRB 241, UFRB 242, UFRB 248, UFRB 255, UFRB 258, UFRB 262 e UFRB 264; e quatro parentais: BRS 149 – Paraguaçu, BRS 188 – Nordestina, Sipeal 28 e EBDA – MPA 17, sendo os dois últimos considerados variedades crioulas. As linhagens foram desenvolvidas pelo programa de melhoramento genético do Núcleo de Melhoramento Genético e Biotecnologia da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia.

## Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados (DBC), composto por 24 genótipos, distribuídos em quatro repetições e quatro locais, ao longo de duas épocas de cultivos distintas (safra 2013/2014 e safra 2014/2015). Cada parcela experimental consistiu em uma única linha, contendo seis plantas, espaçadas a três metros entre linhas e um metro entre plantas. Os ensaios foram conduzidos em quatro locais diferentes ao longo de duas safras, resultando em um total de oito ambientes, nos quais a combinação de safra e local foi considerada como um ambiente específico. É importante ressaltar que as épocas de cultivos variaram entre os diferentes locais e períodos, enfatizando a necessidade de considerar as condições, especialmente as relacionadas à pluviosidade, que podem ter variado ao longo dos diferentes períodos e locais.

## Área de estudo

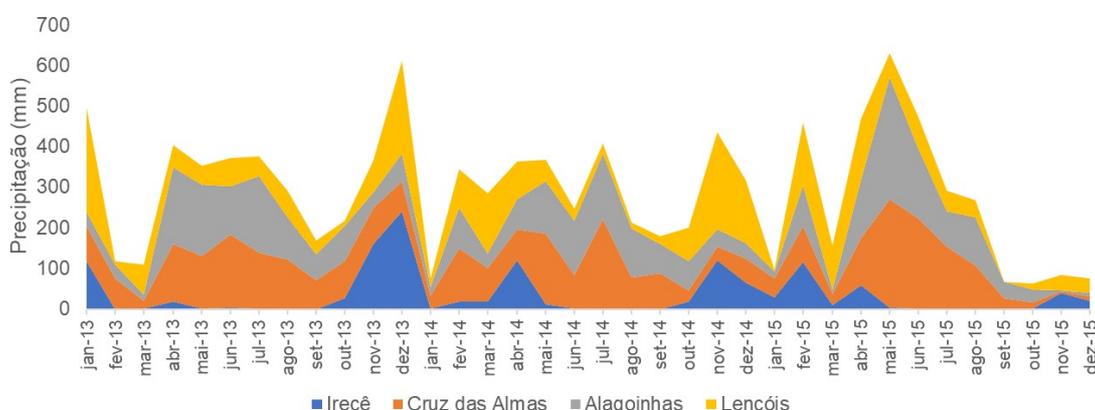
O presente trabalho foi realizado nas safras agrícolas 2013/2014 e 2014/2015 em quatro municípios do estado da Bahia, que apresentavam diferentes condições de altitudes e características edafoclimáticas, sendo: Alagoinhas, Cruz das Almas, Iraquara e Irecê, descritos na Tabela 1.

**Tabela 1** Localizações geográficas e classificações climáticas, segundo Köppen-Geiger, dos municípios baianos de Alagoinhas, Cruz das Almas,

Iraquara e Irecê.

Municípios	Localização geográfica	Altitude (m)	Classificação climática
Alagoinhas	12°0809'S, 38°2508'W	132	Tropical
Cruz das Almas	12°39'11"S, 39°7'19"W	220	Subúmido
Iraquara	12°1453'S, 41°3716'W	688	Semiárido
Irecê	11°1760'S, 41°5124'W	722	Semiárido

Durante o período de avaliação, os dados das estações meteorológicas nos municípios e nas proximidades, como Lençóis, forneceram informações sobre os padrões climáticos. No município de Iraquara, observou-se variabilidade nas precipitações, com meses de alta pluviosidade, como janeiro, abril e dezembro de 2013, e períodos de seca, como fevereiro de 2013 e setembro de 2015. Cruz das Almas, por sua vez, apresentou um padrão com volumes significativos de chuva, indicando menor frequência de períodos de seca, especialmente em maio de 2015. Alagoinhas, similar a Cruz das Almas, registrou uma elevada quantidade de chuva, destacando-se em maio de 2015. Contudo, também houve períodos com menor precipitação, como setembro e outubro de 2015.



Fonte: INMET (2024).

**Figura 1** Precipitação mensal do período de 2013 a 2015 nos municípios de Irecê, Cruz das Almas, Alagoinhas e Lençóis

Em Cruz das Almas, foi realizada uma calagem inicial com calcário dolomítico na concentração de duas toneladas por hectare no primeiro ano agrícola. Adicionalmente, houve adubações de fundação com fósforo e adubações de cobertura com potássio e nitrogênio. Em Alagoinhas, não foi necessária a calagem e aplicação de fósforo, mas a aplicação de nitrogênio e potássio seguiu o mesmo padrão do município anterior. Para Iraquara e Irecê, não foi necessário aplicar calcário e potássio devido aos solos apresentarem altos teores desses

nutrientes, como já constatado em análises anteriores. Nessas cidades, a aplicação de fósforo e nitrogênio seguiu a mesma metodologia utilizada anteriormente.

Para o manejo agrícola, incluiu-se o desbaste realizado aos quinze dias após a emergência (DAE) para manter uma planta por cova. As capinas foram realizadas periodicamente visando evitar a concorrência direta entre as plantas daninhase as plantas de mamona. O controle do mofo cinzento (*Amphobotrys ricini*) foi efetuado com aplicações do fungicida SUMILEX 500 WP, aos 90 e 120 DAE, na ordem de 80 g.ha<sup>-1</sup> por aplicação. Vale destacar que nos municípios de Iraquara e Irecê, a presença do mofo cinzento não foi detectada.

### Características analisadas

As variáveis analisadas nesse trabalho, formam: Número de frutos por planta (NFP), obtido por meio da contagem de cada planta; Peso de frutos por planta (PFP) em kg, realizado com a mensuração da massa total produzido de cada planta; Peso de sementes produzidas por planta (PSP) em kg; Peso de 100 sementes (PCEM) em kg, determinado de acordo com a umidade das sementes pelo método da estufa a 105°C, utilizando uma regra de três simples para determinar o peso de 100 sementes a 9% de umidade, classificado como baixo (<40), médio (41 a 55) ou alto (>55); Produtividade (PP) em kg.ha<sup>-1</sup>, calculado como a estimativa para cada planta, nas duas safras.

### Análise estatística

análise estatística foi realizada considerando o seguinte modelo linear misto:

$$Y_{ijk} = \mu + G_i + A_j + GE_{ijk} + B/L_k + e$$

Em que:

$Y_{ijk}$ : variável de resposta;  $\mu$ : média geral do experimento;

$G_i$  corresponde ao efeito aleatório do i-ésimo genótipo;  $A_j$  efeito aleatório do j-ésimo ambiente,  $GE_{ijk}$ ; efeito da interação do i-ésimo genótipo com o j-ésimo ambiente;  $B/L_k$  efeito fixo do bloco k-ésimo dentro do ambiente j e  $e$  o resíduo. Sendo eles analisados pelo software R (R DEVELOPMENT CORE TEAM 2023) utilizando o pacote metan (Olivoto & Lúcio, 2020).

O método da máxima verossimilhança restrita (REML) foi utilizado para estimação dos componentes de variância. A significância dos efeitos do modelo foi avaliada pelo teste de razão de verossimilhança (LRT).

As variâncias fenotípica ( $\sigma_f^2$ ), genética ( $\sigma_g^2$ ) e da interação genótipos  $\times$  ambientes ( $\sigma_{ge}^2$ ) foram obtidas pelo método REM. A fim de determinar a herdabilidade no sentido amplo ( $h^2$ ) para cada característica, utilizamos a seguinte equação:

$$h^2 = \frac{\sigma_g^2}{\sigma_f^2 + \sigma_{ge}^2 + \sigma_e^2}$$

Sendo a variâncias fenotípica o  $\sigma_f^2$ , a variância genética igual a  $\sigma_g^2$ ; a variância da interação genótipo  $\times$  ambiente referente ao  $\sigma_{ge}^2$ ;  $\sigma_e^2$  equivalente a variância do erro; o “e” sendo o número de ambientes; e Rb o número de repetições.

A herdabilidade com base na média dos genótipos ( $h_{mg}^2$ ), foi calculada como a razão entre a variância genética e a variância fenotípica dos genótipos. Além disso, a acurácia da seleção de genótipos ( $r_{gg}$ ) foi avaliada, sendo obtida pela raiz quadrada da herdabilidade.

Para o coeficiente de variação genotípico ( $CV_g$ ), realizou-se o proposto por Singh e Chaudhary (1979), em que:

$$CV_g = \left( \frac{\sqrt{\sigma_g^2}}{\mu} \right)$$

O coeficiente de determinação da interação genótipos  $\times$  ambientes ( $R_{ge}^2$ ) foi obtido através da  $R_{ge}^2 = \frac{\sigma_{ge}^2}{\sigma_g^2 + \sigma_{ge}^2 + \sigma_e^2}$  e a correlação genótipos  $\times$  ambientes ( $r_{ge}$ ) por

$$\text{meio de } r_{ge} = \frac{\sigma_{ge}^2}{\sigma_g^2 + \sigma_{ge}^2}$$

Por fim, realizou-se as correlações entre as características produtivas, estimado pelo teste de Pearson's, com uso da função correlate do pacote corr (Kuhn et al. 2020), também presente no software R (R DEVELOPMENT CORE TEAM 2023).

## Resultados e discussão

Houve efeitos significativos ( $p < 0,1$ ) em todas as fontes de variação estudadas (Tabela 2). Isto sugere que existe variabilidade genética para as

características analisadas e a necessidade de estudar melhor o desempenho dos genótipos em função da interferência dos fatores ambientais.

**Tabela 2** Análise de variância das características produtivas de genótipos de mamoneira avaliados em oito ambientes localizados no estado da Bahia

Fonte de Variação	NFP	PFp	PSP	PCEM	PP
<b>Ambiente (A)</b>	3416,00**	57428,00**	19272,00**	47,00**	218709,00**
<b>Bloco</b>	100372,00	946163,00**	323257,00**	186,00**	3701247,00**
<b>Genótipo (G)</b>	669,00**	1713,00**	1212,00**	64,10**	12979,00**
<b>G × A</b>	838,00**	7832,00**	3526,00**	6,56**	39687,00**

NFP: Número de frutos por planta; PFp: Peso de frutos por planta; PSP: Peso de sementes produzidas por planta; PCEM: Peso de 100 sementes; PP: Produtividade. \*\* Significativo a 1% de probabilidade.

Os resultados revelam que a variabilidade fenotípica observada nas plantas está em grande parte associada às condições ambientais. Dessa forma, é fundamental considerar e investigar os elementos específicos do ambiente que podem ter influenciado tais variações. Isso pode incluir fatores como temperatura, umidade, solo, entre outros, que desempenham papéis cruciais na expressão fenotípica dos genótipos.

Para todas as características avaliadas, observou-se uma significativa contribuição da variância genética e da variância da interação G×E para a variação fenotípica total, evidenciando respostas diferenciais dos genótipos aos diversos ambientes. Diante desse cenário, torna-se imperativo considerar parâmetros de adaptabilidade e estabilidade ao selecionar genótipos superiores.

A relevância desses estudos reside na capacidade de identificar genótipos com desempenho consistente em ambientes diversos ao longo do tempo, contribuindo assim para o desenvolvimento de novas cultivares e o aprimoramento do rendimento das culturas. A avaliação da adaptabilidade e estabilidade é crucial para a seleção de genótipos que sejam adaptáveis a diferentes condições ambientais, garantindo uma produção consistente e confiável para os agricultores. Ao identificar genótipos menos suscetíveis às variações ambientais, tais estudos proporcionam opções mais resilientes e produtivas, oferecendo valiosas informações para programas de melhoramento e otimizando as estratégias de manejo de culturas (Mohammed e Towfiq, 2022; Nguyen et al., 2022; Resende et al., 2023).

Na Tabela 3, há uma análise detalhada das estimativas de parâmetros genéticos para algumas características produtivas de genótipos de mamoneira. A estimação dos parâmetros genéticos ajuda a selecionar genótipos e ter confiabilidade no processo destacado por Cruz, Regazzi e Carneiro (2012). A contribuição da variância genética variou de 12% para PP a 79% para PCEM. Na maioria das características, houve uma maior contribuição do efeito do componente G×E, variando de 13,26% na característica PCEM a 35% em PP. Essa alta variância na interação G×E indica que a expressão dessas características é significativamente influenciada pela interação entre genótipos específicos e as condições ambientais variadas.

**Tabela 3** Estimativas de parâmetros genéticos para características produtivas de genótipos de mamoneira avaliados em oito ambientes localizados no estado da Bahia

Parâmetro	NFP	PFP	PSP	PCEM	PP
$\sigma_f^2$	3804,00	24647,00	10119,00	81,50	112866,00
$\sigma_g^2$	669,00	1713,00	1212,00	64,10	12979,00
$\sigma_{ge}^2$	838,00	7832,00	3526,00	6,56,00	39687,00
$\sigma^2$	2296,00	15102,00	5381,00	10,80	60199,00
$h^2$	0,18	0,07	0,12	0,79	0,12
$R_{ge}^2$	0,22	0,32	0,35	0,08	0,35
$h_{mg}^2$	0,79	0,54	0,67	0,98	0,66
$r_{gg}$	0,89	0,74	0,82	0,99	0,81
$r_{ge}$	0,27	0,34	0,40	0,38	0,40
$CV_g$	18,80	10,90	14,20	13,40	13,90
$CV_e$	34,80	32,40	29,80	5,49	30,00
$I_v$	0,54	0,34	0,48	2,43	0,46

NFP: Número de frutos por planta; PFP: Peso de frutos por planta; PSP: Peso de sementes produzidas por planta; PCEM: Peso de 100 sementes; PP: Produtividade.  $\sigma_f^2$ : Variância fenotípica;  $\sigma_g^2$ : Variância genética;  $\sigma_{ge}^2$ : Variância da interação genótipos × ambientes;  $\sigma^2$ : Variância residual;  $h^2$ : herdabilidade no sentido amplo;  $R_{ge}^2$ : coeficiente de determinação da interação genótipos × ambientes;  $h_{mg}^2$ : herdabilidade com base na média dos genótipos;  $r_{gg}$ : acurácia

da seleção de genótipos;  $r_{ge}$ : Correlação genótipos ambientes;  $CV_g$ : Coeficiente de variação genotípico;  $I_v$ : Índice de variação.

O conhecimento das relações entre genótipo e fenótipo em diferentes ambientes auxilia em previsões mais precisas sobre a resposta à seleção em espécies com habitats heterogêneos, quer espacial ou temporal. Se a expressão fenotípica de um genótipo para uma dada característica é dependente de condições ambientais, medidas de sua herdabilidade poderão variar de acordo com variações das condições ambientais.

É importante destacar que a mamoneira possui uma alta adaptação aos ambientes, o que ressalta sua capacidade de se ajustar a diferentes condições ambientais. Além disso, é relevante mencionar as características com alta plasticidade fenotípica em ambientes heterogêneos, conforme evidenciado neste trabalho. A plasticidade fenotípica mostra a capacidade da mamoneira de expressar diferentes fenótipos em resposta às variações ambientais, contribuindo para sua adaptabilidade em ambientes diversos. Com execução de PCEM, existe uma elevada proporção de variância fenotípica devido a variância residual.

A proporção da variância genética que explica a variância fenotípica depende da herança da característica e da população avaliada. Neste caso, é importante destacar que as estimativas de herdabilidade dependerão do local, do momento e dos genótipos entre os quais o parâmetro é mensurado. Essa dependência destaca a influência do ambiente e da diversidade genética na expressão da característica (Cruz e Regazzi, 1997).

Hussen (2023) avaliando genótipos de mamoneira em vários locais da Etiópia, observou que comparada com a variância ambiental, a variância genética foi maior para as características: altura da planta, número de racemos por planta, comprimento do racemo principal, número de cápsulas por planta, número de nós por planta, comprimento do nó e número de ramos por planta. Portanto, a maior proporção da variância fenotípica observada nessas características deve-se à maior proporção da variância genotípica.

Ao analisar os parâmetros genéticos apresentados na Tabela 3, observa-se que a herdabilidade varia para diferentes características. O Peso de 100 Sementes (PCEM) destaca-se com uma herdabilidade notavelmente alta (79%), indicando que a maior parte da variação observada é explicada por causas

genéticas. Por outro lado, características como Peso de Frutos por Planta (PFP) com 7%, Peso de Sementes Produzidas por Planta (PSP) com 12%, e Produtividade (PP) com 12%, exibem baixa herdabilidade, sugerindo uma influência mais significativa de fatores ambientais do que genéticos.

Ao considerar a média dos genótipos, a herdabilidade permanece alta para PCEM (98%) e apresenta valores moderados para as outras características, como 54% para PFP, 67% para PSP e 66% para PP. Isso sugere que a seleção genotípica para PCEM pode ser confiável devido à sua alta herdabilidade, enquanto as outras características também oferecem confiabilidade razoável para seleção com base nas médias dos genótipos.

Considerando estratégias de melhoramento, é essencial levar em conta a variabilidade entre os genótipos em diferentes ambientes. Se o ranking de genótipos com base no desempenho individual varia entre os ambientes, a seleção genética pode ser adaptada para cada ambiente específico. A análise do coeficiente de variação genotípico é crucial para avaliar a variabilidade e entender as influências genéticas e ambientais nas características das plantas.

Para estratégias práticas de melhoramento, especialmente em características com forte interação genótipos  $\times$  ambientes, como PSP (35%), PP (35%) e PFP (32%), é fundamental considerar a adaptabilidade e estabilidade dos genótipos. Este processo envolve testes de progênies, estudos de adaptabilidade e estabilidade, identificação de novas cultivares e, eventualmente, a consideração de fatores bióticos e abióticos que afetam a interação genótipos  $\times$  ambientes.

No entanto, é importante ressaltar que a interação genótipos  $\times$  ambientes nessas características é considerável (35-32%). Possíveis causas dessa interação podem incluir fatores bióticos, como competição reprodutiva, e abióticos, como resposta a choques térmicos, estresse oxidativo e condições específicas do solo e da água. O entendimento dessas causas é crucial para o desenvolvimento de estratégias mais eficazes de melhoramento genético na cultura da mamoneira. Os dados sobre acurácia da seleção de genótipos, correlação genótipos  $\times$  ambientes, coeficiente de variação genotípico e índice de variação, oferecem uma visão detalhada sobre a eficácia na seleção genotípica e a variação das características em diferentes ambientes.

A acurácia foi alta para o PCEM (99%) e moderada para outras características, como NFP (89%), PFP (74%), PSP (82%) e PP (81%).

Entretanto, essa característica é causada pela herdabilidade com base na média dos genótipos, podendo aumentar a real proporção de variabilidade, devido a causas genéticas.

Goodarzi et al. (2015) conduziram um estudo abrangente sobre a variabilidade genética em genótipos de mamoneira, explorando 32 características agromorfológicas, sendo que a análise de correlação revelou associações significativas, especialmente no que diz respeito ao PCEM. Este parâmetro, com uma herdabilidade notavelmente alta de 79%, demonstrou ser influenciado de maneira substancial por fatores genéticos. O que ressalta a importância da compreensão da variabilidade genética na seleção de genótipos, enfatizando a necessidade de estratégias eficazes para otimizar o melhoramento dessa cultura.

Santos et al. (2019) estimaram parâmetros genéticos de características agronômicas em 47 linhagens de mamoneira no município de Cruz das Almas-BA. As magnitudes de herdabilidade variaram de baixas a elevadas para as características: número de sementes ( $h^2=0,08$ ), peso de sementes por planta ( $h^2=0,15$ ) e teor de óleo ( $h^2=0,75$ ). No presente estudo para peso de sementes por planta a herdabilidade ( $h^2=0,12$ ) foi baixo, provavelmente devido a influência da diversidade ambiental sobre os genótipos avaliados.

A herdabilidade não está apenas relacionada às características, mas também à população e às condições ambientais às quais os indivíduos estão sujeitos. Portanto, a magnitude da herdabilidade poderá ser afetada se houver alterações em um dos componentes da variância fenotípica e genética, especialmente no que diz respeito ao fator genético (Falconer, 1987).

Quanto a correlação de genótipos x ambientes e coeficiente de variação genotípico, esses parâmetros, com valores moderados, variando de 27% a 40% e de 10,9% a 34,8%, mostram que existe uma variação significativa na performance dos genótipos em diferentes ambientes. Isso sugere que os genótipos respondem de maneira diferenciada às condições ambientais, o que é um fator importante a ser considerado na recomendação de materiais superiores para futuros trabalhos de melhoramento genético.

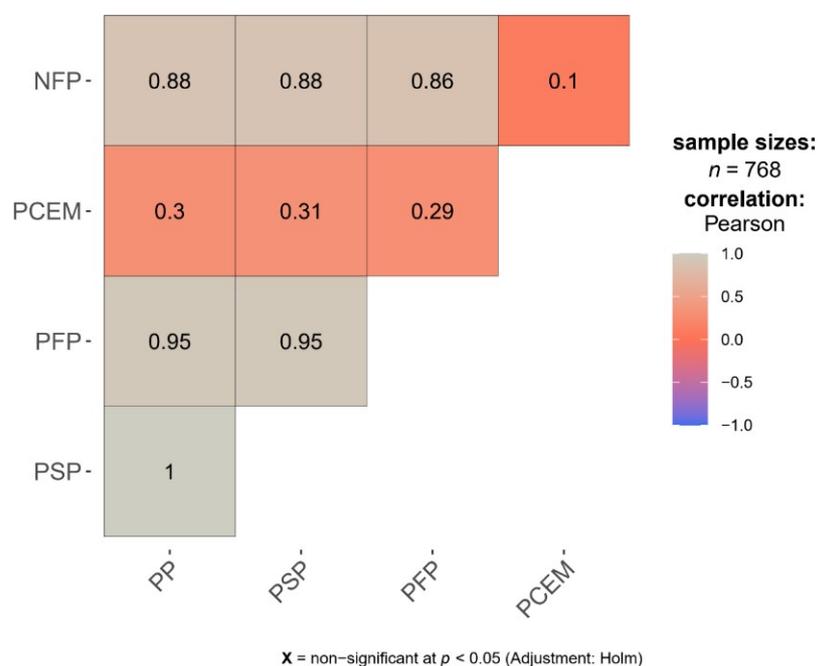
Em relação ao índice de variação, ele foi particularmente elevado para PCEM (2,43), indicando uma variação considerável para essa característica. Essa maior variação sugere um potencial significativo para exploração no melhoramento e

na seleção de genótipos com características agronômicas desejadas.

Conforme destacado por Hussien (2023), a pesquisa conduzida em Wondogenet, Etiópia, que teve como objetivo avaliar a adaptabilidade ambiental de genótipos de mamoneira, em seu estudo sobre a análise da interação genótipos  $\times$  ambientes, revelou efeito significativos da  $G \times E$  em características produtivas, como no rendimento de sementes, sugerindo que a expressão dessas características é fortemente influenciada por condições ambientais específicas.

O coeficiente de variação genética revelou uma maior variabilidade para o NFP (18,80). Em termos de herdabilidade nas parcelas individuais, destaca-se que a característica com maior valor foi o PCEM (0,79), enquanto o NPS, o menor valor (0,07).

A análise dos coeficientes de correlação de Pearson, conforme apresentada na Figura 2, revela que o NFP, apresentou uma forte correlação positiva com as variáveis PP e PSP, ambas com coeficientes de 0,88 e isso indica uma relação linear significativa entre elas. Além disso, existe uma correlação positiva um pouco mais fraca, mas ainda notável, com a PFP (0,86). A relação com PCEM é positiva, porém mais tênue, com um coeficiente de correlação de apenas 0,1.



**Figura 2** Correlações entre as características produtivas pelo índice de Pearson para os genótipos de mamoneira avaliados em quatro ambientes localizados no estado da Bahia

Em relação ao PCEM, observa-se uma correlação positiva moderada com o NPF (0,3). Além disso, PCEM está positivamente correlacionado com as PSP e PFP, com 0,31 e 0,29, respectivamente. Para o PFP exibe uma correlação positiva muito forte com o NPF (0,95). Isso sugere uma interdependência significativa entre estas duas variáveis. O PSP possui uma correlação perfeita (1) com o NPF, tal correspondência exata entre essas variáveis é um ponto que merece uma análise mais cuidadosa, pois indica uma relação linear precisa entre elas.

Em relação a origem das altas correlações genéticas entre os caracteres você deve explicar qual ou quais os possíveis fatores que são responsáveis. Por exemplo, a própria 'base genética' do material avaliado (os genótipos), será que o fator pleiotrópico (diferentes caracteres são controlados pelo mesmo gene) é responsável? Diferentes caracteres são controlados pelos mesmos genes, de forma que a expressão gênica ocorra simultaneamente sobre mais de um caráter, conferindo algum tipo de associação entre eles?

## **Conclusões**

Em síntese, o estudo evidencia a variabilidade genética em genótipos de mamoneira em oito ambientes na Bahia, com a variabilidade fenotípica principalmente associada às condições ambientais. A interação genótipos × ambientes é relevante, destacando a importância de considerar adaptabilidade e estabilidade na seleção de genótipos superiores.

A alta herdabilidade do peso de 100 sementes indica confiabilidade na seleção genotípica para essa característica. No entanto, características como peso de frutos por planta, peso de sementes produzidas por planta e produtividade apresentam baixa herdabilidade, sugerindo maior influência de fatores ambientais. A variação na acurácia da seleção destaca a necessidade de estratégias diferenciadas.

Em suma, o estudo fornece orientações valiosas para otimizar o melhoramento genético da mamoneira, considerando a adaptabilidade e estabilidade dos genótipos em diferentes ambientes.

## **Referências bibliográficas**

- Abimiku OE, Azagaku ED, Ndor E (2012). Genetic variability and correlation studies in some quantitative characters in castor (*Ricinus cummunis* L.) accessions. *Asian Journal of Agricultural Sciences*, 4(6), 368-372.
- Bates D, Mächler M, Bolker B, Walker S (2015) Fitting Linear Mixed-Effects Models Using lme4. *Journal of Statistical Software*, 67: 1–48. <https://doi.org/10.18637/jss.v067.i01>
- Bhuiya MMK, Rasul MG, Khan MMK, Ashwath N, Azad AK, Hazrat MA (2016) Prospects of 2nd generation biodiesel as a sustainable fuel–Part 2: Properties, performance and emission characteristics. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 55: 1129-1146. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.09.086>
- Boligon AA, Rorato PRN, Ferreira GBB, Weber T, Kippert CJ, Andreazza J (2005) Herdabilidade e tendência genética para as produções de leite e de gordura em rebanhos da raça Holandesa no estado do Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 34:1512-1518. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982005000500011>
- Fritsche-Neto R, Borém A (2011) Melhoramento de plantas para condições de estresses abióticos. *Suprema, Visconde do Rio Branco*
- Goodarzi F, Hassani A, Darvishzadeh R, Hatami, MH (2015) Genetic variability and traits association in castor bean (*Ricinus communis* L.). *Genetika*, 47(1), 265-274. <https://doi.org/10.2298/GENSR1501265G>
- Hussen KW (2023) Adaptability evaluation of castor bean (*Ricinus communis* L.) genotypes at wondogenet, Ethiopia. *Ukrainian Journal of Ecology*, 13(6), 12-19.
- Kuhn M, Jackson S, Cimentada J (2020) corrr: Correlations in R. R package version 0.4.3. <https://CRAN.R-project.org/package=corr>
- Majumder PK, Prakash R, Haque HM (1969) Genotypic and phenotypic variability in quantitative characters in groundnut. *Indian journal of genetics and plant breeding*, 29(2): 291.
- Mohammed, MS, Towfiq, S (2022) Multi-environment test for stability and adaptability using line x tester crossing design in maize. *Passer journal of basic and applied sciences*, 4 (2):197-204. <https://doi.org/10.24271/PSR.2022.361531.1161>

- Nguyen H, Pham H, Reddi SJ, Póczos B (2022) On the Algorithmic Stability and Generalization of Adaptive Optimization Methods. arXiv preprint arXiv:2211.03970, 8:1-21. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2211.03970>
- Ntawuruhunga P, Dixon AGO (2010) Quantitative variation and interrelationship between factors influencing cassava yield. *Journal of Applied Biosciences*, 26: 1594-1602.
- Padi FK (2007) Genotype x environment interaction and yield stability in a cowpeabased cropping system. *Euphytica*, 158:11-25. <http://dx.doi.org/10.1007/s10681-007-9420-8>
- Patel VR, Dumancas GG, Viswanath LCK, Maples R, Subong BJJ (2016). Castor oil: Properties, uses, and optimization of processing parameters in commercial production. *Lipid insights*, 9: 1-15. <https://doi.org/10.4137/LPI.S40233>
- RESENDE JC, Matsuo É, Alves GF, Bomtempo GL, Nascimento M, Ferreira SC (2023) Adaptability and phenotypic stability of soybean genotypes regarding epicotyl length using artificial neural network and non-parametric test. *Agronomy Science and Biotechnology*, 9:1-14. <https://orcid.org/0000-0002-2643-9367>
- Severino LS, Auld DL, Baldanzi M, Cândido MJ, Chen G, Crosby W, Bronzeado D, Ele X, Lakshamma P, Lavanya, C.; Machado, O.L.T.; Mielke T, Milani M, Miller TD, Morris JB, Morse EA, Navas AA, Soares DJ, Sofiatti V, Wang ML, Zanutto MD, Zieler H (2012) A review on the challenges for increased production of castor. *Agronomy journal* 104: 853-880, 2012. <https://doi.org/10.2134/agronj2011.0210>
- Singh, R.K.; Chaudary, B.D. (1979) *Biometrical methods in quantitative genetick analysis*. Kalyani Publishers, New Delhi
- R CORE TEAM R (2023) *A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna. <https://www.Rproject.org/>

## **CAPÍTULO II**

### **ÍNDICES DE SELEÇÃO EM MULTI-AMBIENTES PARA DESEMPENHO E ESTABILIDADE DE GENÓTIPOS DE MAMONEIRA**

## ÍNDICES DE SELEÇÃO EM MÚLTIPLOS AMBIENTES PARA DESEMPENHO E ESTABILIDADE DE GENÓTIPOS DE MAMONEIRA

**RESUMO:** A cultura da mamoneira destaca-se globalmente devido às suas sementes ricas em óleo valioso com aplicabilidade industrial. Para impulsionar a produção sustentável, é essencial considerar a variabilidade genética e eficiência na seleção de genótipos superiores. A seleção criteriosa desempenha importante papel na melhoria da produtividade e resistência a fitomoléstias. O uso dos índices de seleção, que consideram correlações genéticas entre características, surge como ferramenta para otimizar o melhoramento genético desta oleaginosa, visando alto potencial de produção. Este trabalho tem como objetivos de testar índices de seleção baseados em estabilidade e desempenho agrônômico para multi-características e multi-ambientes; e selecionar genótipos superiores com bom desempenho agrônômico e boa estabilidade. Nesse sentido, foram avaliados 24 genótipos, incluindo 20 linhagens elites e 4 parentais, em um experimento de blocos casualizados conduzido em quatro municípios da Bahia com diferentes condições climáticas (Alagoinhas, Cruz das Almas, Iraquara e Irecê). Inicialmente foram realizadas análises individuais para testar a homogeneidade das varâncias e em seguida foi obtida a análise conjunta com base em modelo linear misto. Para a seleção de genótipos superiores com boa estabilidade fenotípica e excelente desempenho agrônômico foram testados os índices: MPS (Mean performance and stability in multi-environment trials) e MTMPS (Multi-trait mean performance and stability index). Houve efeito significativo da interação genótipos × ambientes nas características produtivas demonstrando a importância de realizar estudos de adaptabilidade e estabilidade para seleção de genótipos de mamoneira. Os índices possibilitaram a classificação e identificação de genótipos promissores para características produtivas em multi-ambientes. Foram selecionados os genótipos UFRB-23, UFRB-93, UFRB-86, UFRB-11, UFRB-214 e UFRB-15 por apresentarem bom desempenho agrônômico e boa estabilidade fenotípica nos ambientes avaliados.

**Palavras-chave** *Ricinus communis* L, adaptabilidade genotípica, variabilidade genética

## SELECTION INDICES IN MULTI-ENVIRONMENTS FOR PERFORMANCE AND STABILITY OF CASTOR BEAN GENOTYPES

**ABSTRACT:** The castor bean culture stands out globally due to its seeds rich in valuable oil with industrial applicability. To boost sustainable production, it is essential to consider genetic variability and efficiency in selecting superior genotypes. Thoughtful selection plays a crucial role in improving productivity and resistance to phytomolesties. The use of selection indices, considering genetic correlations between traits, emerges as a tool to optimize the genetic improvement of this oilseed, aiming for high production potential. This study aims to test selection indices based on stability and agronomic performance for multi-traits and multi-environments and select superior genotypes with good agronomic performance and stability. In this sense, 24 genotypes were evaluated, including 20 elite lines and 4 parents, in a randomized block experiment conducted in four municipalities in Bahia with different climatic conditions (Alagoinhas, Cruz das Almas, Iraquara, and Irecê). Initially, individual analyses were performed to test variance homogeneity, followed by a joint analysis based on a mixed linear model. For the selection of superior genotypes with good phenotypic stability and excellent agronomic performance, the indices MPS (Mean performance and stability in multi-environment trials) and MTMPS (Multi-trait mean performance and stability index) were tested. There was a significant effect of genotype  $\times$  environment interaction on productive characteristics, demonstrating the importance of conducting studies on adaptability and stability for the selection of castor bean genotypes. The indices allowed the classification and identification of promising genotypes for productive traits in multi-environments. The genotypes UFRB-23, UFRB-93, UFRB-86, UFRB-11, UFRB-214, and UFRB-15 were selected for presenting good agronomic performance and phenotypic stability in the evaluated environments.

**Keywords:** *Ricinus communis* L, genotypic adaptability, genetic variability

## Introdução

A cultura da mamoneira (*Ricinus communis* L.) desempenha um papel fundamental no cenário agrícola global, destacando-se por suas sementes ricas em óleo de alto valor econômico e ampla aplicabilidade industrial (Falasca et al. 2012; Xu et al. 2021). Sua adaptabilidade a diversas condições edafoclimáticas a torna uma escolha viável para a agricultura em regiões com desafios ambientais (Ferreira e Melo 2018).

No entanto, para impulsionar o avanço e a sustentabilidade da produção, é imperativo considerar a variabilidade genética e a eficiência na seleção de genótipos superiores (Severino et al. 2006; Passos et al. 2010; Patel and Patel 2014; Silva et al. 2017). A seleção criteriosa de genótipos desempenha um papel fundamental na melhoria da produtividade, qualidade das sementes, na resistência a fitomoléstias, além da adaptação a diferentes condições de cultivo. A eficácia dos métodos de seleção genética não apenas impulsiona a produtividade agrícola, mas também contribui para a segurança alimentar e o desenvolvimento sustentável.

Nesse contexto, a utilização de índices de seleção emerge como uma ferramenta importante para otimizar o melhoramento genético desta oleaginosa. A aplicação desses índices, considerando correlações genéticas entre características e ponderando sua importância conforme os objetivos de melhoramento, tem se mostrado eficiente no aumento da produtividade (Bancic et al. 2023).

Os índices de seleção representam uma abordagem multivariada que permite a consideração simultânea de diversas características relacionadas à produção e qualidade do óleo. Por meio de análises estatísticas avançadas, como a análise de função discriminante, esses índices proporcionam uma avaliação precisa e abrangente do desempenho global das plantas (Garcia 1998). São combinações lineares de valores de melhoramento genético fenotípicos ou genômicos estimados, utilizados para prever o mérito genético líquido dos candidatos à seleção (Crossa et al. 2022).

Índices de seleção, baseados na abordagem simultânea para desempenho agrônômico e estabilidade, são fundamentais para otimizar os programas de melhoramento genético de mamona. Um exemplo é o índice MTMPS, derivado

do conceito de Índice de Estabilidade Multicaracterísticas (MTSI), que emprega métodos paramétricos e não paramétricos convencionais amplamente reconhecidos na literatura (Olivoto et al. 2019; 2022). Essa abordagem utiliza o conceito de genótipo-ideótipo, medido pela distância euclidiana, ao considerar a seleção de genótipos com rendimento máximo em todas as características relevantes.

O processo do MTMPS envolve uma análise fatorial exploratória em três etapas: primeiro, a obtenção da matriz de correlação entre as características; em seguida, a análise de componentes principais para explicar a variação genética dos dados; e, finalmente, a aplicação da técnica de rotação varimax para obter as estimativas das cargas fatoriais utilizadas para calcular os escores dos genótipos (Kaiser, 1958; Olivoto et al. 2017; 2021).

Com base na intensidade da seleção aplicada, o MTMPS permite a escolha de genótipos que possuam características agronômicas desejáveis, especialmente em relação à produtividade e qualidade das raízes, enquanto apresentam estabilidade conforme o método selecionado e de acordo com a direção de seleção indicada pelo melhorista. Além disso, o índice MTMPS revela os pontos fortes e fracos de cada genótipo, destacando quais características mais contribuíram para a sua seleção.

Alternativamente, outros índices propostos para seleção simultânea incluem o Índice de Estabilidade de Genótipo (GSI), que combina o rendimento e a estabilidade medida pelo IPCA1 do AMMI, e o Índice de Estabilidade de Rendimento (YSI), que classifica genótipos com base na estabilidade AMMI e no rendimento entre os ambientes. Ambos os índices, embora baseados na soma do ranking de desempenho agronômico, possuem limitações, como a influência ambiental significativa em suas classificações e a falta de opção para a escolha de pesos econômicos, essencial para atender ao direcionamento de seleção nos programas de melhoramento.

O índice MTPMS surge como uma alternativa promissora, superando problemas de multicolinearidade. Sua abordagem multivariada, com a escolha de pesos econômicos e a seleção para multicaracterísticas (Olivoto et al. 2019b, 2022) destaca-se como uma excelente opção para recomendação de genótipos nos programas de melhoramento genético de mamoneira.

Dessa forma, este trabalho tem como objetivos: i) testar índices de seleção baseados em estabilidade e desempenho agrônomo para multi-características e multi-ambientes; (ii) selecionar genótipos superiores com bom desempenho agrônomo e boa estabilidade

## **Material e métodos**

### Material vegetal

Foram avaliados 24 genótipos, sendo 20 linhagens elites: UFRB 11, UFRB 15, UFRB 19, UFRB 23, UFRB 32, UFRB 86, UFRB 93, UFRB 151, UFRB 160, UFRB 208, UFRB 214, UFRB 222, UFRB 227, UFRB 241, UFRB 242, UFRB 248, UFRB 255, UFRB 258, UFRB 262 e UFRB 264; e quatro parentais: BRS 149 – Paraguaçu, BRS 188 – Nordestina, Sipeal 28 e EBDA – MPA 17, em que os dois últimos considerados variedades crioulas. As linhagens foram desenvolvidas pelo programa de melhoramento genético do Núcleo de Melhoramento Genético e Biotecnologia da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia.

### Local de condução e delineamento experimental

O estudo foi realizado nas safras agrícolas 2013/2014 e 2014/2015 em quatro municípios do estado da Bahia, sendo eles Alagoinhas (12°08'09"S, 38°25'08"W e 132m de altitude), Cruz das Almas (12°39'11"S, 39°7'19"W e 220m de altitude), Iraquara (12°14'53"S, 41°37'16"W e 688m de altitude) e Irecê (11°17'60"S, 41°51'24"W e 722m de altitude).

Em Cruz das Almas, foi realizada uma calagem inicial com calcário dolomítico na concentração de duas toneladas por hectare no primeiro ano agrícola. Adicionalmente, houve adubações de fundação de fósforo e adubações de cobertura com potássio e nitrogênio. Em Alagoinhas, não foi necessária a calagem e aplicação de fósforo, mas a aplicação de nitrogênio e potássio seguiu o mesmo padrão do município anterior. Já para Iraquara e Irecê, não houve necessidade de aplicar calcário e potássio devido aos solos apresentarem altos teores destes nutrientes. Nessas cidades, a aplicação de fósforo e nitrogênio

seguiu a mesma utilizada anteriormente.

Para o manejo agrícola, incluiu-se o desbaste realizado aos quinze dias após a emergência (DAE) para manter uma planta por cova. As capinas foram realizadas periodicamente visando evitar a concorrência direta entre as plantas companheiras e as plantas de mamona. O controle do mofo-cinzento (*Amphobotrys ricini*) foi efetuado com aplicações do fungicida SUMILEX 500 WP, aos 90 e 120 DAE, na concentração de 80 g.ha<sup>-1</sup> por aplicação. Vale destacar que nos municípios de Iraquara e Irecê, a presença do mofo cinzento não foi detectada.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados (DBC), com 24 genótipos, quatro repetições e quatro ambientes em duas épocas de cultivos. A parcela experimental consistiu em uma única linha com seis plantas, espaçadas de três metros entre linha e um metro entre plantas. Os ensaios foram conduzidos em 4 locais durante duas safras, de modo que a combinação safra e local foi denominada de ambiente.

#### Características avaliadas

As características foram: Número de frutos por planta (NFP), obtidos por meio da contagem de cada uma; Peso de frutos por planta (PFP) em kg, realizado por meio da mensuração da massa total produzido de cada uma planta; Peso de sementes produzidas por planta (PSP) em kg; Peso de 100 sementes (PCEM) em kgm, determinado de acordo com a umidade das sementes pelo método da estufa a 105 °C, utilizando uma regra de três simples para determinar o peso de 100 sementes a 9% de umidade, classificado como baixo (<40), médio (41 a 55) ou alto (>55); Produtividade (PP) em kg.ha<sup>-1</sup>, calculado como a estimativa para cada planta, nas duas safras.

#### Análise estatística

Os dados de todas as características foram inicialmente submetidos à análise de variância individual, com a homogeneidade das variâncias residuais avaliada por meio do teste de Shapiro-Wilk. A razão menor que sete entre o maior e o

menor valor do quadrado médio do resíduo foi adotada como critério para realizar a análise de variância conjunta (PIMENTEL-GOMES, 2009). O método da máxima verossimilhança restrita (REML) foi utilizado para estimação dos componentes de variância. A significância dos efeitos do modelo foi avaliada pelo teste de razão de verossimilhança (LRT).

O modelo linear misto utilizado foi expresso conforme a seguir:

$$Y_{ijk} = \mu + G_i + A_j + GE_{ijk} + B/L_k + e$$

Em que:

$Y_{ijk}$ : variável de resposta;  $\mu$ : média geral do experimento;  $G_i$  corresponde ao efeito aleatório do  $i$ -ésimo genótipo;  $A_j$  efeito aleatório do  $j$ -ésimo ambiente,  $GE_{ijk}$ ; efeito da interação do  $i$ -ésimo genótipo com o  $j$ -ésimo ambiente;  $B/L_k$  efeito fixo do  $k$ -ésimo bloco dentro do ambiente  $j$  e  $e$  corresponde ao resíduo. Sendo os fatores do modelo analisados pelo software R (R DEVELOPMENT CORE TEAM 2023) utilizando o pacote metan (Olivoto & Lúcio, 2020).

As variâncias fenotípica ( $\sigma_f^2$ ), genética ( $\sigma_g^2$ ) e da interação genótipos  $\times$  ambientes ( $\sigma_{ge}^2$ ) foram obtidas pelo método REML para a obtenção da herdabilidade no sentido amplo ( $h^2$ ) de cada característica e demais parâmetros genéticos, através das seguintes equações:

$$h^2 = \frac{\sigma_g^2}{\sigma_g^2 + \sigma_{ge}^2 + \sigma_e^2}$$

Em que: variância genética ( $\sigma_g^2$ ), variância da interação genótipos  $\times$  ambientes ( $\sigma_{ge}^2$ ),  $\sigma_e^2$  a variância do erro. A herdabilidade com base na média

dos genótipos ( $h_{mg}^2$ ), foi calculada como a razão entre a variância genética e a variância fenotípica dos genótipos. Além disso, a acurácia da seleção de genótipos ( $r_{gg}$ ) foi avaliada, sendo obtida pela raiz quadrada da herdabilidade.

A classificação dos genótipos foi realizada adotando o método MPS (*Mean performance and stability in multi-environment trials*) com base no modelo proposto por Eberhart e Russell (1966). Os genótipos cujo coeficiente de determinação da regressão ( $R^2$ ) foi próximo de 1 foram classificados com os mais responsivos e adaptados até o  $g$ -ésimo genótipo.

O modelo utilizado para obter os parâmetros de adaptabilidade e estabilidade, bem como para o ranqueamento subsequente dos genótipos, foi expresso como:

$$y_{ij} = \beta_{0i} + \beta_{1i} I_j + \delta_{di}^2 + \epsilon_{ij};$$

Em que;  $y_{ij}$ , é a média do genótipo  $i$ , no ambiente  $j$ ;  $Q_{0i}$  é a constante da regressão e representa a média geral do genótipo  $i$ ;  $Q_{1i}$  o coeficiente da regressão linear, que mede a resposta do  $i$ -ésimo genótipo à variação do  $j$ -ésimo ambiente;  $I_j$  índice ambiental codificado;  $\delta_{di}^2$  variância dos desvios da regressão;  $\epsilon_{ij}$  erro experimental médio.

O índice MPS foi obtido por meio do redimensionamento da matriz de performance agrônômica e estabilidade. Os valores máximos  $rGi \frac{100-0}{G_{max} - G_{min}} \times (G_i - G_{max}) + 100$ , assim como  $rwx = \frac{100-0}{W_{max} - W_{min}} \times (W_i - W_{max}) + 100$ . Em que: em que  $rGi$  e  $rwi$  são os valores máximos e mínimos redimensionados para a desempenho e a estabilidade fenotípica para o  $i$ -ésimo genótipo, respectivamente;  $G_i$  e  $W_i$  são as respectivas variáveis de resposta (GY) e os valores do índice MPS do  $i$ -ésimo genótipo, respectivamente.

assim  $G_{max} = 100$  e  $G_{min} = 0$ , e  $W_{max} = 100$  e  $W_{min} = 0$ , são valores desejados. Portanto, o genótipo com melhor desempenho tem nota 100 e o pior 0. Por sua vez, o genótipo com melhor estabilidade tem nota 100 e o pior 0.

Desta forma é obtida a matriz bidirecional, em que  $G$  e  $W$  são os valores originais para a variável resposta e para os valores do índice MPS do  $i$ -ésimo genótipo.

$$\text{O índice MPS foi obtido de acordo com a expressão: } MPS = \frac{(rGi \times \theta\gamma) + (rWi \times \theta S)}{\theta\gamma - \theta S}$$

em que  $MPS$  é o índice que pondera entre o desempenho e a estabilidade para o  $i$ -ésimo genótipo;  $\theta\gamma - \theta S$  são os pesos para a variável resposta (desempenho) e estabilidade. A variação nos pesos de desempenho e estabilidade, com  $\theta\gamma - \theta S$  apresentando variação de 0/100, 5/95, 10/90, até 100/0, foram analisados.

Finalmente o índice MTMPS (*Multi-trait mean performance and stability index*) foi calculado utilizando a seguinte expressão:

$$MTMPS_i = \frac{f}{j=1} \sum (F_{ij} - F_j)^2 \quad 1/2$$

Em que: é o índice de estabilidade multi-características para o  $i$ -ésimo

genótipo;  $F_{ij}$  é o escore j-ésimo do i-ésimo genótipo;  $F_j$  é o escore j-ésimo do ideótipo

Para os genótipos selecionados, foi estimado o diferencial de seleção com uma intensidade de seleção de 40% para calcular o ganho de seleção para estabilidade e desempenho. As análises foram realizadas no ambiente de programação R versão 4.3.1 (R CORE TEAM, 2023), utilizando o pacote metan (OLIVOTO et al., 2020).

## Resultados e discussão

Os resultados da avaliação dos genótipos de mamoneira em quatro ambientes na Bahia revelaram efeitos significativos ( $p < 0,01$ ) em todas as fontes de variação estudadas, especialmente no que diz respeito aos genótipos. Isso sugere que tanto os fatores genéticos quanto os ambientais desempenham papéis cruciais nas características produtivas da mamoneira, conforme evidenciado na Tabela 1.

**Tabela 1** Resumo do teste da razão de máxima verossimilhança conjunta para características produtivas de genótipos de mamoneira avaliados em oito ambientes localizados no estado da Bahia

	<b>FV<sup>1</sup></b>	<b>NFP</b>	<b>PFP</b>	<b>PSP</b>	<b>PCEM</b>	<b>PP</b>
<b>Ambiente (A)</b>		3416,00**	57428,00**	19272,00**	47,00**	218709,00**
<b>Bloco</b>		100372,00	946163,00**	323257,00**	186,00**	3701247,00**
<b>Genótipo (G)</b>		669,00**	1713,00**	1212,00**	64,10**	12979,00**
<b>G × A</b>		838,00**	7832,00**	3526,00**	6,56**	39687,00**
<b>r<sub>gg</sub></b>		0,89	0,74	0,82	0,99	0,81

NFP: Número de frutos por planta; PFP: Peso de frutos por planta; PSP: Peso de sementes produzidas por planta; PCEM: Peso de 100 sementes; PP: Produtividade. \*\* Significativo a 1% de probabilidade. FV<sup>1</sup>: Variâncias devido aos efeitos de Ambiente, Bloco, Genótipo e Genótipos × Ambientes (GE). r<sub>gg</sub>: Acurácia seletiva.

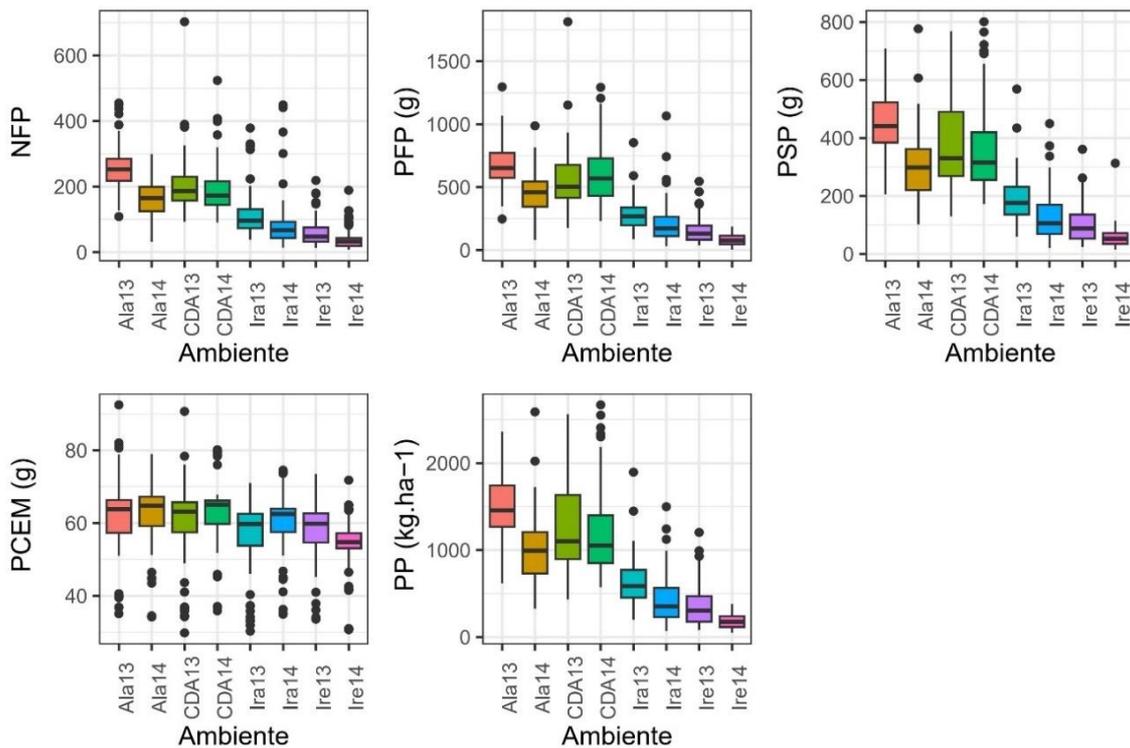
Um aspecto importante analisado foi a acurácia seletiva, que destaca a confiabilidade das estimativas genéticas para orientar a seleção de plantas. Nesse contexto, o Peso de 100 sementes (PCEM) sobressaiu-se, exibindo a maior acurácia, atingindo 0,99. Isso indica uma alta confiabilidade nas estimativas genéticas relacionadas a essa característica específica.

Por outro lado, o Peso de frutos por planta (PFP) apresentou a menor

acurácia, registrando um valor de 0,74. Essa menor acurácia sugere uma confiabilidade relativamente inferior nas estimativas genéticas associadas ao PFP, tornando-o menos confiável como critério isolado para a seleção de genótipos.

Vale ressaltar que a acurácia seletiva, representada pelo valor de  $rgg$ , desempenha um papel crucial na confiança da seleção genética. Quanto maior o valor de  $rgg$ , maior é a confiança na seleção com base em uma característica específica (Falconer, 1987). Portanto, ao considerar os resultados obtidos, a comunidade científica ou os agricultores podem direcionar suas estratégias de seleção, dando preferência a características com maior acurácia, como o PCEM, para alcançar resultados mais confiáveis na melhoria das características produtivas da mamoneira.

No geral, houve uma resposta diferenciada dos genótipos para cada característica nos diferentes ambientes (Figura 1). No ambiente Ala13 houve maior produção de frutos, maior peso de frutos e conseqüentemente maior produtividade. O ambiente Ala14 foi mais favorável para peso de sementes. Por outro lado, o ambientes Ire13 e Ire14 foram os menos favoráveis para o desempenho dos genótipos apresentando as menores médias para todas as características.



**Figura 1** Variação fenotípica dos ambientes individuais para NFP: Número de frutos por planta; PFP: Peso de frutos por planta (g); PSP: Peso de sementes produzidas por planta; PCEM: Peso de 100 sementes (g); PP: Produtividade (kg. ha-1) em 24 genótipos de mamoneira avaliados em 8 ambientes localizados no estado da Bahia. Ala13: Alagoinhas 2013; Ala14: Alagoinhas 2014; CDA13: Cruz das Almas 2013; CDA14: Cruz das Almas 2014; Ira13: Iraquara 2013; Ira14: Iraquara 2014; Ire13: Irecê 2013; Ire14: Irecê 2014.

Sakhare, Nagdeve e Deshmukh (2018) destacaram a importância da interação genótipo × ambiente na produção de mamona, ressaltando que essa interação captura uma parcela significativa da variabilidade total na produção. A pesquisa enfatizou a necessidade de identificar genótipos estáveis com alta produção para otimizar o cultivo da mamoneira. Os autores observaram a formação de megaambientes específicos, nos quais certos genótipos destacaram-se, ressaltando a importância da seleção adequada para diferentes condições. O híbrido GCH 7 foi identificado como altamente estável, apresentando elevada produção, sublinhando a importância de selecionar genótipos que combinem estabilidade com alto potencial de rendimento.

A conclusão do estudo reiterou a relevância de compreender a interação genótipo × ambiente e de selecionar genótipos estáveis como elementos

fundamentais para otimizar a produção desta oleaginosa.

Os resultados da análise fatorial, utilizando o modelo proposto por Eberhart e Russell (1966) com o parâmetro  $R^2$  como medida de ajuste, são apresentados na Tabela 3. A aplicação da rotação varimax facilitou a interpretação das cargas fatoriais, comunalidades, autovalores e a variância explicada pelos fatores.

O Fator Retido 1 é predominantemente influenciado pela PP, PSP e PFP estão intimamente ligados a este fator, o que implica em uma influência substancial na determinação da produtividade global da mamoneira. Já o Fator Retido 2 é marcado pela variável PCEM.

O NPF, não demonstrou associação direta com nenhum dos fatores retidos. Isso sugere que ela pode ser influenciada por uma gama mais ampla de fatores, refletindo a complexidade e a interação das características agrônômicas no modelo de melhoramento da mamoneira.

**Tabela 3** Cargas fatoriais, comunalidade, autovalores e variância explicada após rotação varimax, obtidas na análise fatorial do modelo de Eberhart e Russell, 1966 utilizando o parâmetro  $R^2$

<b>Característica</b>	<b>FA1</b>	<b>FA2</b>	<b>Communality</b>
<b>PP</b>	-0.99	-0.03	0.97
<b>PSP</b>	-0.99	-0.02	0.97
<b>PFP</b>	-0.97	-0.11	0.96
<b>PCEM</b>	-0.09	-0.94	0.90
<b>NFP</b>	-0.64	0.44	0.61

FA, fator retido, os valores em negrito indicam as variáveis agrupadas dentro de cada fator; NFP: Número de frutos por planta; PFP: Peso de frutos por planta; PSP: Peso de sementes produzidas por planta; PCEM: Peso de 100 sementes; PP: Produtividade.

#### **Seleção truncada dos genótipos de mamoneira com base no índice MPS**

O diferencial de seleção (DS) do índice MPS variou de 3,1% (PCEM) para 37,4% (PP) (Tabela 4). Esses valores de DS possibilitam expressivos ganhos genéticos para as características avaliadas com a seleção de genótipos. Outro aspecto que merece atenção é que o uso do índice MPS resultou em DS positivos para todas as características demonstrando eficiência do modelo em captar os ganhos para estabilidade e desempenho agrônômico dos genótipos.

Os resultados indicam que as características associadas ao FA1, como PP, PSP, PFP e NFP. Para PP, o diferencial de seleção com um aumento percentual

de 37,4%, indica uma melhoria significativa na produtividade dos genótipos selecionados em comparação com a média original. Da mesma forma, PSP e PFP também mostraram melhorias consideráveis após a seleção.

Por outro lado, a característica PCEM, associada ao FA2, teve um diferencial de seleção relativamente menor (2,07) e um aumento percentual de apenas 3,1%, indicando que as mudanças nesta característica foram menores após a seleção dos genótipos. Nesse sentido, a seleção parece ter um impacto mais pronunciado nas características associadas ao FA1, especialmente em termos de produtividade e produção de sementes, enquanto as mudanças no PCEM (FA2) foram mais reduzidas.

**Tabela 4** Diferencial de seleção para o índice de estabilidade MPS (*Mean Performance and Stability*) das características produtivas em mamoneira com base no modelo de Eberhart e Russell, 1966 utilizando o parâmetro  $R^2$

Característica	Fator	$X_o$	$X_s$	SD	SD (%)
PP	FA1	54.7	75.2	20.5	37.4
PSP	FA1	55.5	75.7	20.2	36.5
PFP	FA1	58	76.6	18.6	32.1
NFP	FA1	49.6	54.8	5.25	10.6
PCEM	FA2	66.8	68.9	2.07	3.1

$X_o$  = média original,  $X_s$  = média dos genótipos selecionados,  $SD$  = diferencial de seleção e  $SD\%$  = diferencial de seleção em porcentagem, produtividade de NFP: Número de frutos por planta; PFP: Peso de frutos por planta; PSP: Peso de sementes produzidas por planta; PCEM: Peso de 100 sementes; PP: Produtividade.

### **Seleção multi-características para performance e estabilidade com base no índice MTMPS**

O índice MTMPS possibilita explorar as estimativas do diferencial de seleção, ganho de seleção e herdabilidade dos genótipos selecionadas para várias características (Tabela 5).

Para todas as características houve ganhos genéticos positivos o que permite incrementar a média com a seleção dos genótipos. O ganho variou de 2,94% (NFP) a 8,47% (PSP). O índice MTMPS contribuiu para incrementar os ganhos de seleção em todas as características.

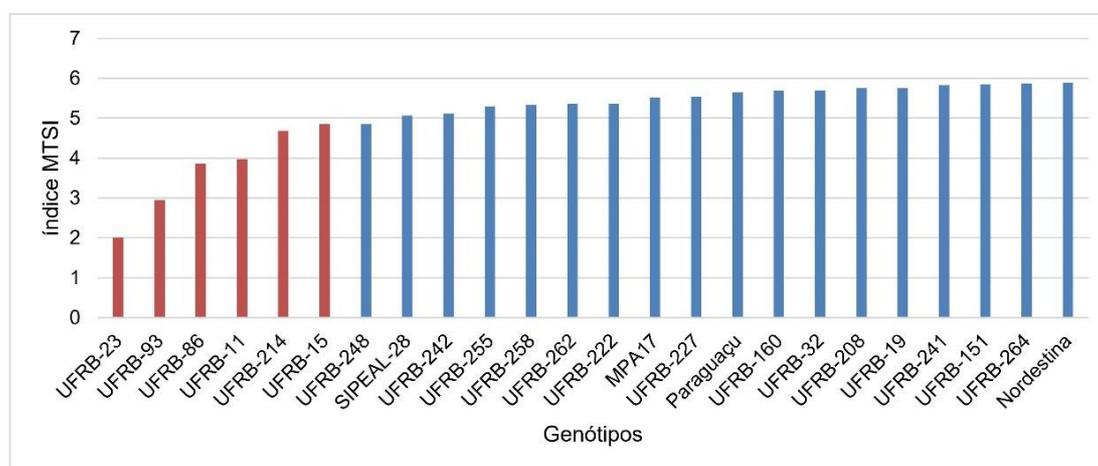
**Tabela 5** Diferencial de seleção para a média das variáveis, dos genótipos selecionados, para o modelo de Eberhart e Russell, 1966 utilizando o parâmetro

R<sup>2</sup>

Características	Factor	X <sub>o</sub>	X <sub>s</sub>	SD	SD%	SG	SG%	Sentido
PP	FA1	818	921	103	12.6	67.3	8.23	incrementar
PSP	FA1	246	277	31.3	12.7	20.8	8.47	incrementar
PFP	FA1	379	424	44.5	11.7	24.1	6.36	incrementar
NFP	FA1	138	143	5.12	3.72	4.05	2.94	incrementar
PCEM	FA2	59.9	63.6	3.65	6.09	3.59	5.98	incrementar

X<sub>o</sub> = desempenho geral (melhor previsão linear imparcial); X<sub>s</sub> = média dos selecionados; GS = ganho de seleção; SG% = ganho de seleção em porcentagem considerando a seleção multi-características. NFP: Número de frutos por planta; PFP: Peso de frutos por planta; PSP: Peso de sementes produzidas por planta; PCEM: Peso de 100 sementes; PP: Produtividade.

Também houve destaque para as características associadas ao FA1, como PP, PSP, PFP e NFP. O ganho de seleção também foi expressivo, indicando uma melhoria substancial no desempenho médio desses caracteres. O PCEM (FA2) também demonstrou ganho (5,98), embora em uma escala menor em comparação com as características do FA1. O ganho percentual considerando a seleção multi-características destaca a eficácia do processo de seleção, indicando um progresso consistente em várias características simultaneamente. Considerando uma intensidade de seleção de 40% foram selecionados seis genótipos com base no valor do índice MTMPS sendo selecionados os genótipos: UFRB-23 (2,01), UFRB-93 (2,94), UFRB-86 (3,95), UFRB-11 (3,96), UFRB-214 (4,68) e UFRB-15 (94,85) (Figura 2). Menores valores do índice refletem genótipos com boa estabilidade fenotípica e bom desempenho agrônômico.



**Figura 2** Valores do índice multi-características MTMPS (*Multi-trait mean*

*performance and stability index*) para 24 genótipos de mamoneira avaliados em oito ambientes localizados no estado da Bahia. Genótipos em vermelho foram selecionados para vários atributos considerando uma intensidade de seleção de 40% e menores valores do índice MTMPS

Na figura 2 evidencia as médias (Blups) dos 24 genótipos de mamoneira estimadas com base no desempenho agrônômico nos oito ambientes. Dentre os genótipos selecionados pelo índice MTMPS destacam-se: UFRB-23 (129) e UFRB-93 (168) com elevadas médias de produção de frutos por planta; UFRB-11 (443 g), UFRB-214 (~448 g), UFRB-86 (~434 g) e UFRB-93 (476 g) com altas médias de peso de frutos por planta e peso de sementes por planta; UFRB-11 (~71g), UFRB-86 (~71 g) e UFRB-93 (~63 g) para peso de 100 sementes; UFRB-23 (~1082 kg.ha<sup>-1</sup>), UFRB-11 (~1016 kg.ha<sup>-1</sup>), UFRB-214 (~1007 kg.ha<sup>-1</sup>), UFRB-93 (~1058 kg.ha<sup>-1</sup>) para produtividade.

Na análise dos resultados provenientes da avaliação dos genótipos de mamoneira, torna-se evidente a necessidade de adoção de estratégias de seleção criteriosas visando potencializar o progresso genético almejado. Notadamente, Produtividade, PSP, PFP, PFP e NFP se destacam, apresentando ganhos de seleção expressivos. A priorização destes atributos no programa de melhoramento assume, portanto, uma importância fundamental para a obtenção de genótipos superiores em termos produtivos. A aplicação dos modelos mistos possibilita uma avaliação mais precisa do desempenho genético dos genótipos, incorporando de maneira apropriada os efeitos genéticos e ambientais (Resende, 2007).

## **Conclusões**

A interação genótipos × ambientes teve efeito significativo nas características produtivas, destacando a necessidade de estudos de adaptabilidade e estabilidade na seleção de genótipos de mamoneira. A análise fatorial ressaltou associações entre características, especialmente produtividade, peso de sementes produzidas por planta e peso de frutos por planta.

Os índices MPS e MTMPS, considerando desempenho agrônômico e adaptabilidade, classificaram genótipos promissores da mamoneira para características produtivas em diferentes ambientes. Destacam-se UFRB-23,

UFRB-93, UFRB-86, UFRB-11, UFRB-214 e UFRB-15 pela consistência de bom desempenho e estabilidade fenotípica em vários ambientes. Essa seleção contribuiu para ganhos genéticos positivos, incrementando as médias das características avaliadas.

## Referências bibliográficas

- Abimiku OE, Azagaku ED, Ndor E (2012). Genetic variability and correlation studies in some quantitative characters in castor (*Ricinus cummunis* L.) accessions. *Asian Journal of Agricultural Sciences*, 4(6), 368-372.
- Bancic J, Ovenden B, Gorjanc G, Tolhurst DJ (2023) Genomic selection for genotype performance and stability using information on multiple traits and multiple environments. *Theoretical and Applied Genetics*, 136(5):104. <https://doi.org/10.1007/s00122-0>
- Crossa J, Cerón-Rojas JJ, Martini JW, Covarrubias-Pazaran G, Alvarado G, Toledo FH, Govindan V (2022) Theory and practice of phenotypic and genomic selection indices. *Wheat Improvement*, 593.
- Cullis BR, Smith AB, Coombes NE (2006) On the design of early generation variety trials with correlate data. *Journal of Agricultural, Biological, and Environmental Statistics*, 11(4):381-393. <https://doi:10.1198/108571106X154443>
- Falasca SL, Ulberich AC, Ulberich E (2012) Developing an agro-climatic zoning model to determine potential production areas for castor bean (*Ricinus communis* L.). *Industrial Crops and Products*, 40 (1): 185–191. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.02.044>
- Falconer DS (1987) *Introdução à genética quantitativa*. Viçosa: UFV. 279p.
- Ferreira RS, Melo AS (2018) O comportamento da mamona no nordeste brasileiro: uma análise das fontes de crescimento no período de 1990 a 2016. *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente*, 11(4): 1147-1170. <https://doi.org/10.17765/2176-9168.2018v11n4p1147-1170>
- Garcia AAF (1998). Índice para a seleção de cultivares. (dissertation) - Universidade de São Paulo.
- Kaiser HF (1958) The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis.

- Psychometrika, 23(3):187-200. <https://doi.org/10.1007/BF02289233>
- Mrode RA (2014) Linear models for the prediction of animal breeding values. Wallingford: CABI.. <https://doi:10.1079/9781780643915.0000>
- Nagdeve SSM, Deshmukh DT (2018) GGE Bi-plot analysis in castor (*Ricinus communis* L.) for vidarbha region of Maharashtra state. *Electronic Journal of Plant Breeding*, 9(2), 768-772. severity in r: introducing and evaluating the pliman package.
- Olivoto T, Andrade SMP Del Ponte EM (2022) Measuring plant disease severity in r: introducing and evaluating the pliman package. *Tropical Plant Pathology*, 47,(1): 95-104. <https://doi.org/10.5281/zenodo.5621612>
- Olivoto T, Lúcio AD, Silva JA da, Sari BG, Diel M (2019) Mean performance and stability in multi-environment trials II: Selection based on multiple traits. *Agronomy Journal*, 111(6): 2961-2969. <https://doi.org/10.2134/agronj2019.03.0220>
- Olivoto T, Nardino M, Carvalho IR, Follmann DN, Szareski VJ, Ferrari M, Souza VQ (2017) Plant secondary metabolites and its dynamical systems of induction in response to environmental factors: A review. *African Journal of Agricultural Research*, 12(2): 71-84.
- Olivoto T, Nardino M (2021) Mgidi: Toward an effective multivariate selection in biological experiments. *Bioinformatics*, 37(10) :1383-1389 <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/btaa981>.
- Oliveira ICM, Guilhen JHS, Oliveira PCR de, Gezan SA, Schaffert RE, Simeone MLF, Damasceno CMB, Carneiro JE de S, Carneiro PCS, Parrella RA da C, Pastina MM (2020) Genotypeby-environment interaction and yield stability analysis of biomass sorghum hybrids using factor analytic models and environmental covariates. *Field Crops Research*, 257:107929. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2020.107929>
- Passos AR, Silva SA, Souza CDS, Souza CMMD, Fernandes LDS (2010) Parâmetros genéticos de caracteres agronômicos em genótipos de mamoneira. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 45: 709-714. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2010000700011>
- Patel JK, Patel PC (2014) Genetic variability, heritability and genetic advance for yield and yield components in castor (*Ricinus communis* L.) genotypes.

- International Journal of Plant Sciences (Muzaffarnagar), 9(2):385-388.
- R CORE TEAM. R (2020) A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna. <https://cran.rproject.org/bin/windows/base/>
- Resende MDV de, Thompson R (2004) Factor analytic multiplicative mixed models in the analysis of multiple experiments. *Revista de Matemática e Estatística*, 22(2):31-52.
- Sae-Lim P, Komen H, Kause A, Mulder HA (2014) Identifying environmental variables explaining genotype-by-environment interaction for body weight of Rainbow trout (*Onchorynchus mykiss*): reaction norm and factor analytic models. *Genetics Selection Evolution*, 46(16):11. <https://doi.org/10.1186/1297-9686-46-16>
- Severino LS, Milani M, Moraes CRA de; Gondim TMS; Cardoso GD (2006) Avaliação da produtividade e teor de óleo de dez genótipos de mamoneira cultivados em altitude inferior a 300 metros. *Revista Ciência Agronômica*, 37(2), 188-194.
- Silva ARD, Silva SA, Santos LAD, Souza DRD, Araujo GDM, Moreira RFC (2017). Genetic divergence among castor bean lines and parental strains using ward's method based on morpho-agronomic descriptors. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 39:307-313. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v39i3.32504>
- Xu W, Wu D, Yang T, Sun C, Wang Z, Han B, Wu S, Yu A, Chapman MA, Muraguri S, Tan Q, Wang W, Bao Z, Liu A, Li DZ (2021) Genomic insights into the origin, domestication and genetic basis of agronomic traits of castor bean. *Genome Biology*, 22:1-27. <https://doi.org/10.1186/S13059-021-02333-Y>

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Os resultados deste projeto destacam a complexidade da expressão genética na mamoneira e a influência significativa do ambiente nas características produtivas. Enquanto características como o peso das 100 sementes são fortemente influenciadas pela genética, outras, como o peso dos frutos e a produtividade, são mais dependentes das condições ambientais.

A análise fatorial e os diferenciais de seleção proporcionam insights valiosos para programas de melhoramento genético. O entendimento das relações entre diferentes variáveis e a identificação de fatores influentes podem orientar estratégias eficazes de seleção genotípica.

Nesse sentido, os presentes resultados contribuíram para o conhecimento sobre a mamoneira, oferecendo informações decisivas para otimizar programas de melhoramento, considerando os fatores genéticos e ambientais. Esses resultados têm o potencial de impulsionar avanços significativos na produtividade e qualidade da mamoneira em diferentes ambientes.