



ANABELA LUÍS MAZIVILE

**CARACTERIZAÇÃO E SELEÇÃO DE GENÓTIPOS DE
BATATA-DOCE PARA A PRODUÇÃO DE ETANOL EM
FUNÇÃO DE DIFERENTES ÉPOCAS DE COLHEITA**

**LAVRAS-MG
2025**

ANABELA LUÍS MAZIVILE

**CARACTERIZAÇÃO E SELEÇÃO DE GENÓTIPOS DE BATATA-DOCE PARA A
PRODUÇÃO DE ETANOL EM FUNÇÃO DE DIFERENTES ÉPOCAS DE
COLHEITA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, área concentração em Produção Vegetal, para obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. Valter Carvalho de Andrade Júnior
Orientador

Prof. Dr. Rafael Peron Castro
Coorientador

**LAVRAS-MG
2025**

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

Mazivile, Anabela Luíz.

Caracterização e seleção de genótipos de batata-doce para a
produção de etanol em função de diferentes épocas de colheita /
Anabela Luíz Mazivile. – 2025.

99 p. : il.

Dissertação (Mestrado Acadêmico) - Universidade Federal de
Lavras, 2025.

Orientador: Valter Carvalho de Andrade Júnior

Coorientador: Rafael Peron Castro

Bibliografia.

1. *Ipomoea batatas* L. 2. Biocombustíveis. 3. Amido I.
Universidade Federal de Lavras. II. Título.

ANABELA LUÍS MAZIVILE

**CARACTERIZAÇÃO E SELEÇÃO DE GENÓTIPOS DE BATATA-DOCE PARA A
PRODUÇÃO DE ETANOL EM FUNÇÃO DE DIFERENTES ÉPOCAS DE
COLHEITA**

**CHARACTERIZATION AND SELECTION OF SWEET POTATO GENOTYPES
FOR ETHANOL PRODUCTION BASED ON DIFFERENT HARVEST TIME**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, área concentração em Produção Vegetal, para obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 21 de julho de 2025.

Prof. Dr. Sebastião Márcio De Azevedo UFLA

Prof. Dr. Guilherme Da Silva Pereira UFV

Prof. Dr. Valter Carvalho de Andrade Júnior
Orientador

Prof. Dr. Rafael Peron Castro
Coorientador

**LAVRAS-MG
2025**

À minha mãe Gilda (*in memoriam*) e à minha avó Ana,
por suas preces e carinho.

À minha família, pelo suporte em cada etapa desta jornada.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, pela vida, pela concretização desta pós-graduação (mestrado) e pela força para superar os desafios. Sem a Sua graça e orientação, esta conquista não seria possível.

Ao Prof. Dr. Valter Carvalho de Andrade Júnior pela orientação, paciência, ensinamentos e compreensão em todos os momentos, além do apoio durante a realização do meu mestrado. Ao Prof. Dr. Rafael Peron Castro pela coorientação. Ao Prof. Dr. Júlio Sílvio de Sousa Bueno Filho, pela parceria e análises estatísticas realizadas. Aos pesquisadores Dr. Orlando Gonçalves Brito e Dr. Luís Felipe Lima e Silva pelas colaborações na pesquisa.

À Profa. Dra. Maria das Graças Cardoso, por me auxiliar e disponibilizar o seu laboratório para a realização das análises bioquímicas.

Ao Centro de Desenvolvimento e Transferência de Tecnologia (CDTT) da Universidade Federal de Lavras, pelo suporte na realização deste estudo, com a disponibilização de espaço e materiais. Agradeço, em especial, ao técnico responsável Vicente Licursi e aos colaboradores, pelo auxílio em todas as etapas do experimento.

Aos colegas do Grupo de Pesquisa em Hortaliças Tuberosas, Nélia Albertina Maciel, Welington e António Jorge Viegas Taula, assim como aos alunos de iniciação científica do setor de Olericultura, pelo apoio na condução e avaliação do experimento. Agradeço, em especial, ao colega Mateus Reis, da Engenharia Química, pelo apoio e ensinamentos na realização das análises laboratoriais. Agradeço ao colega Giovani Paludo, do Departamento de Estatística, pelo apoio nas análises dos dados.

Aos funcionários do setor de Olericultura, Stéfany Martins e Valdeci José de Lima Costa, pela colaboração na execução do trabalho. Agradeço também às equipes dos laboratórios Plataforma de Pesquisa Energética (G-óleo), Pós-colheita de frutas e hortaliças e Química Orgânica- óleos essenciais.

À banca de defesa composta pelos Professores Valter De Andrade Junior, Sebastião Márcio de Azevedo e Guilherme da Silva Pereira, por cederem seu tempo para contribuir de forma valiosa na minha pesquisa.

À minha mãe Gilda (*in memoriam*), que mesmo sendo anjo da guarda, continua me dando muita força para buscar o melhor. À minha avó Ana, a minha única irmã mais velha Neid Luís pelas orações e apoio incondicional. Ao Luís Armando Rungo, pelo apoio em todo percurso dos meus estudos. Aos meus familiares, que mesmo distantes, sempre me apoiaram, trazendo força para seguir em frente e tornando meus dias mais felizes e inspiradores. Ao meu tio Sarmento, por ser uma referência de determinação e sabedoria, que fortalece minha busca pelo conhecimento.

Aos meus amigos, Adelaide Chissano, Daína Alberto, Alex Monito, Elpídio Ana, Francisco Sitõe, Jernimo J. Chivale, Vilma André, Carina Macanguissane e Audância Sitõe, pelo apoio incondicional, pela amizade constante e pelas palavras de incentivo, que, em muitos momentos, renovaram minha motivação e tornaram essa caminhada mais leve e significativa.

A todos que de forma direta ou indireta contribuíram para a realização desta pesquisa, seja por meio de apoio, incentivo ou colaboração durante todo o percurso.

À Universidade Federal de Lavras (UFLA) e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, pela oportunidade de realização do meu mestrado.

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

Agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio financeiro. Gratidão eterna! A ele Toda Glória e Paz!

Muito obrigada!

“Nos braços do Pai eu vou repousar e crer nas promessas de Deus para mim e com oração eu irei plantar sementes da fé. E o meu louvor será como adubo, fará com que os frutos comecem crescer e as minhas lágrimas serão para regar sementes da fé.”

(Elaine Araújo)

“A maior dívida para o estudante é o saber adquirido, nenhum outro dom faria valer a pena tanto esforço e dedicação.”

(Jéni Quintal)

“O sucesso é ir de fracasso em fracasso sem perder o entusiasmo.”

(Desconhecido)

RESUMO

A batata-doce (*Ipomoea batatas*) destaca-se como uma cultura alternativa para a produção de etanol, devido ao alto teor de matéria seca, amido, elevada produtividade de raízes e ampla adaptação a diferentes ambientes. Além disso, a época de colheita influencia diretamente a concentração de açúcares nas raízes e a qualidade da matéria-prima, impactando de forma significativa o rendimento e a eficiência do processo fermentativo. Este trabalho tem como objetivo caracterizar e selecionar genótipos de batata-doce para a produção de etanol em função de diferentes épocas de colheitas. O experimento foi conduzido no CDTT/ESAL/UFLA no Município de Ijaci-MG nos anos de 2023 a 2024. Foi utilizado o delineamento em blocos casualizados sob arranjo fatorial de 15x3x2, sendo 10 genótipos experimentais da UFLA (UFLA 527, UFLA 1192, UFLA 286, UFLA 1476, UFLA 516, UFLA 1074, UFLA 210, UFLA 1377, UFLA 397 e UFLA 1404) e 5 cultivares comerciais (UFLA R1440, UFLA-B556, BRS-Amélia, BRS-Cotinga e BRS-Rubissol), três épocas de colheitas (90, 120 e 150 dias) e duas épocas de cultivo (verão e inverno), com 3 repetições. Foram avaliadas a produtividade total de raízes, produtividade de massa seca das raízes, produção de amido, produtividade de amido, açúcares redutores, acidez titulável, pH, produção de etanol e produtividade de etanol. A cultivar UFLA R1440 e os genótipos UFLA 1192 e UFLA 286 apresentaram maior produtividade total de raízes durante o cultivo de verão, e os genótipos UFLA 1404 e UFLA 397 se destacaram com maior produtividade total de raízes no cultivo de inverno. Já para a produtividade de massa seca de raízes, a cultivar UFLA R1440 e o genótipo UFLA 1192 apresentaram maiores produtividades durante o cultivo de verão. O genótipo UFLA 1404 apresentou maior produtividade de massa seca de raízes durante o cultivo no inverno. A cultivar UFLA R1440 e o genótipo UFLA 1192, apresentaram maior produtividade de amido em $t\ ha^{-1}$, considerando as duas épocas de colheita. A cultivar UFLA R1440 destacou-se com a maior produtividade de etanol em $L\ ha^{-1}$. A produção de etanol em litros por tonelada de raiz e os açúcares redutores não foi afetada pela colheita das raízes aos 120 e 150 dias. Há correlação genotípica positiva entre produtividade de massa seca das raízes x produtividade total de raízes, produtividade de amido x produtividade de raízes totais, produtividade de etanol x produtividade de raízes totais, produtividade de amido x produtividade de etanol, açúcares redutores totais x produtividade de totais de raízes, açúcares redutores totais x produtividade de massa seca das raízes e açúcares redutores totais x produtividade de amido. A cultivar UFLA R1440 é indicada para produção de etanol, com potencial produtivo de etanol de $8.473,84\ L\ ha^{-1}$ com uma produtividade de raízes de $52,78\ t\ ha^{-1}$.

Palavras-chave: *ipomoea batatas* L.; biocombustíveis; amido; genética; qualidade; produtividade.

ABSTRACT

Sweet potato (*Ipomoea batatas*) stands out as an alternative crop for ethanol production due to its high dry matter and starch content, high root yield, and broad adaptability to different environments. Moreover, harvest time directly affects sugar concentrations in the roots and the quality of the raw material, significantly influencing fermentation yield and efficiency. This study aimed to characterize and select sweet potato genotypes for ethanol production across different harvest times. The experiment was carried out at CDTT/ESAL/UFLA, in the municipality of Ijaci-MG, during the 2023/24 season. A randomized block design was used in a 15×3×2 factorial arrangement, comprising 10 experimental genotypes from UFLA (UFLA 527, UFLA 1192, UFLA 286, UFLA 1476, UFLA 516, UFLA 1074, UFLA 210, UFLA 1377, UFLA 397, and UFLA 1404) and 5 commercial cultivars (UFLA R1440, UFLA-B556, BRS-Amélia, BRS-Cotinga, and BRS-Rubissol), three harvest times (90, 120, and 150 days), and two growing seasons (summer and winter), with three replications. Evaluations included total root yield, root dry mass yield, starch production, starch yield, reducing sugars, titratable acidity, pH, ethanol production, and ethanol yield. The cultivar UFLA R1440 and the genotypes UFLA 1192 and UFLA 286 achieved higher total root yields in the summer crop, while UFLA 1404 and UFLA 397 excelled in the winter crop. For root dry mass yield, UFLA R1440 and UFLA 1192 showed superior performance in the summer, whereas UFLA 1404 reached the highest yield in the winter. Considering starch yield (t ha^{-1}), UFLA R1440 and UFLA 1192 again stood out across harvest times. UFLA R1440 also achieved the highest ethanol yield (L ha^{-1}). Ethanol production (L t^{-1} of root) and reducing sugars were not significantly affected by harvesting at 120 and 150 days. Positive genotypic correlations were observed between root dry mass yield × total root yield, starch yield × total root yield, ethanol yield × total root yield, starch yield × ethanol yield, total reducing sugars × total root yield, total reducing sugars × root dry mass yield, and total reducing sugars × starch yield. Overall, UFLA R1440 is recommended for ethanol production, with an ethanol yield potential of $8,473.84 \text{ L ha}^{-1}$ and a root yield of 52.78 t ha^{-1} .

Keywords: *ipomoea batatas* L.; biofuels; starch; genetics; quality; productivity.

INDICADORES DE IMPACTOS

A caracterização e seleção de genótipos de batata-doce para a produção de etanol em função de diferentes épocas de colheita é essencial para impulsionar o setor bioenergético por meio de cultivares com maior rendimento etanólico e adaptabilidade às condições de cultivo. Esta pesquisa apresenta impactos de natureza social, tecnológica, econômica e cultural. No âmbito social, possibilita a inclusão de agricultores familiares em cadeias produtivas inovadoras e fortalece a segurança energética em comunidades rurais, ao viabilizar alternativas sustentáveis de geração de renda e emprego. Tecnicamente, estimula o aprimoramento de metodologias de melhoramento genético e de processos industriais, elevando a eficiência na conversão da biomassa em biocombustível. Do ponto de vista econômico, contribui para a diversificação da matriz agroenergética, a redução da dependência de combustíveis fósseis e a valorização da cultura de batata-doce, ampliando a competitividade regional. De forma cultural, ressignifica o papel da batata-doce, tradicionalmente voltada à subsistência, integrando saberes agrícolas locais às práticas inovadoras da bioeconomia e reforçando sua importância como elemento estratégico para o desenvolvimento sustentável.

IMPACT INDICATORS

The characterization and selection of sweet potato genotypes for ethanol production at different harvest times is essential to strengthen the bioenergy sector through cultivars with higher ethanol yield and adaptability to diverse growing conditions. This research generates social, technological, economic, and cultural impacts. In the social sphere, it fosters the inclusion of family farmers in innovative production chains and enhances energy security in rural communities by offering sustainable alternatives for income generation and employment. Technologically, it promotes advances in genetic breeding methodologies and industrial processes, improving efficiency in the conversion of biomass into biofuel. From an economic perspective, it contributes to diversifying the agroenergy matrix, reducing dependence on fossil fuels, and adding value to sweet potato cultivation, thereby increasing regional competitiveness. Culturally, it redefines the role of sweet potato, traditionally linked to subsistence, by integrating local agricultural knowledge with innovative bioeconomy practices and reinforcing its importance as a strategic resource for sustainable development.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Estrutura molecular de amido.	27
Figura 2 -	Curva de calibração para determinação do teor alcoólico de etanol da batata-doce por Cromatografia Gasosa.	40
Figura 3 -	Gráfico de valores das estimativas de médias BLUP sobre a produtividade total de raízes (PTR), considerando os efeitos isolados dos genótipos nos dois anos de cultivo e interação genótipo x épocas de cultivos em 15 genótipos avaliados.	48
Figura 4 -	Gráfico dos intervalos de confiança do BLUP para a produtividade de massa seca de raízes (PMSR), dos efeitos isolados dos genótipos nos dois anos de cultivo e interação genótipos épocas de cultivos dos 15 genótipos avaliados de batata-doce.	49
Figura 5 -	Gráfico dos intervalos de confiança do BLUP para a variável densidade da raiz (DEN) dos 15 genótipos de batata-doce avaliados.	50
Figura 6 -	Estimativas de valores BLUP referente aos efeitos isolados dos genótipos nas duas épocas de colheita e interação genótipo x épocas de colheita, sobre a acidez titulável (ACI) em genótipos de batata-doce selecionados para a produção de etanol.	51
Figura 7 -	Gráfico das estimativas de valores BLUP de efeitos isolados do genótipos nas duas épocas de colheita e interação genótipo x épocas de colheita para o potencial hidrogênico (pH) dos genótipos selecionados para a produção de etanol da batata-doce.	52
Figura 8 -	Gráfico das estimativas de Valores BLUP para a característica de açúcares redutores totais (ART) dos genótipos seleccionados com o potencial para a produção de etanol da batata-doce.	53
Figura 9 -	Gráfico dos intervalos de confiança das estimativas de valores BLUP para a variável produtividade de amido (PA) dos genótipos selecionados para a produção de etanol.	54
Figura 10 -	Gráfico das estimativas dos valores BLUP dos efeitos isolados e da interação genótipo x época de colheita para a produção de amido kg t ⁻¹ de massa seca de raízes (PATR) dos genótipos selecionados.	55
Figura 11 -	Gráfico dos intervalos de confianças das estimativas de BLUP dos efeitos	

	isolados dos genótipos e da interação genótipo x época de colheita para produção de etanol por tonelada de massa seca de raiz (PETR) dos seis genótipos selecionados.....	56
Figura 12 -	Gráfico dos intervalos de confiança das estimativas de BLUP dos efeitos isolados dos genótipos e da interação genótipo x época de colheita para produtividade de etanol em L ha-1 (PE) dos seis genótipos selecionados.	57
Figura 13 -	Diagrama da segunda fase do experimento realizado no laboratório de Plataformas de Pesquisas Energéticas (PLAPE) da UFLA, referentes as etapas de produção de etanol da batata-doce dos genótipos selecionados.	85

LISTA DE TABELAS

Tabela 1-	Principais países produtores de etanol com as respectivas biomassas.....	25
Tabela 2 -	Tabela com a descrição dos genótipos e cultivares de batata-doce.	34
Tabela 3 -	Genótipo da batata-doce selecionados para a produção de etanol com seus respectivos nomes, coloração e origem.	36
Tabela 4 -	Dados utilizados para a obtenção da curva analítica de glicose empregada na determinação de açúcares redutores totais.	38
Tabela 5 -	Teste F para os efeitos fixos das fontes de variação número de plantas colhidas (NPC), ano de cultivo (A) e época de colheita (E) em genótipos de batata-doce.	44
Tabela 6 -	Teste F para os efeitos fixos das fontes de variação número de plantas colhidas (NPC) e época de colheita (E) dos genótipos selecionados para a produção de etanol da batata-doce.....	45
Tabela 7 -	Componentes da variância para interação genótipo x ano (σ^2_{gA}), genótipo (σ^2_g), aninhado ano x bloco (σ^2_{Ab}) e do erro experimental (σ^2) em genótipos de batata-doce.	46
Tabela 8 -	Efeitos aleatórios dos componentes da variância para a interação genótipo x época de colheita (σ^2_{gE}), variância do genótipo (σ^2_g), variância do bloco (σ^2_b) e variância do erro experimental (σ^2) em genótipos selecionados da batata-doce para a produção de etanol.	47
Tabela 9 -	Correlações genotípicas acima e suas significâncias abaixo da diagonal para 10 variáveis avaliadas em 15 genótipos batata-doce.	59
Tabela 10 -	Correlações fenotípicas acima e suas significâncias abaixo da diagonal para 10 variáveis avaliadas de 15 genótipos batata-doce.	60
Tabela 11 -	Potencial produtivo de raízes da batata-doce e potencial produtivo de etanol da cultivar UFLA R1440 no cultivo de verão (1) com colheita aos 120 dias após o plantio.	61
Tabela 12 -	Médias referentes a interação genótipo x época de colheita para as variáveis agrônômicas produtividade total de raízes (PTR), produtividade de massa seca das raízes (PMSR), densidade das raízes (DEN).	86
Tabela 13 -	Média geral, intervalos de confiança inferior e superior das nove variáveis avaliadas em 15 genótipos de batata-doce, considerando as duas épocas de	

	cultivo (verão e inverno) e três épocas de colheitas (90, 120 e 150 dias apos o plantio).	88
Tabela 14 -	Média das avaliações agronômicas para as caraterísticas produtividade total de raízes (PTR) e produtividade de massa seca de raízes (PMSR) dos 15 genótipos, considerando as duas épocas de cultivo (verão e inverno).....	89
Tabela 15 -	Média dos seis genótipos selecionados para a produção de etanol nas duas épocas de colheita para as caraterísticas potencial hidrogénico (pH), açúcares redutores (ART), acidez titulável (ACI), produtividade de etanol (PE), produção de etanol litros por toneladas de raízes (PETR), produtividade de amido (PA) e produção de amido quilogramas por toneladas de raízes (PATR).	90
Tabela 16 -	Médias referentes a interação genótipo x época de colheita para as variáveis produtividade de etanol (PE), produção de etanol litros por toneladas de massa seca raízes (PETR), produtividade de amido (PA), produção de amido quilogramas por toneladas de raízes (PATR), acidez titulável (ACI), açúcares redutores (ART) e potencial hidrogénico (pH) dos seis genótipos selecionados para a produção de etanol da batata-doce.	91
Tabela 17 -	Média das avaliações agronômicas considerando a interação genótipo x ano de cultivo para as caraterísticas de produtividade total de raízes (PTR), produtividade de massa seca das raízes (PMSR) e densidade da raíz (DEN), dos 15 genótipos de batata-doce avaliados no verão e inverno.	93
Tabela 18 -	Médias das avaliações agronômicas considerando a interação genótipo x ano de cultivo x épocas de colheitas para as caraterísticas de produtividade total de raízes (PTR), produtividade de massa seca das raízes (PMSR) e densidade da raíz (DEN), dos 15 genótipos de batata-doce avaliados no verão e inverno. ...	95

LISTA DE SIGLAS

AMG	Amiloglicólise
ANP	Agência Nacional do Petróleo
BLUP	Best Linear Unbiased Prediction
CDTT	Centro de Desenvolvimento Tecnologia e Transferência
CFSEMG	Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
CIP	Centro Internacional de La Papa
DAP	Dia Após Plantio
DNS	Ácido 3,5- Dinitrosalicílico
EUA	Estados Unidos da América
ESAL	Escola Superior de Agricultura de Lavras
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agro-pecuária
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
FAOSTAT	Food and Agriculture Organization Statistical Database
AOSTAT	Food and Agriculture Organization Statistical Database
GEE	Emissão de Gases de Efeitos Estufa
IAL	Instituto Adolfo Lutz
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
UE	Unidade Experimental
UFLA	Universidade Federal de Lavras
UFVJM	Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucur
RFA	Renewable Fuels Association

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	18
2	REFERENCIAL TEÓRICO	21
2.1	Aspectos gerais da cultura da batata-doce.....	21
2.1.2	Importância socioeconômica da batata-doce	22
2.2	Produção de etanol e suas vertentes	23
2.2.1	Efeito do bioetanol na economia.....	23
2.2.2	Produção de etanol a partir de plantas amiláceas	24
2.2.3	Tecnologia de produção de etanol a partir de amido.....	26
2.2.4	Produção de etanol a partir da batata-doce.....	28
2.4	Fatores que influenciam o rendimento de etanol da batata-doce	31
2.5	Influência das épocas de colheita na produção de etanol	32
3	MATERIAL E MÉTODOS	33
3.1	Localização do experimento	33
3.2	Caracterização de genótipos de batata-doce para a produção de etanol	33
3.2.1	Tratamentos e delineamento experimental	33
3.2.2	Propagação das ramas para a implantação dos experimentos.....	34
3.2.3	Condições experimentais e implantação.....	34
3.2.4	Variáveis agronômicas avaliadas	35
3.3	Potencial de produção de etanol dos genótipos pré-selecionados	36
3.3.1	Preparo das amostras.....	36
3.3.2	Análises bioquímicas e bromatológicas das raízes.....	37
4	RESULTADOS	43
5	DISCUSSÃO	62
6	CONCLUSÕES	71
	REFERÊNCIAS	72
	APÊNDICES.....	84

1 INTRODUÇÃO

Na busca por fontes alternativas de energias renováveis, a batata-doce tem se destacado como uma alternativa promissora para produção de etanol, devido ao seu alto teor de carboidratos e amido, associado a características agrônômicas favoráveis, como baixo custo de produção, fácil adaptação a condições ambientais e curto ciclo produtivo (Andrade Júnior *et al.*, 2018; Maino *et al.*, 2019; Santos *et al.*, 2019; Andrade Júnior *et al.*, 2020; Silva *et al.*, 2022). Logo, o uso da planta está diretamente associado à necessidade da diversificação da matriz energética, mitigação das emissões de gases de efeitos estufa e promoção do desenvolvimento socioeconômico sustentável (Ornelas *et al.*, 2024).

Estudos demonstram que a batata-doce possui potencial competitivo com a cana-de-açúcar e milho, especialmente em um contexto onde a sustentabilidade e a redução dos custos são elementos diferenciais (Soares *et al.*, 2022). A batata-doce apresenta elevada produtividade de biomassa e alto rendimento de etanol por hectare (120 a 180 L ton⁻¹ de raízes), superando a cana-de-açúcar (70 L ton⁻¹ de colmos) (Lareo; Ferrari, 2019; Rodrigues; Castro, 2023). Contudo, a produtividade média nacional de batata-doce é de 14,5 ton ha⁻¹ de raízes, enquanto a cana-de-açúcar produz 81,13 ton ha⁻¹ de colmos (IBGE, 2021; CONAB, 2023). Isto favorece a cultura da cana-de-açúcar quando comparada à batata-doce. Entretanto, pesquisas apontam que determinados genótipos de batata-doce possuem potencial produtivo superior a 50 ton ha⁻¹ de raízes (Momenté *et al.*, 2025), além de apresentar ciclo mais curto quando comparados à cana-de-açúcar. Isto pode permitir o cultivo em até três safras por ano, com elevada produtividade anual. Estas características, associadas ao alto teor de amido (9,8% a 27,5%) e de matéria seca (50,39% a 63,1%) em suas raízes, reforçam seu potencial como alternativa viável para a produção de biocombustíveis (Dangler *et al.*, 1984; Suarez *et al.*, 2016; Viana *et al.*, 2018; Donato *et al.*, 2020; Castro *et al.*, 2022; Costa *et al.*, 2022). Outro ponto importante é que o etanol à base de batata-doce possui elevada pureza e teor alcoólico, o que o torna adequado para aplicação na indústria bioenergética (Lareo; Ferrari, 2019; Nogueira *et al.*, 2017).

Apesar dos pontos favoráveis, a principal limitação da produção de etanol da batata-doce ainda é o fato de apresentar estrutura de amido como reserva energética.

Diante disto, o processo de produção de etanol demanda uma etapa adicional para a conversão do amido em açúcares fermentáveis por meio de processo enzimático (Franco; Franco, 2022). Este processo envolve ainda o gasto de energia, visto que para a quebra do amido por meio enzimático necessita-se ainda de aquecimento (Schweinberger, 2016). Este pré-tratamento pode levar ao aumento dos custos de produção do etanol de batata-doce quando comparado a outras matérias-primas sacaríneas que já contêm açúcares disponível para extração (Manochio *et al.*, 2014; Franco; Franco, 2021; Griep *et al.*, 2022).

Outro grande desafio está relacionado a falta de cultivares de alta performance recomendadas para a produção de etanol. Além de alta produtividade, genótipos para esta finalidade devem apresentar elevado teor de amido e matéria seca, além de boa adaptação a diferentes condições climáticas (Coelho *et al.*, 2022; Momenté *et al.*, 2025). Assim, o melhoramento genético da cultura apresenta um papel de destaque em relação à otimização dos sistemas de cultivo da batata-doce voltada à produção de etanol.

Além do genótipo, a época de colheita também é um dos fatores mais determinantes para o rendimento de etanol na batata-doce e aumento da sua competitividade como matéria-prima para bioenergética (Silva *et al.*, 2023; Nogueira *et al.* 2017; Lourenço *et al.*, 2021). Isso se deve ao fato de que o período de tuberização influencia diretamente a composição química das raízes, especialmente no que diz respeito ao acúmulo de amido, matéria seca e açúcares redutores (Coelho *et al.*, 2022; Ferreira Dias *et al.*, 2025). Estudos têm demonstrado que colheitas mais tardias tendem a proporcionar maior rendimento de etanol (Nogueira *et al.*, 2017), pois o prolongamento do ciclo de cultivo favorece o acúmulo de biomassa e de carboidratos fermentáveis, elementos cruciais para a produção eficiente de biocombustíveis (Tenório *et al.*, 2022). Entretanto, há uma resistência considerável por parte dos produtores em adotar cultivares de ciclo muito longo, devido a fatores agronômicos e econômicos. Diante disso, o grande desafio da pesquisa voltada ao melhoramento genético da batata-doce com fins energéticos reside na conciliação entre precocidade e alto rendimento etanólico. Em geral, cultivares precoces são colhidas entre 100 e 110 dias após o plantio, enquanto cultivares de ciclo tardio são colhidas entre 120 e 180 dias (Miranda *et al.*, 1987; Resende, 2000).

Nesse contexto, são necessários estudos que identifiquem genótipos precoces e com alto potencial agrônômico para a produção de etanol, a fim de otimizar a conversão de carboidratos e contribuir no avanço do melhoramento genético da cultura, promovendo sistemas produtivos mais sustentáveis e competitivos (Nogueira *et al.*, 2017; Cansian *et al.*, 2024).

Com base no exposto, a caracterização e a seleção de genótipos de batata-doce à distintas épocas de colheita representa uma abordagem estratégica para identificar clones com alto potencial para a produção de etanol. Assim, o presente estudo teve como objetivo caracterizar e selecionar genótipos de batata-doce para a produção de etanol em função de diferentes épocas de colheitas, visando a identificação de materiais superiores com aptidão para fins bioenergéticos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Aspectos gerais da cultura da batata-doce

A batata-doce (*Ipomoea batatas* L.) pertence à família Convolvulaceae e teve origem na América Tropical Central, sendo cultivada em mais de 100 países (Nigussie *et al.*, 2022). Trata-se de uma planta hexaplóide com ($2n=6x=90$), alógama e autoincompatível, o que contribui para alta variabilidade genética (Gonçalves Neto *et al.*, 2011; Silva *et al.*, 2022; Laurie *et al.*, 2022; Costa *et al.*, 2022; Zeist *et al.*, 2022). Ademais, essa diversidade genética permite o desenvolvimento de genótipos superiores aos existentes, o que ajuda a atender as diferentes aptidões agronômicas.

É uma das principais culturas alimentares do mundo, destacando-se pela alta produtividade e pelo seu valor nutricional elevado (Brito *et al.*, 2021; Silva *et al.*, 2022; Costa *et al.*, 2022), apresentando grande importância para a segurança alimentar, sobretudo nos países subdesenvolvidos ou em desenvolvimento. Do ponto de vista nutricional, as suas reservas destacam-se por apresentar elevados teores de matéria seca acima de 42%, que por sua vez é composta principalmente por amido ($> 85\%$) (Niu *et al.*, 2019). E estas raízes são ricas em fibras alimentares, vitaminas, proteínas, minerais e compostos bioativos (Albuquerque *et al.*, 2020; Silva *et al.*, 2022). Estes nutrientes além de fornecer energia, apresentam alto valor antioxidante, nutracêuticos, anti-hepatotoxicidade, anti-hipertensivo, anti-inflamatório, antibacterianos e anticarcinogênicos (Sun *et al.*, 2019; Chun-hui *et al.*, 2022; Albuquerque *et al.*, 2020), sendo recomendados para uma vida saudável.

Além da alimentação humana, batata-doce também pode ser utilizada na alimentação animal (Andrade Júnior *et al.*, 2020), produção de bioetanol (Gonçalves Neto *et al.*, 2011; Mussoline *et al.*, 2017) e em diversos usos agroindustriais (Mussoline *et al.*, 2017; Zuo *et al.*, 2018; Wang *et al.*, 2020). Essa diversidade de uso está associada à elevada variabilidade genética presente na espécie (Silva *et al.*, 2022; Costa *et al.*, 2022). Atualmente, a área cultivada é de aproximadamente 7 a 8 milhões de hectares, com uma produção anual entre de 58.229 a 60.984 ton ha⁻¹ (FAO/FAOSTAT, 2022; IBGE, 2023).

No Brasil, a região Nordeste concentra a maior área de cultivo, com um rendimento médio de 14 ton ha⁻¹, que é relativamente baixo quando comparado com a região do Norte, que o seu rendimento é avaliado em 18,6 ton ha⁻¹, porém, a região do Nordeste representa 50,7% da produção nacional, com a área de cultivo de 31.041 hectares. As regiões Sudeste, Centro-Oeste e Sul apresentam rendimentos médios de 17,25 ton ha⁻¹, 21,16 ton ha⁻¹ e 15,22 ton ha⁻¹, respectivamente, conforme dados do IBGE (2023).

2.1.2 Importância socioeconômica da batata-doce

A batata-doce é uma das culturas alimentares mais cultivadas no mundo, ocupando a 17^a posição entre as culturas alimentares produzidas mundialmente em 2020. Em 2021, foram produzidas 89,5 milhões de toneladas da raiz, cultivadas em 7,4 milhões de hectares, com valor estimado em 60 milhões de dólares (FAO, 2023). No cenário atual, a China se destaca como o maior produtor, com 49,2 milhões de toneladas em 2,3 milhões de hectares no ano 2020 (FAOSTAT, 2023). Anualmente, o país produz 53,01 milhões de toneladas de batata-doce, o que representa mais de 58% da produção mundial, estimada em 91,95 milhões de toneladas. A Ásia produz 66% desse total, seguida pela África, com 28,3%, e pelas Américas com 4,6% (FAO, 2023).

No Brasil, a cultura apresenta grande importância socioeconômica, sendo muito cultivada por pequenos agricultores para fins de subsistência (Costa *et al.*, 2022). Apesar da sua importância para o Brasil, o país ocupa a 15^a posição entre os maiores produtores mundiais de batata-doce (FAO, 2023). Isso acontece devido aos baixos níveis tecnológicos empregado nos cultivos, como é o caso da falta de genótipos adaptados às diferentes regiões de cultivo, o que acaba limitando a produtividade e não expressando o potencial da cultura (Andrade Júnior *et al.*, 2018; Brito *et al.*, 2021; Silva *et al.*, 2022).

No entanto, entre 2009 a 2020, a área de cultivo da batata-doce no Brasil aumentou 33,8% saindo de 42.282 ha⁻¹ para 56.587 ha⁻¹, respectivamente (IBGE, 2023). Outro ponto de destaque foi o aumento da produção (4,52 vezes), que passou de R\$ 270,3 milhões para R\$ 1.222 milhões (IBGE, 2023). O principal estado produtor de batata-doce no país é São Paulo, com aproximadamente 182 mil toneladas produzidas

em 2020. Minas Gerais ocupa a quarta posição, com produção estimada em 68.142 toneladas no ano de 2020, em 3.825 ha⁻¹ e com rendimento médio de 17,82 ton ha⁻¹ (IBGE, 2023).

A cultura tem despertado interesse em mercados emergentes, devido a sua versatilidade e potencial para agregar valor. A batata-doce se mostra um alimento versátil, sustentável e de alto valor nutricional, com grandes possibilidades de aplicações na indústria de alimentos. Seu potencial como ingrediente funcional em novos produtos como *chips*, *snakes*, farinhas, bebidas, está aliado ao baixo custo de produção e alta aceitação pelos consumidores, o que reforça sua relevância no mercado alimentício e na busca por alternativas mais saudáveis e sustentáveis (Nascimento *et al.*, 2024) e o setor de bebidas vem investindo em sucos e cervejas artesanais. Ademais, os estudos demonstram que se tem desenvolvido produtos à base de batata-doce para melhorar o potencial nutricional e fornecer alternativa para o mercado de produtos veganos (Beltran *et al.*, 2020; Silva *et al.*, 2023; Duarte, 2024).

Além disso, por causa da existência de compostos bioativos nas raízes, abre novo horizonte para a indústria farmacêutica, cosmético e de suplementos nutricionais (Brito *et al.*, 2024; Duarte, 2024). A batata-doce também se destaca como ótima alternativa para a produção de etanol, devido as suas características favoráveis, como boa adaptação a solos, resistência a pragas e doenças, ciclo de cultivo curto, o que contribui na redução de custos de produção tornando-a como excelente opção para produção de biocombustíveis (Silva *et al.*, 2022; Coutinho *et al.*, 2024).

2.2 Produção de etanol e suas vertentes

2.2.1 Efeito do bioetanol na economia

O bioetanol tem desempenhado um papel relevante no contexto econômico, social e ambiental do Brasil, incentivado pelos estudos e políticas públicas que visam sua ampliação tanto no Brasil e para o resto do mundo, com o objetivo de substituir a gasolina (Silva *et al.*, 2019). A produção de bioetanol apresenta ótimo potencial para duplicar a geração de biocombustíveis, sem aumentar a área agrícola. Dessa forma, o uso de matérias-primas como a cana-de-açúcar, o milho e também a batata-doce,

contribuem de alguma forma com a sustentabilidade do processo produtivo por meio de adoção de usinas flex, capazes de processar diferentes tipos de biomassa (Priadi *et al.*, 2024).

A substituição da gasolina pelo bioetanol traz uma série de benefícios do ponto de vista ambiental, reduzindo as emissões de gases de efeitos estufa (GEE), principalmente o CO₂, pois este é capturado pelas plantas durante o processo da fotossíntese. Esse processo torna o ciclo de carbono mais equilibrado em relação aos combustíveis fósseis, contribuindo para a mitigação das mudanças climáticas e para uma matriz energética mais sustentável (Conab, 2019; Susmozas *et al.*, 2024; Li *et al.*, 2024).

O bioetanol tem sido produzido a partir de várias matérias-primas, com destaque para a cana-de-açúcar, mandioca, batata-doce e o milho (Soccol *et al.*, 2022; Francisco, 2025). A partir de 1975, o Brasil adotou um programa governamental (ProÁlcool) para incentivar a produção de biocombustível (Bertrand; Dussap, 2022). Esses biocombustíveis contribuíram bastante, e ainda contribuem na redução da dependência do Brasil em relação aos combustíveis fósseis, promovendo o país como referência mundial em tecnologias de produção de bioetanol a partir da cana-de-açúcar. No mundo, tem aumentado o interesse pela produção de bioetanol a partir de diversas biomassas, como a cana e o milho, com objetivo de substituir a gasolina (Silva *et al.*, 2019). Assim, a batata-doce se classifica como um ótimo produto em potencial para o aumento da produção de biocombustíveis no país.

2.2.2 Produção de etanol a partir de plantas amiláceas

Nos quatro anos do programa ProÁlcool, foram realizadas diversas modificações nos veículos para viabilizar o uso de etanol como combustível. Em 1979, foi lançado o primeiro carro com um motor desenvolvido especificamente para operar com etanol puro. Posteriormente, em 2003, iniciou-se a fabricação de veículos biocombustíveis (flex-fluel), capazes de funcionar com gasolina, etanol ou qualquer mistura entre esses dois combustíveis (Belincanta *et al.*, 2016; Leite; Leal, 2007).

Em 2021 a produção mundial de etanol atingiu cerca de 103,3 bilhões de litros, com os Estados Unidos liderando, com uma produção de 55%, enquanto o Brasil

respondeu com 27% (RFA,2021). No Brasil, o etanol é produzido majoritariamente pela cana-de-açúcar, embora nas últimas safras tenha se observado um incremento na utilização do milho como matéria-prima (Vidal, 2022). Em 2023, houve uma evolução da produção de etanol com milho de 17 % no total de etanol produzido no país (União Nacional da Bioenergia, 2023). Os principais países produtores de etanol são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1- Principais países produtores de etanol com as respectivas biomassas.

Países	Principais biomassas	Produção mundial %
Estados unidos	Milho	55
Brasil	Cana-de-açúcar	27
União Europeia	Beterraba sacarina, trigo e milho	5
China	Milho	3
Índia	Melaço	3
Canadá	Milho e trigo	2
Tailândia	Melaço	1

Fonte: RFA (2021).

Nos EUA, o amido de milho constitui a principal fonte para a produção de etanol da primeira geração. De forma geral, o amido é uma matéria-prima renovável com maior facilidade de ser convertido em biocombustíveis quando comparado às biomassas celulósicas usadas para a produção de etanol da segunda geração (Bertrand; Dussap, 2022; Krajang *et al.*, 2021). Dentre as fontes amiláceas, a batata-doce se destaca pelo seu potencial na produção de etanol, devido ao seu elevado rendimento de amido obtido por área cultivada, comparado aos grãos (Krajang *et al.*, 2021; Lareo; Ferrari, 2019; Srichuwong *et al.*, 2009). Em média, a batata-doce apresenta 64% de amido, com base na matéria seca (Lareo; Ferrari, 2019), além de possuir um ciclo produtivo curto, que está em torno de 5 a 6 meses, possibilitando duas colheitas por ano (Rizzolo *et al.*, 2021).

O Brasil, conta com 354 instalações produtoras de etanol. A maior parte das instalações estão centrados na região Sudeste, com 49,1% do total nacional, regiões do centro-oeste com 40,8%, Nordeste 5,7%, Sul 3,5% e Norte 0,88% segundo (ANP,

2022). No Rio Grande do Sul, existem quatro instalações funcionando, além de ser uma produção local, o estado depende da importação de cerca de 99% de sua demanda, principalmente no estados de São Paulo e Mato Grosso do Sul (ANP, 2022; MDIC, 2023).

Em 2020, foi instalada a primeira usina destinada à produção de etanol a partir da batata-doce no estado do Rio Grande do Sul, situada no município de Carazinha, mediante a concessão de licença prévia (Canal Rural, 2020). Já em 2022, foram divulgados três projetos para a produção de etanol no estado (Nova Cana, 2022).

O etanol, produzido a partir de biomassa, pode ser utilizado como combustível, mas também em formulações farmacêuticas e na fabricação de bebidas como uísque, shochu etc. Estudos demonstram a viabilidade econômica da produção integrada de etanol e bebidas destiladas a partir da batata-doce em algumas instalações industriais, possibilitando a alternância entre os produtos olhando para a demanda do mercado. Esses resultados mostram que a diversificação de produtos a partir dos resíduos da batata-doce pode tornar o modelo de biorrefinaria economicamente sustentável (Weber; Trierweiler, 2020).

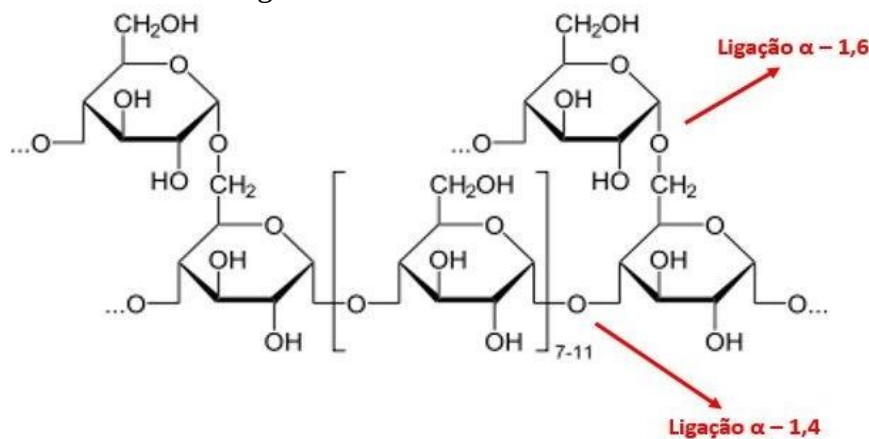
2.2.3 Tecnologia de produção de etanol a partir de amido

A busca por alternativas para produção de etanol, assim como a tecnologia industrial utilizada para fontes amiláceas, já faz parte de vários países detentores de alta tecnologia, como Alemanha, Dinamarca, Bélgica, Suécia, França e Estados Unidos, desde o final da década de 90 (Silveira, 2008b; Taborda, 2014; Costa, 2022). O bioetanol de primeira geração envolve matérias-primas ricas em sacarose, assim como de amido, dentre os quais se tem o milho, trigo, arroz, batata, mandioca, batata-doce e cevada (Azhar *et al.*, 2017).

De acordo com Schweinberger (2016), Guo (2019) e Dobranowski e Stintzi (2021), o amido é um carboidrato polimérico que consiste em numerosas unidades de glicose unidas por ligações glicosídicas α -1,4 e α -1,6. Este polissacarídeo é produzido pela maioria das plantas verdes para armazenamento de energia. Nas espécies vegetais, a molécula de amido é disposta em grânulos parcialmente cristalinos, cuja morfologia, estrutura molecular, configuração e tamanhos variam de acordo com a fonte botânica.

O amido é um carboidrato que consiste em moléculas de glicose conectadas por ligações α -1,4 e α -1,6, atuando como a principal forma de armazenamento de energia em plantas verdes (Schweinberger, 2016; Guo, 2019; Dobranowski; Stintzi, 2021). Ele é disposto em grânulos que apresentam variações em suas características, como tamanho e estrutura, conforme a espécie de planta. O amido é formado por duas cadeias principais: a amilose, que possui uma estrutura linear, e a amilopectina, que é ramificada (Figura 1). A relação entre essas cadeias varia de acordo com a espécie, variedade e fase de desenvolvimento da planta (Tester e Karkalas, 2004; Damodaran, 2019).

Figura 1- Estrutura molecular de amido.



Fonte: Schweinberger (2016).

O amido pode ser considerado a principal substância de reserva nas plantas superiores, fornecendo de 70 a 80% das calorias consumidas pelo homem. Os depósitos permanentes de amido nas plantas, ocorrem principalmente nos órgãos de reserva, como é o caso de grãos de cereais (arroz, milho e trigo), tubérculos e raízes (batata, mandioca, batata-doce) (Bayer; Lamed, 1992; Cereda *et al.*, 2002; Prado, 2020). Vale salientar, que o amido tem características físicas, químicas e qualidade nutricional superiores, quando comparado com outros carboidratos (Bemiller, 2018), o que influencia de forma positiva para a produção de etanol, devido sua fácil conversão em açúcares fermentais, o que de certa forma resulta em maior rendimento fermentativo. Industrialmente, o amido pode ser convertido em açúcares, por exemplo, pela maltagem, e fermentado para a produção de etanol na fabricação de cerveja, uísque e biocombustíveis. Pode ser processado para produzir diversos açúcares usados em

alimentos processados (Soler, 2021).

O uso da batata-doce na produção de etanol tem sido amplamente estudado devido à necessidade de fontes renováveis de energia. Vários autores observam que a produção de etanol a partir de suas raízes é mais eficiente devido ao alto teor de amido, que supera tanto o milho quanto a cana-de-açúcar (El Sheikha; Ray, 2017; Lareo *et al.*, 2021). O teor médio de amido em base úmida nas raízes de batata-doce é de 20%, e pode variar entre 9,8 e 27,5% ou entre 40,0 e 83,1% em base seca (Suarez *et al.*, 2016).

2.2.4 Produção de etanol a partir da batata-doce

Os biocombustíveis são produzidos a partir de fontes de energia renováveis oriundas de biomassa vegetal e animal (Biomassa, 2017). Dentre as matérias-primas com potencial para a produção de biocombustíveis, a batata-doce se destaca devido ao seu alto rendimento de amido por unidade de área cultivada, superando o desempenho de grãos (Lareo; Ferrari, 2019; Krajang *et al.*, 2021). Em média, a batata-doce contém cerca de 64% de amido em base seca (Lareo; Ferrari, 2019; Rizzolo *et al.*, 2021). Apesar do seu potencial para a produção de etanol, a batata-doce ainda é pouco explorada no Brasil. No entanto, pesquisas mostram que ela pode gerar etanol em quantidade superior à da cana-de-açúcar, destacando-se como uma alternativa eficiente e sustentável para biocombustíveis no país (Rodrigues; Castro, 2023; Souza, 2021).

A cultura da batata-doce possui grande potencial para a produção de etanol e apresenta múltiplos usos. Estudos realizados demonstraram perspectivas e desafios da batata-doce como combustível (Lareo; Ferrari, 2019), bem como seu impacto ambiental e a eficiência energética associada ao processo de produção de etanol (Zhang *et al.* 2017, 2023). Em um estudo, Viana *et al.* (2017), avaliaram genótipos de batata-doce quanto a produtividade de raízes, a qual variou entre 31,7 a 43,5 ton ha⁻¹, além do rendimento efetivo de etanol entre 1.100 a 4.940 L ha⁻¹ com ciclo de 180 dias. Diante disso, quanto maior o rendimento de raízes e de amido por hectare, maior será o retorno econômico ao produtor. Quando se refere à batata-doce para a indústria, deve-se compreender que a quantidade e o teor de açúcar das raízes dependem da variedade, dos fatores endógenos às plantas, da atividade da amilase e das condições ambientais (Sulistiani *et al.*, 2018).

A produção de etanol da batata-doce é feita via fermentação no qual os açúcares são degradados por microrganismos, resultando na conversão de açúcar em álcool e essa etapa é responsável pela maior parte do etanol produzido (Gulden, 2019; Jimoh; Amire, 2024). Pires *et al.* (2020), avaliaram a hidrólise ácida do amido da batata-doce e fermentação alcoólica do hidrolisado utilizando a levedura comercial (*Saccharomyces cerevisiae*), a fermentação alcoólica foi realizada com o hidrolisado a 1% (v/v) e apresentou uma conversão de 89% de amido em açúcar, resultando em 17,95 g/L de bioetanol. Esses resultados demonstram o elevado potencial da batata-doce como fonte alternativa de biomassa para a produção de etanol.

De fato, espécies vegetais que armazenam amido e açúcares representam ótimas fontes para a geração de etanol. Dentre os principais benefícios que a batata-doce proporciona como matéria-prima na geração do etanol encontra-se elevada produtividade de raízes, massa seca e amido. Além disso, o uso desta cultura está alinhado com o propósito sustentável, contribuindo para diversificar a matriz energética e para reduzir os impactos ambientais. No entanto, com o propósito da sustentabilidade ambiental, o etanol é produzido em diversos países incluindo o Brasil (Negrao, Urban, 2005; Franco; Franco, 2021).

2.3 Melhoramento genético da batata-doce para produção de etanol

A seleção de genótipos da batata-doce para a produção de etanol envolve a identificação de materiais com alta produtividade agrícola, elevado teor de matéria seca, amido e açúcares fermentáveis. Essa seleção é aprimorada por meio de técnicas de melhoramento genético, que permite combinar características desejadas por meio de cruzamentos dialélicos e avaliação das populações segregantes (Silva *et al.*, 2023; Lopes *et al.*, 2022). A caracterização das raízes quanto aos aspectos físico-químicos e desempenho fermentativo, permite a escolha de materiais mais eficientes. Assim, o melhoramento genético é importante para gerar novas cultivares adaptadas e eficientes na produção de etanol. Esse processo de seleção permite a geração de novos genótipos adaptados e potencializados para maior produtividade de raízes, amido e rendimento fermentativo. Através de ciclos sucessivos de seleção e recombinações é possível incrementar os efeitos aditivos e aumentar genótipos com alto desempenho (Costa *et al.*,

2022). Portanto, a alta variabilidade genética da cultura, sua autoincompatibilidade e facilidade de propagação clonal tornam esse método mais eficiente no desenvolvimento de novos materiais, otimizando a produção de etanol (Silva *et al.*, 2022; Costa *et al.*, 2022; Brito *et al.*, 2022).

No contexto da produção de etanol, a recombinação de alelos favoráveis é uma estratégia que consiste no intercruzamento de genótipos pré-selecionados com base no seu desempenho agrônomo e tecnológico. As sementes botânicas obtidas geram novos materiais, que são avaliados, selecionados e recombinados (CIP, 2009; Silva *et al.*, 2022). Na batata-doce, a manutenção dos genótipos superiores é favorecida pela propagação vegetativa da cultura, que facilita a preservação de genes benéficos fixados por dominância, epistasia, efeitos aditivos (Gonçalves Neto *et al.*, 2011; Laurie *et al.*, 2022). Com isso, a seleção recorrente se destaca como uma ferramenta eficaz que concentra características desejáveis e a obtenção de genótipos com alto potencial para fins industriais, como a produção de etanol (Gonçalves Neto *et al.*, 2011; Laurie *et al.*, 2022; Silva *et al.*, 2022).

Estudos de melhoramento genético da batata-doce têm demonstrado o potencial dessa estratégia na obtenção de genótipos com múltiplos usos, incluindo a produção de etanol. Silva *et al.* (2022) estudaram 1.627 genótipos oriundos de sementes botânicas, em um primeiro ciclo de seleção recorrente, e identificaram 60 genótipos com aptidão para diferentes finalidades, como produção de etanol, alimentação animal, consumo humano e consumo *in natura*. Dentre as características estudadas destacaram-se a produtividade de raízes e ramas, padrão comercial de raízes, formato de raízes, resistência a insetos de solo e a coloração de polpa mais intensa. Apesar de ser um estudo exploratório, os autores verificaram alta variabilidade genética, reforçando o papel de melhoramento genético como uma ferramenta eficaz na seleção de genótipos potencializados para atender a demanda por matéria-prima versátil e adaptada às exigências da indústria de bioenergia.

2.4 Fatores que influenciam o rendimento de etanol da batata-doce

O rendimento de etanol a partir da batata-doce é determinado por diversos fatores, como características da matéria-prima até as condições de processamento e fermentação. Dentre os aspectos agrônômicos, fisiológicos e físico-químicos, a matéria seca das raízes é um dos principais determinantes da eficiência industrial, por estar diretamente correlacionada ao teor de amido e o rendimento fermentativo (Ros-Golla e Hirata, 2010; Gemenet *et al.*, 2020; Silva *et al.*, 2019). Cultivares com alto teor de matéria seca, não só aumentam a eficiência na conversão de biomassa em etanol, mas como também reduzem a quantidade de água residual, otimizando os custos de produção (Silveira *et al.*, 2011).

Além disso, fatores como produtividade das raízes, açúcares solúveis, acidez, pH e adaptação ao ambiente influenciam de forma direta sobre o desempenho bioenergético da cultura (Gemenet *et al.*, 2020). Portanto, a seleção de clones com todas as características desejáveis é uma estratégia para tornar a cultura potencializada e competitiva na indústria energética.

No entanto, a qualidade da matéria-prima e as condições de processamento também impactam de forma direta no rendimento de etanol. A composição bioquímica da batata-doce, principalmente o alto teor de amido e açúcares solúveis, podem gerar uma massa viscosa durante o processamento, dificultando a sacarificação e prejudicando a mistura. Essa condição limita a ação das enzimas e das leveduras, reduzindo a eficiência da conversão dos açúcares (Franco; Franco, 2021; Franco; Franco, 2022).

Para superar esses desafios, a etapa de pré-tratamento, como o cozimento ou o uso de ácidos, podem modificar a estrutura do amido facilitando o processo da sacarificação (Lima *et al.*, 2021). Nesse contexto, o processo da fermentação desempenha um papel importante no rendimento final. Então a escolha de leveduras adequadas e o controle da temperatura durante o processo fermentativo são determinantes para o sucesso da produção de etanol.

Estudos indicam que temperaturas mais baixas favorecem a produção de etanol, ainda que aumentem o tempo de fermentação, enquanto leveduras termotolerantes permitem adaptações, principalmente quando a fermentação é realizada a temperaturas

elevadas (Pavlak *et al.*, 2011; Castro *et al.*, 2015). Essa variabilidade nos parâmetros de fermentação ressalta a necessidade de um equilíbrio entre a velocidade do processo e a eficiência de conversão de açúcares em etanol. Em outro estudo, Santos *et al.* (2020) observaram que diferentes tempos de fermentação e método de hidrólise, influenciam diretamente o rendimento de etanol. A pesquisa destacou a importância de otimizar as condições de processamento para maximizar a produção de etanol a partir da batata-doce.

2.5 Influência das épocas de colheita na produção de etanol

A batata-doce destaca-se como uma cultura alternativa para a produção de etanol, devido às suas características que elevam o seu potencial. Dentre os fatores que influenciam o rendimento de etanol, a época de colheita é considerada um dos fatores mais determinantes, pois, o período de tuberização influencia diretamente a composição química das raízes, especialmente ao acúmulo de amido, matéria seca e açúcares redutores (Nogueira *et al.*, 2017; Tenório *et al.*, 2022).

Assim, a definição da época de colheita é importante para maximizar o aproveitamento energético da cultura e garantir a eficiência no processo fermentativo. No entanto, colheitas mais tardias proporcionam maior rendimento de etanol o que favorece o acúmulo de biomassa e carboidratos fermentáveis, sendo, portanto, estratégico para a produção eficiente de biocombustíveis (Nogueira *et al.*, 2017; Tenório *et al.*, 2022). Geralmente, cultivares precoces são colhidas entre 100 e 110 dias, enquanto as tardias entre 120 a 180 dias (Miranda *et al.*, 1987; Resende, 2000).

Nesse contexto, a seleção de genótipos superiores e adaptados a diferentes épocas de colheita é fundamental para fortalecer o uso da batata-doce como matéria-prima competitiva na produção de biocombustíveis (Silva *et al.*, 2023; Lopes *et al.*, 2022; Momenté *et al.*, 2025). Além disso, estudos que avaliam a interação genótipo e épocas de colheitas são importantes no avanço em programas de melhoramento genético e práticas voltadas à maximização do rendimento alcoólico.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização do experimento

Os experimentos foram conduzidos em duas épocas de cultivo (verão e inverno). O primeiro experimento ocorreu de dezembro de 2023 a maio 2024 (verão), enquanto o segundo foi realizado de abril a setembro de 2024 (inverno). Os experimentos foram realizados no Centro de Desenvolvimento e Transferência de Tecnologia da Universidade Federal de Lavras (CDTT/ESAL/UFLA), na estação experimental da Fazenda Palmital, localizada no município de Ijaci, região sul do estado de Minas Gerais (21°10' latitude Sul, 44°55' longitude Oeste, altitude de 832 m).

3.2 Caracterização de genótipos de batata-doce para a produção de etanol

3.2.1 Tratamentos e delineamento experimental

Os experimentos foram instalados em delineamento em blocos causalizados com arranjo fatorial de 15x3x2, sendo 15 genótipos de batata-doce, três épocas de colheitas (90, 120 e 150 dias após o plantio) e dois anos de cultivos (verão e inverno). Foram avaliados dez genótipos experimentais da UFLA (UFLA 527, UFLA 1192, UFLA 286, UFLA 1476, UFLA 516, UFLA 1074, UFLA 210, UFLA 1377, UFLA 397 e UFLA 1404), cinco cultivares comerciais (UFLA R1440, UFLA B556, BRS-Cotinga, BRS-Rubissol e BRS-Amelia). Para cada tratamento foram implantadas três repetições, totalizando 135 unidades experimentais. Cada parcela foi composta por uma leira de 3 m, espaçada 0,9 m entre si. Cada planta foi disposta em 0,3 m de distância entre si, totalizando 10 plantas por parcela. No plantio, foram utilizadas estacas de caule (ramas), com 30 cm cada.

3.2.2 Propagação das ramas para a implantação dos experimentos

A propagação das plantas ocorreu de forma assexuada. Para isso, cada genótipo de batata-doce foi previamente cultivado em um campo de propagação no CDTT/UFLA. Em seguida, foram coletados segmentos de ramas dos genótipos (Tabela 2) para o plantio. Cada segmento continha de quatro a oito nós, onde se encontram as gemas vegetativas.

Tabela 2 - Tabela com a descrição dos genótipos e cultivares de batata-doce.

Genótipos experimentais	Coloração da polpa	Coloração da casca	Origem
2020-UFVJM42-527	Roxa	Roxa- escura	UFLA
2020- Urguaiana-1192	Roxa	Roxa- escura	UFLA
2021- Dialelo-286	Laranja intenso	Vermelha- púrpura	UFLA
2020-UFVJM42-1476	Roxa	Roxa- escura	UFLA
2020-1380-1404	Branca	Branca	UFLA
2020-74-1481-516	Amarela	Vermelha- púrpura	UFLA
2020-598-1074	Creme	Creme	UFLA
2020-67-1321-210	Laranja	Rosa	UFLA
2020-72-1380-1377	Roxa	Roxa- escura	UFLA
2018-19-464-397	Creme	Laranja	UFLA
Cultivares comerciais	Coloração da polpa	Coloração da casca	Origem
UFLA R1440	Roxa	Roxa- escura	UFLA
UFLA B556	Branca	Creme	UFLA
BRS-Cotinga	Roxa	Roxa- escura	Embrapa
BRS-Amélia	Laranjada	Laranja	Embrapa
BRS-Rubissol	Creme	Vermelha- púrpura	Embrapa

Fonte: Da autora (2025).

3.2.3 Condições experimentais e implantação

Inicialmente, foram coletadas amostras do solo da área onde o experimento seria implantado e, posteriormente, realizou-se sua análise físico-química.

O preparo de solo foi realizado a partir de uma subsolagem, gradagem e nivelamento da área de cultivo e em seguida, foi realizado o levantamento das leiras (Apêndices A, Figura 13). A adubação de plantio foi realizada de acordo com a análise química do solo, com aplicação de 700 kg ha^{-1} da formulação do fertilizante N-P-K da fórmula 04-14-08 e $10,0 \text{ ton ha}^{-1}$ de composto orgânico estabilizado para uma produtividade esperada de $20,00 \text{ ton ha}^{-1}$ de raízes segundo a CFSEMG (1999),

considerando um solo de fertilidade média. Aos 30 dias após plantio (DAP), foi realizada uma única adubação de cobertura, com 30 kg de nitrogênio (150 kg ha^{-1} de Sulfato de Amônio (CFSEMG, 1999).

O plantio das ramas de batata-doce foi realizado com espaçamento de 0,30 m entre plantas, sendo 10 plantas por parcela. As ramas foram posicionadas em diagonal, com profundidade de 0,15 m no solo, resultando em uma população de 1.450 plantas. O replantio foi realizado para manter as dez plantas em cada unidade experimental (UE), sendo realizado até os 15 DAP.

O controle fitossanitário foi realizado regularmente para o monitoramento de pragas e doenças, principalmente as formigas cortadeiras saúvas (*Acromyrmex Atta*), utilizando formicidas recomendados.

A irrigação utilizada foi pelo método de aspersão convencional, com uso de mangueira de polietileno, e aspersor modelo A-232 de bocal 5,6x3,6, com turno de rega a fim de repor a capacidade de campo e a Evapotranspiração da cultura etc. O controle de plantas daninhas foi realizado por meio de capinas manuais, sendo realizadas até o fechamento total da área pelas ramas e folhas da batata-doce. A colheita foi realizada de acordo com as épocas (90, 120 e 150 DAP), visando comparar a melhor época com maior concentração de amido e maior produtividade de raízes nos genótipos.

3.2.4 Variáveis agronômicas avaliadas

Nos dois anos de cultivo foram avaliadas as seguintes características em cada unidade experimental:

- a) Produtividade total de raízes (PTR): durante a colheita foi avaliada por meio da medição da massa fresca de todas as raízes de cada unidade experimental, com uma balança mecânica tipo inglesa, e os resultados foram expressos em t ha^{-1} .
- b) Produtividade de massa seca de raízes (PMSR): foram coletadas amostras frescas das raízes, posteriormente cortadas em rodela e secas em uma estufa a 65°C , até atingir massa constante conforme Gonçalves Neto *et al.* (2011). Calculou-se a multiplicação da massa fresca de raízes de cada unidade experimental com seu teor de massa seca decimal respectivo. Seu valor final em produtividade de massa seca nas raízes, foi transformado, com a unidade de

medida em ton ha⁻¹.

- c) Densidade da raiz (DEN): foi determinada pelo método da balança hidrostática (CIP, 2001). As raízes tuberosas de cada genótipo foram lavadas para retirar resíduos de solo remanescentes e secas com papel toalha. Posteriormente, as raízes foram pesadas ao ar e a mesma amostra foi pesada na água em uma balança hidrostática.

3.3 Potencial de produção de etanol dos genótipos pré-selecionados

Após as avaliações agronômicas, foram selecionados os genótipos para a produção de etanol, levando em consideração as características de produtividade total das raízes (PTR) e produtividade de massa seca das raízes (PMSR), bem como as características dos genótipos e interesse do programa de melhoramento. Dos quinze genótipos avaliados, seis foram selecionados para a produção de etanol, conforme descritos na Tabela 3.

Tabela 3 - Genótipo da batata-doce selecionados para a produção de etanol com seus respectivos nomes, coloração e origem.

Genótipos	Coloração da polpa da raiz	Origem
UFLA R1440	Roxa	UFLA
UFLA 1192	Roxa	UFLA
UFLA 286	Laranja intenso	UFLA
UFLA B556	Branca	UFLA
BRS- Cotinga	Roxa	EMBRAPA
BRS- Amélia	Alaranjada	EMBRAPA

Fonte: Da autora (2025).

3.3.1 Preparo das amostras

Após a colheita, as amostras de raízes da batata-doce foram levadas ao laboratório da Plataforma de Pesquisa Energética onde foram higienizadas com água corrente e cortadas em círculos de aproximadamente 0,5 cm de espessura. Em seguida, as amostras foram desidratadas em estufa com circulação de ar a 60 °C até atingir o

peso/massa constante. Após a secagem, foi realizada a trituração das amostras em moinho de facas tipo Willye (modelo STAR FT-50 com peneira mesh 30), obtendo grânulos de aproximadamente 0,595 mm. Essas amostras foram utilizadas para as análises bioquímicas e produção de etanol (Apêndices B, Figura 14).

3.3.2 Análises bioquímicas e bromatológicas das raízes

- a) Acidez titulável (AT%): foi determinada pelo método que se baseia no experimento 415/IV Farinhas e produtos similares – Determinação de acidez álcool-solúvel das Normas Analíticas do IAL (2008). Foram pesadas em balança de precisão 2,50 g da farinha em um vidro-relógio. Em seguida transferida para um frasco Erlenmeyer de 125 mL e adicionado 50 mL de álcool-etílico 96 °GL com o auxílio de uma pipeta volumétrica. O frasco agitado por 30 segundos e mantido em repouso por 24 horas. Após o tempo em repouso, foi transferido, com auxílio de uma pipeta volumétrica, 20 mL do sobrenadante da solução para um frasco Erlenmeyer de 125 mL. Adicionadas 3 gotas de fenolftaleína e posterior titulação com solução de hidróxido de sódio (NaOH) 0,01N, até obter uma solução com coloração rosa claro. O branco foi realizado utilizando-se solução de álcool etílico.

$$\text{Teor de acidez \%}(v/m) = \frac{(V-V')*f*100}{P*100} \quad (1)$$

Onde:

V- ml da solução de hidróxido de sódio gasto na titulação da amostra

V' - ml da solução de hidróxido de sódio gasto na titulação do branco.

f – fator de correção da solução de NaOH 0,01N

P – n^o de gramas da amostra utilizada na titulação

- b) pH: A análise de pH foi realizada diretamente em pHmetro microcontrolador portátil modelo-Q400HM, com 9 gramas de amostra diluídas em 60 mL de água destilada sob agitação magnética por 30 segundos seguido os demais parâmetros de acordo com as Normas Analíticas do IAL (2008).
- c) Açúcares redutores totais (ART%): as amostras de raízes de batata-doce, foram desidratadas e trituradas. A determinação dos ART foi realizada pelo método

DNS, ácido 3,5-dinitrosalicílico, conforme proposto pela Embrapa (2014). A determinação dos açúcares redutores totais, após a hidrólise enzimática, foi realizada a partir de 100 μL de cada amostra, devidamente centrifugados e diluído em água destilada, em microtubos tipo Eppendorf® de 2 mL. As amostras foram adicionadas 100 μL de reagente DNS, seguidos de incubação em banho de água fervente (90 °C) por 5 minutos e resfriado em banho de água com gelo. Após esta etapa, foram adicionados 16 mL de tartarato e homogeneizado. Em seguida, procedeu-se a leitura em espectrofotômetro a 540 nm. Posteriormente, foi montada uma curva analítica de acordo com a Tabela, e os teores de açúcares redutores totais foram expressos em $\text{g } 100\text{g}^{-1}$.

Tabela 4 - Dados utilizados para a obtenção da curva analítica de glicose empregada na determinação de açúcares redutores totais.

Solução padrão (mL)	Água destilada (mL)	[] Glicose (mg)
1	9	0.107
2	8	0.214
3	7	0.321
4	6	0.428
5	5	0.535
6	4	0.642
7	3	0.749
8	2	0.856
9	1	0.963
10	0	1.07

Fonte: Da autora (2025).

- d) Produção de amido por tonelada de raízes (PATR): foi determinada com base na metodologia proposta por Somogy (1945) adaptado por Souza *et al.* (2025), utilizando um espectrofotômetro. Por fim, foi montada uma curva analítica de glicólise, a partir da qual se obteve uma equação utilizada no cálculo do teor de amido. O valor obtido foi então ajustado com base na massa seca da amostra, sendo realizado posteriormente, o cálculo para tonelada de raízes e os resultados em kg por tonelada de raiz.
- e) Produtividade de amido das raízes (PA): foi calculada multiplicando o valor da produção de amido por tonelada de raízes pela produtividade de massa seca de raízes, sendo os resultados expressos em t ha^{-1} .

- f) Produção de etanol por tonelada de raiz (PETR): inicialmente foi realizada a produção do etanol, seguindo as etapas de obtenção do álcool: hidrólise enzimática, fermentação, destilação.

Para a hidrólise enzimática foram pesadas 150 g de massa seca de farinha de batata-doce e adicionadas a um balão volumétrico com 450 mL de água destilada. O processo de gelatinização foi realizado a 60 °C por 20 minutos, sob rotação de 30 rpm, utilizando um rotoevaporador. O pH do mosto foi ajustado para 8,6 com solução de hidróxido de sódio 1N, e adicionada a enzima α -amilase (1 mL kg de farinha). Sob agitação constante de 30 rpm, a temperatura foi elevada gradualmente em 1°C/min até atingir 90 °C, sendo mantida por 60 minutos. Após esse período, a temperatura foi reduzida a 60 °C na taxa de 1 °C/min. O pH do mosto foi ajustado para 4,5 com solução de ácido clorídrico 1N, seguido da adição da enzima AMG (2 mL kg de farinha). Por fim, o mosto foi mantido sob hidrólise por 90 minutos e posteriormente resfriado à temperatura ambiente. O hidrolisado foi mantido em repouso por 24 horas e, em seguida, submetido ao processo de fermentação. A fermentação foi realizada utilizando a levedura *Saccharomyces cerevisiae*, a qual consegue suportar as dificuldades presentes no meio fermentativo (temperatura, alta concentração de etanol, acidez). As soluções hidrolisadas foram inoculadas com a solução contendo a levedura, permanecendo em repouso e temperatura controlada a 30 °C em uma incubadora por 7 dias. A fermentação foi realizada em um potinho de vidro fechado, com uma tampa contendo um orifício para permitir a liberação dos gases produzidos durante o processo.

Por fim, foi realizada a destilação pelo método da destilação fracionada, um processo realizado em um destilador composto por uma coluna de fracionada. Nesse processo, a mistura líquida foi aquecida até uma temperatura de aproximadamente 78,37 °C, temperatura de ebulição do etanol, permitindo a separação dos componentes voláteis com base em suas diferentes temperaturas de ebulição. O álcool obtido no processo de destilação das amostras foi coletado em banho de gelo, para manter sua estabilidade, e armazenado em frascos de vidro com tampa (devidamente identificados), sendo acondicionados em refrigerador do tipo comum em temperatura de 10 °C. Das 33 amostras destiladas foram coletados 869,27 ml de álcool puro. Após a destilação, determinou-se o teor alcoólico das amostras, seguindo a metodologia proposta por McNair *et al.* (2011), utilizando Gás Chromatograph (GC). O teor alcoólico foi

calculado a partir da curva de calibração que ela forneceu.

$$Y = 1E+07x - 2E+06, \text{ com } R^2 = 0,9974. \quad (2)$$

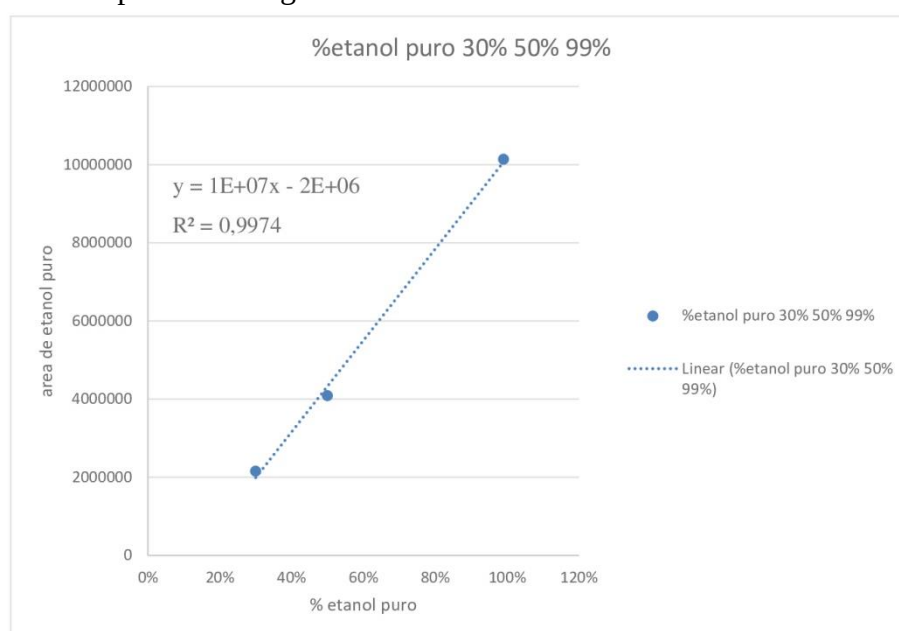
Sendo:

Y – concentração em miligramas por litro

X – área ou valor de absorbância %

E – exponencial

Figura 2 - Curva de calibração para determinação do teor alcoólico de etanol da batata-doce por Cromatografia Gasosa.



Fonte: Da autora (2025).

A produção de etanol litros por toneladas (PETR) foi determinada a partir do teor alcoólico obtido em cada amostra, considerando a massa seca utilizada para a produção de etanol (150 g de farinha por amostra), sendo o teor de etanol (%) convertido em massa de etanol (kg). Em seguida, utilizando-se a densidade do etanol (0,789) da massa de etanol (kg) foi convertida para volume, aplicando-se a seguinte fórmula.

$$L \text{ de etanol} = \frac{\text{kg de etanol}}{0,789}, \text{ sendo: } 0,789 - \text{valor da densidade do etanol} \quad (3)$$

Por fim, o valor de etanol produzido em 150 gramas da amostra e o resultado convertido para a produção de etanol em litros por toneladas (L t⁻¹).

- g) Produtividade de etanol (PE): foi determinada multiplicando a produção de etanol em litros por tonelada de raízes (L t⁻¹) pela produtividade de massa seca de raízes, sendo os resultados expressos em litros por hectare (L ha⁻¹).

3.4 Análises estatísticas

Para todas as características avaliadas, foram utilizados modelos lineares mistos para avaliação dos efeitos fixos e aleatórios conforme o protocolo para análises de modelos mistos em experimentos complexos (Bueno-Filho *et al.* em preparação) e utilizando o pacote lme4 (Bates *et al.*, 2015) do Software R (R Core Team, 2025). Nestes modelos estimou-se a variância genética (σ_g^2), variância do erro (σ^2), variância da interação genótipo x ano (σ_{gA}^2), a variância aninhado ano x bloco (σ_{ab}^2), variância da interação genótipo x época de colheita x ano de cultivo (σ_{gEA}^2). Em que os níveis dos genótipos estão descritos na Tabela 2, os níveis de épocas de colheita foram 90, 120 e 150 dias e os níveis do ano de cultivo foram verão e inverno.

Os dados foram transformados com uma transformação de Box-Cox (Box; Cox, 1964). Em seguida, foi estabelecido o modelo geral e removidos os componentes aleatórios não significativos de acordo com o teste da razão da verossimilhança (LRT, $P > 0.05$). Após a seleção dos modelos foram construídos os gráficos de lagarta para as variáveis com efeito aleatório para os modelos selecionados nas três características: PTR, PMSR e DEN. Para as demais características (AT, pH, ART, PATR, PA, PETR e PE), os gráficos de lagarta foram apresentados mesmo quando o efeito aleatório foi pouco expressivo e seria removido pela seleção de modelos do protocolo (Bueno-Filho, *et al.* em preparação). O teste para os efeitos fixos foi o teste t, utilizando os procedimentos Satterthwaite. O modelo completo apresentado a seguir.

$$y_{ijklm} = \mu + n_{ijklm} + A_i + E_k + AE_{ik} + b_{j(i)} + g_l + gE_{kl} + gA_{il} + gEA_{ikl} + \epsilon_{ijklm}, \quad (4)$$

Em que podemos descrever como termos fixos do modelo:

μ : é a média geral

n_{ijklm} : é o número de plantas colhidas = $ijklm$

A_i : é a Ano de cultivo, com $i = 1, 2$

E_k : é época de colheita, com $k = 90, 120, 150$

AE_{ik} : é a interação entre ano de cultivo e época de colheita

Os efeitos aleatórios os termos dos modelos podem ser descritos como:

$b_{j(i)}$: é o bloco j dentro do ano de cultivo i com $b_{j(i)} \sim N(0, \sigma_b^2)$

g_l : é o efeito do genótipo l com $g_l \sim N(0, \sigma_g^2)$

gE_{kl} : é o efeito da interação entre genótipo e época de colheita com $gE_{kl} \sim N(0, \sigma_{gE}^2)$

gA_{il} : é o efeito da interação entre genótipo e ano de cultivo com $gA_{il} \sim N(0, \sigma_{gA}^2)$

gEA_{ikl} : é o efeito da interação entre genótipo, tempo até a colheita e Ano de cultivo com $gEA_{ikl} \sim N(0, \sigma_{gEA}^2)$

ϵ_{ijklm} : é o erro experimental com $\epsilon_{ijklm} \sim N(0, \sigma_b^2)$

Herdabilidade ampla (h^2) foi, dada por $h^2 = \frac{\sigma_g^2}{\sigma_g^2 + \sigma^2}$.

4 RESULTADOS

Para as variáveis produtividade total de raízes (PTR), produtividade de massa seca das raízes (PMSR) e densidade das raízes (DEN), considerando que não houve interação genótipo x épocas de colheitas nos dois anos de cultivo, não foram construídos gráficos de lagarta, devido a ausência do efeito aleatório de genótipo. As médias dos valores observados para estas características estão descritas (Apêndice C, Tabela 12).

Ao considerar os efeitos fixos sobre a produtividade total de raízes (PTR) e produtividade de massa seca das raízes (PMSR), observou-se que o fator 'número de plantas colhidas' influenciou significativamente, com efeito significativo ($p < 0,05$). Para a produtividade total de raízes (PTR), o fator 'ano de cultivo' não apresentou efeito significativo. Em contraste, o fator época de colheita influenciou significativamente a PTR, com efeito significativo ($p < 0,01$) do coeficiente linear para esta variável, ao contrário do observado para o coeficiente quadrático, que não foi significativo (Tabela 5). A estimativa positiva do coeficiente linear indica um aumento inicial no valor de PTR e PMSR com o avanço das épocas de colheita, ou seja, as colheitas mais tardias apresentam maiores valores de PTR e PMSR, o que é esperado para a cultura da batata-doce por ser uma cultura perene, cultivada como anual. Para a característica produtividade de massa seca de raiz (PMSR), observou-se efeito não significativo do fator 'ano de cultivo'. Em contraste o efeito época de colheita foi significativo tanto no coeficiente linear quanto no quadrático, com efeito significativo ($p < 0,001$). Já para a densidade da raiz (DEN), não houve efeito significativo do fator 'número de plantas' colhidas e época de colheita, tanto para o coeficiente linear e quadrático. Em contrapartida, o fator ano de cultivo apresentou efeito significativo ($p < 0,001$), com o coeficiente quadrático positivo, indicando aumento na DEN ao longo do ciclo do cultivo.

Ao analisar os efeitos fixos sobre as características avaliadas, acidez titulável (AT), potencial hidrogénico (pH), açúcares redutores (ART), produtividade de etanol (PE), produtividade de amido (PA), produção de amido por tonelada de raízes (PATR) e produção de etanol por tonelada de raízes (PETR), o fator número de plantas colhidas não apresentou efeito significativo (Tabela 6). De forma semelhante o fator época de colheita também não influenciou significativamente ACI, pH, ART, PE e PETR,

embora tenha apresentado efeito significativo sobre PA e PATR. Ademais, verifica-se ainda que, para o fator número de plantas colhidas, as características PA, PE e PETR exibiram estimativas negativas, enquanto, para o fator época de colheita, as variáveis ACIT, PA, PATR e PE apresentaram estimativas positivas.

Tabela 5 - Teste F para os efeitos fixos das fontes de variação número de plantas colhidas (NPC), ano de cultivo (A) e época de colheita (E) em genótipos de batata-doce.

		Características		
Fator		PTR	PMSR	DEN
NPC	Estimativa	0.28458	0.18902	6.793e-04
	Erro padrão	0.12459	0.08834	8.985e-04
	p-valor	0.0232 *	0.0333 *	0.450895ns
Ano do cultivo	Estimativa	0.35411	-0.14397	-7.598e-03
	Erro padrão	0.62563	0.45733	2.545e-03
	p-valor	0.5755 ^{ns}	0.7551 ^{ns}	0.003338 **
Época de colheita Linear	Estimativa	3.11275	2.34983	1.396e-03
	Erro padrão	0.30770	0.21750	2.608e-03
	p-valor	<2e-16 ***	<2e-16 ***	0.593406ns
Época de colheita Quadrático	Estimativa	-0.24874	-0.43446	-3.259e-04
	Erro padrão	0.30340	0.21444	2.449e-03
	p-valor	0.4132ns	0.0439 *	0.894324ns

p-valor: valor de p do teste F à 5% de probabilidade: ns - diferenças não significativas, * significativo para $p \leq 0,05$, ** significativo para $p \leq 0,01$, *** significativo para $p \leq 0,001$; PTR- produtividade total de raízes, PMSR- produtividade de massa seca de raízes e DEN – densidade da raiz.

Fonte: Da autora (2025).

Tabela 6 - Teste F para os efeitos fixos das fontes de variação número de plantas colhidas (NPC) e época de colheita (E) dos genótipos selecionados para a produção de etanol da batata-doce.

		Características						
Fator		ACI	Ph	ART	PA	PATR	PE	PETR
NPC	Estimativas	0.04744	2.417	0.2826	-0.2162	1.800	-0.9739	-0.3228
	Erro padrão	0.05307	1.416	0.3475	0.1631	1.857	0.6725	0.3099
	p-valor	0.3793 ^{ns}	0.09929 ^{ns}	0.4230 ^{ns}	0.1963 ^{ns}	0.34146 ^{ns}	0.160527 ^{ns}	0.307 ^{ns}
Épocas de colheita 150	Estimativas	0.05595	-4.643	-1.0165	0.7099	10.242	1.3427	-0.2297
	Erro padrão	0.09471	2.520	0.6558	0.2893	3.272	1.3059	0.5942
	p-valor	0.5600 ^{ns}	0.07706 ^{ns}	0.1330 ^{ns}	0.0214 *	0.00446 **	0.352131 ^{ns}	0.702 ^{ns}

p-valor: valor de p do teste F à 5% de probabilidade: ns – diferenças não significativas, * significativo para $p \leq 0,05$, ** significativo para $p \leq 0,01$, *** significativo para $p \leq 0,001$; ACI- acidez titulável; Ph- potencial hidrogénico; ART- açúcares redutores; PA- produtividade de amido; PATR- produção de amido tonelada de raízes; PE- produtividade de etanol e PETR- produção de etanol tonelada de raízes.

Fonte: Da autora (2025).

A análise dos componentes de variância para as características avaliadas revelou diferenças importantes quanto a influência dos fatores genéticos e ambientais (Tabela 7). Para as características agronômicas avaliadas à produtividade total de raízes (PTR) e à produtividade de massa seca das raízes (PMSR) observou-se uma variância considerável da interação genótipo x ano de cultivo (σ^2_{gA}). Esse resultado demonstra forte influência do ambiente sobre desempenho das plantas, mas também com elevado erro experimental, o que pode comprometer a precisão da seleção. Já para a densidade das raízes (DEN), não teve contribuição dos componentes da variância.

Ao considerar os efeitos aleatórios apresentados na Tabela 8, observou-se diferenças na contribuição genética dos genótipos para as sete variáveis avaliadas. Para as características avaliadas na produção de etanol a acidez titulável (ACI), potencial hidrogénico (pH), açúcares redutores (ART) e produção de etanol por tonelada de raízes houve maior influência do erro (σ^2) e com níveis razoáveis da variância, indicando uma limitação para a seleção. Em contrapartida, para a produtividade de etanol (PE), observou-se a influência da interação genótipo x época de colheita. Para a produção de amido por tonelada de raízes (PATR) e produtividade de amido (PA) teve maior influência genética, indicando bom potencial para a seleção.

Tabela 7 - Componentes da variância para interação genótipo x ano (σ^2_{gA}), genótipo (σ^2_g), aninhado ano x bloco (σ^2_{Ab}) e do erro experimental (σ^2) em genótipos de batata-doce.

Componentes da variância	Características		
	PTR	PMSR	DEN
σ^2_{gA}	2.271	1.236	-
σ^2_g	-	-	4.919e-05
σ^2_{Ab}	-	-	-
σ^2	4.050	2.023	1.678e-04

PTR- produtividade total de raízes, PMSR - massa seca de raízes e DEN- densidade da raiz.

Fonte: Da autora (2025).

Tabela 8 - Efeitos aleatórios dos componentes da variância para a interação genótipo x época de colheita (σ^2_{gE}), variância do genótipo (σ^2_g), variância do bloco (σ^2_b) e variância do erro experimental (σ^2) em genótipos selecionados da batata-doce para a produção de etanol.

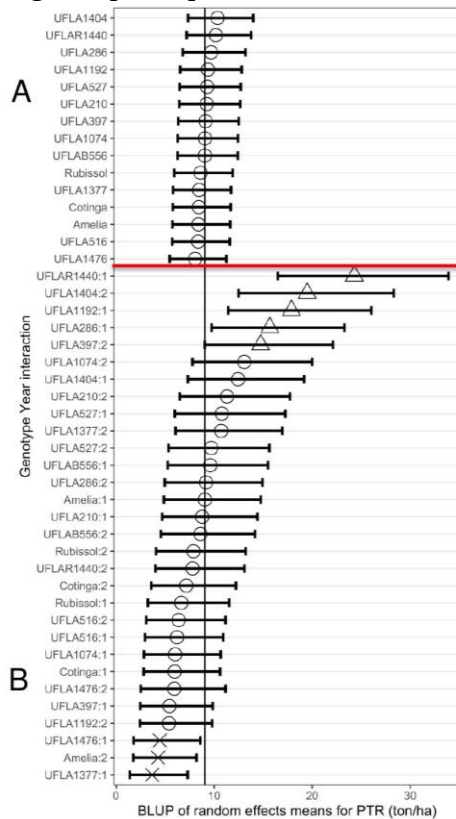
Componentes da variância	Caraterísticas						
	ACI	Ph	ART	PA	PATR	PE	PETR
σ^2_{gE}	-	-	-	-	-	0.9869	-
σ^2_g	0.04894	40.72	0.2515	0.6684	162.59	5.8322	0.08658
σ^2	0.06476	45.68	3.2711	0.5996	75.94	9.6424	2.71387

ACI- acidez titulável; pH- potencial hidrogénico; ART- açúcares redutores; PAR- produtividade de amido; PATR- produção de amido por tonelada de raízes; PE- produtividade de etanol e PETR- produção de etanol por tonelada de raízes.

Fonte: Da autora (2025).

Para a produtividade total de raízes, ao considerar os efeitos isolados dos genótipos, não foram observadas diferenças significativas entre as estimativas genotípicas considerando os dois anos de cultivo. Contudo, ao avaliar os anos de cultivo, verificou-se que, no verão, a cultivar UFLA R1440 e, os genótipos UFLA 1192 e UFLA 286, (UFLA R1440:1, UFLA1192:1 e UFLA 286) apresentaram as maiores estimativas BLUP significativas para o efeito da interação genótipo x ano de cultivo (Figura 3). Por outro lado, os genótipos UFLA 1404 e UFLA 397, sob o cultivo de inverno (UFLA 1404:2 e UFLA 397:2) destacaram-se com as maiores estimativas significativas para a interação genótipo x ano de cultivo. Em contraste, verificou-se que os genótipos UFLA1476:1, UFLA1377:1 sob o cultivo de verão e a cultivar Amelia:1 no inverno, apresentaram as menores estimativas BLUP significativas, sendo estatisticamente inferiores aos demais genótipos.

Figura 3 - Gráfico de valores das estimativas de médias BLUP sobre a produtividade total de raízes (PTR), considerando os efeitos isolados dos genótipos nos dois anos de cultivo e interação genótipo x épocas de cultivos em 15 genótipos avaliados.

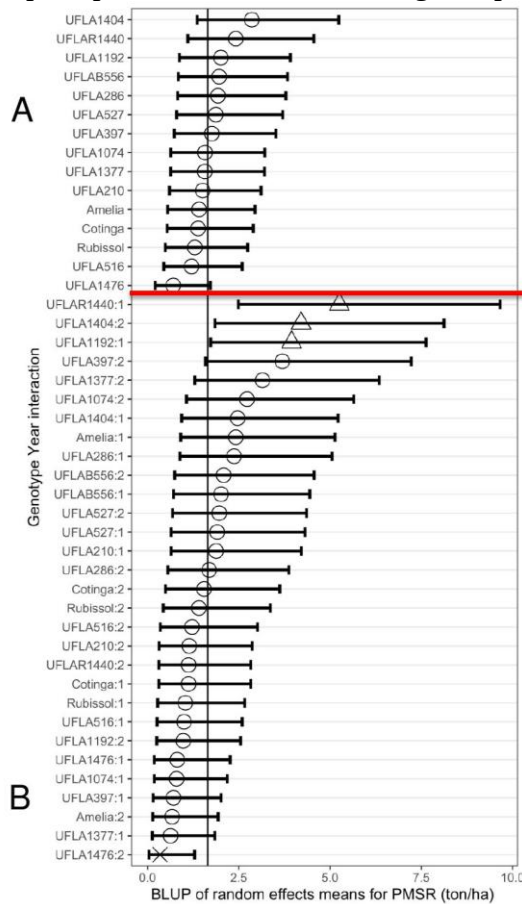


Observação: a letra A indica os efeitos BLUP de genótipos, e B interação genótipo x épocas de cultivos:1 - Verão e 2 - inverno.

Fonte: Da autora (2025).

A cultivar UFLA R1440:1 e os genótipos UFLA1192:1 e UFLA286:1 destacaram-se por apresentarem as maiores estimativas de BLUP para a produtividade de massa seca de raízes, considerando os efeitos da interação genótipo x ano de cultivo no verão (Figura 4), diferindo significativamente dos demais. Ademais, no cultivo de inverno, os genótipos UFLA1404:2 e UFLA 397:2 também apresentaram as maiores estimativas BLUP significativas em relação aos demais genótipos. Em contraste, os genótipos UFLA1377:1 e UFLA 1476:1, no verão, e a cultivar Amelia:2 e genótipo UFLA1476:2 sob o cultivo de inverno, apresentaram estimativas inferiores diferindo estatisticamente dos demais. Por outro lado, ao analisar os efeitos isolados dos genótipos nas duas épocas de cultivo (verão e inverno), não foram verificadas diferenças significativas.

Figura 4 - Gráfico dos intervalos de confiança do BLUP para a produtividade de massa seca de raízes (PMSR), dos efeitos isolados dos genótipos nos dois anos de cultivo e interação genótipos épocas de cultivos dos 15 genótipos avaliados de batata-doce.

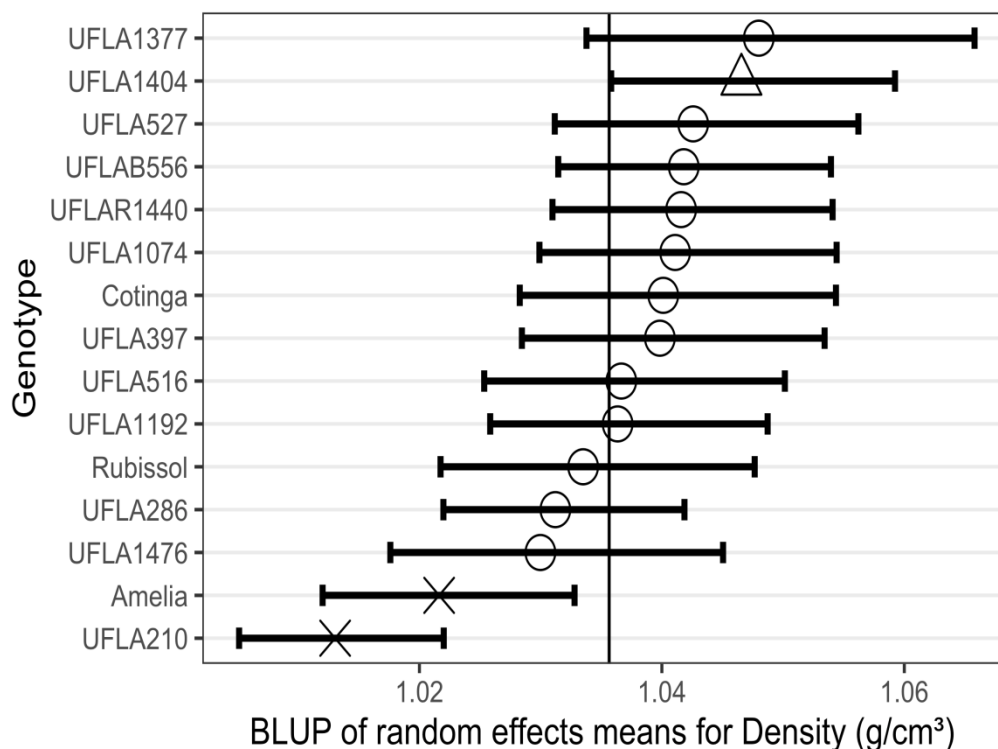


Observação: a letra A indica os efeitos BLUP de genótipos, e B interação genótipo x épocas de cultivos:1 - Verão e 2 - inverno.

Fonte: Da autora (2025).

O genótipo UFLA1404 apresentou a maior estimativa BLUP para a densidade da raiz (Figura 5), diferindo significativamente em relação aos outros genótipos. Em contrapartida, observou-se que o genótipo UFLA 210, juntamente com a cultivar BRS Amélia, foram estatisticamente inferiores aos demais genótipos, apresentando as menores estimativas BLUP significativas.

Figura 5 - Gráfico dos intervalos de confiança do BLUP para a variável densidade da raiz (DEN) dos 15 genótipos de batata-doce avaliados.

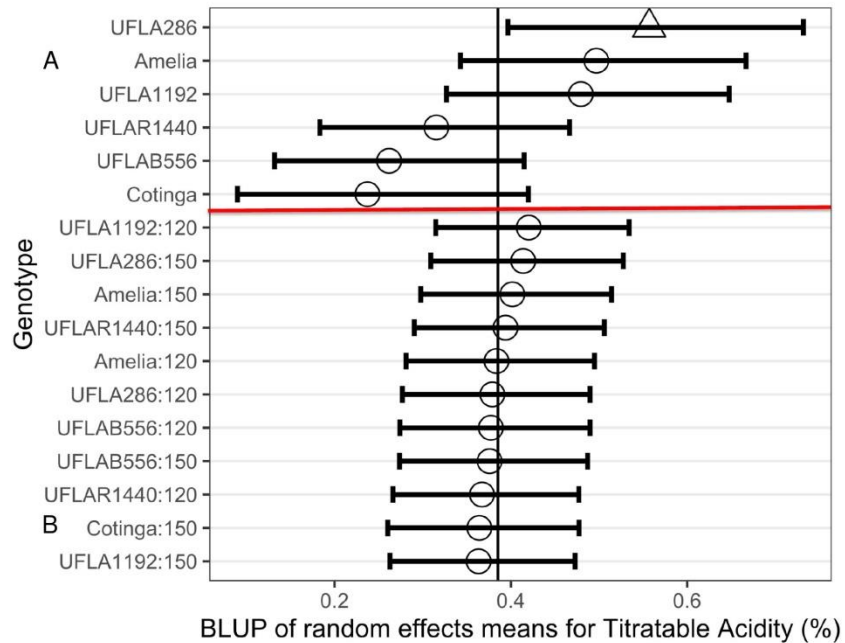


Fonte: Da autora (2025).

Analisando os dados dos genótipos selecionados para a produção de etanol, verificou-se que havia apenas uma observação da cultivar BRS-Cotinga aos 120 dias. Essa observação foi removida da análise estatística, ficando com apenas com as observações obtidas aos 150 dias. Após as avaliações agrônômicas foram selecionados os genótipos com potencial para a produção de etanol levando em consideração as características dos genótipos e interesse do programa de melhoramento da UFLA. Dos quinze genótipos avaliados, seis foram selecionados para a etapa da produção de etanol: cultivar UFLA R1440, cultivar UFLA B556, UFLA 286, UFLA 1192, BRS-Amélia e BRS-Cotinga. Vale ressaltar que, para a produção de etanol, foram consideradas duas épocas de colheita no cultivo de verão: 120 e 150 dias após o plantio.

Para a variável acidez titulável (ACI) (Figura 6), ao considerar os efeitos isolados de genótipos, o genótipo UFLA 286, destacou-se com as maiores estimativas BLUP significativas em relação aos demais genótipos. Quanto a interação genótipo x época de colheita não foi observada efeito significativo ao nível de 95%.

Figura 6 - Estimativas de valores BLUP referente aos efeitos isolados dos genótipos nas duas épocas de colheita e interação genótipo x épocas de colheita, sobre a acidez titulável (ACI) em genótipos de batata-doce selecionados para a produção de etanol.

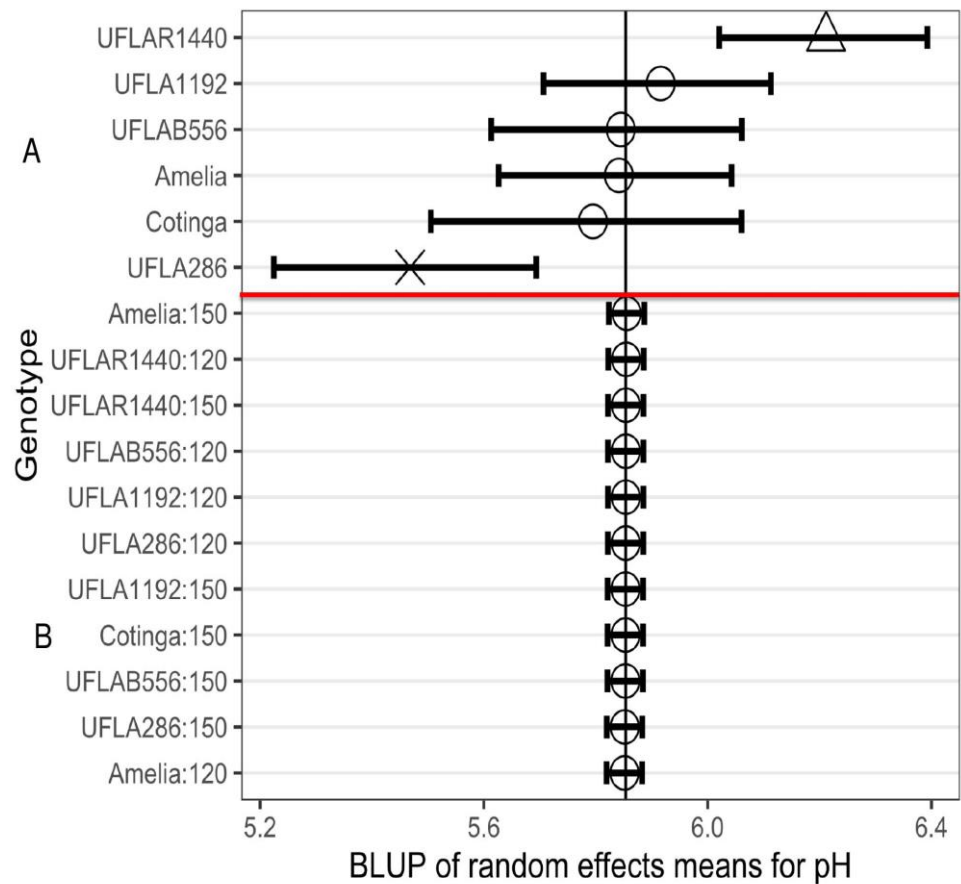


Observação: a letra A indica os efeitos de genótipos e B interação genótipo x épocas de colheita e a linha vermelha separa os dois gráficos apresentado no BLUP.

Fonte: Da autora (2025).

Considerando os efeitos isolados dos genótipos nas duas épocas de colheita sobre a característica pH (Figura 7), a cultivar UFLA R1440 destacou-se com maior estimativa BLUP. Além disso, a cultivar UFLA R1440 e o genótipo UFLA 286 diferiram significativamente dos demais, ao nível de 95%, sendo esta última, com menor estimativa BLUP para pH. Em contrapartida, o efeito da interação épocas de colheita e genótipos não foi estatisticamente significativa, demonstrando não haver diferença entre os genótipos nas diferentes épocas de colheita.

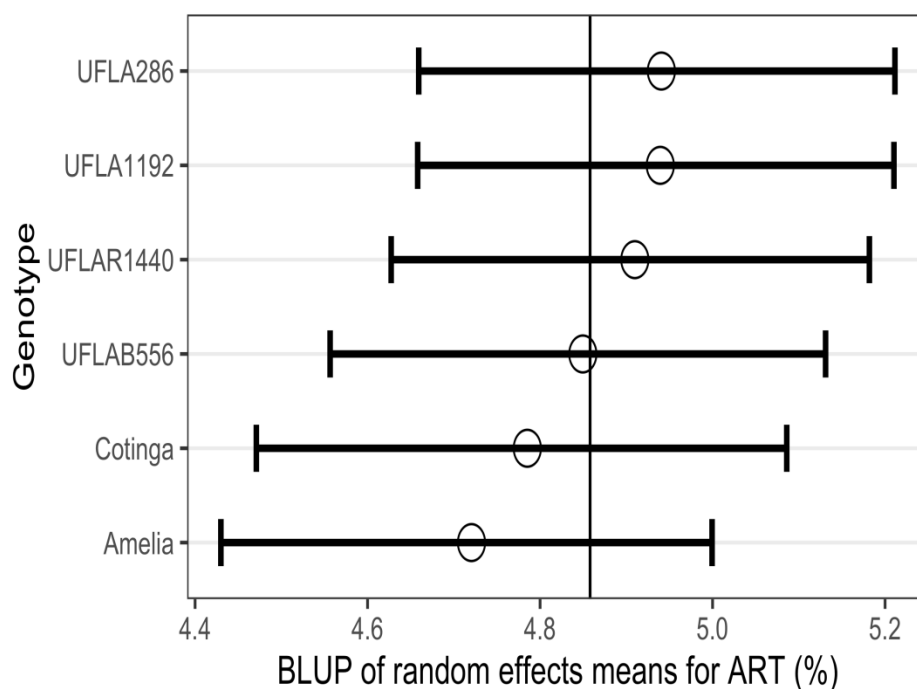
Figura 7 - Gráfico das estimativas de valores BLUP de efeitos isolados do genótipos nas duas épocas de colheita e interação genótipo x épocas de colheita para o potencial hidrogênico (pH) dos genótipos selecionados para a produção de etanol da batata-doce.



Observação: a letra A indica os efeitos de genótipos e B interação genótipo x épocas de colheita e a linha vermelha separa os dois gráficos apresentados no BLUP.
Fonte: Da autora (2025).

Analisando os efeitos tanto isolados dos genótipos nas duas épocas de colheita quanto a interação genótipo x época de colheita sobre os açúcares redutores (ART) (Figura 8), não foi verificada diferença estatística significativa ao nível de 95%.

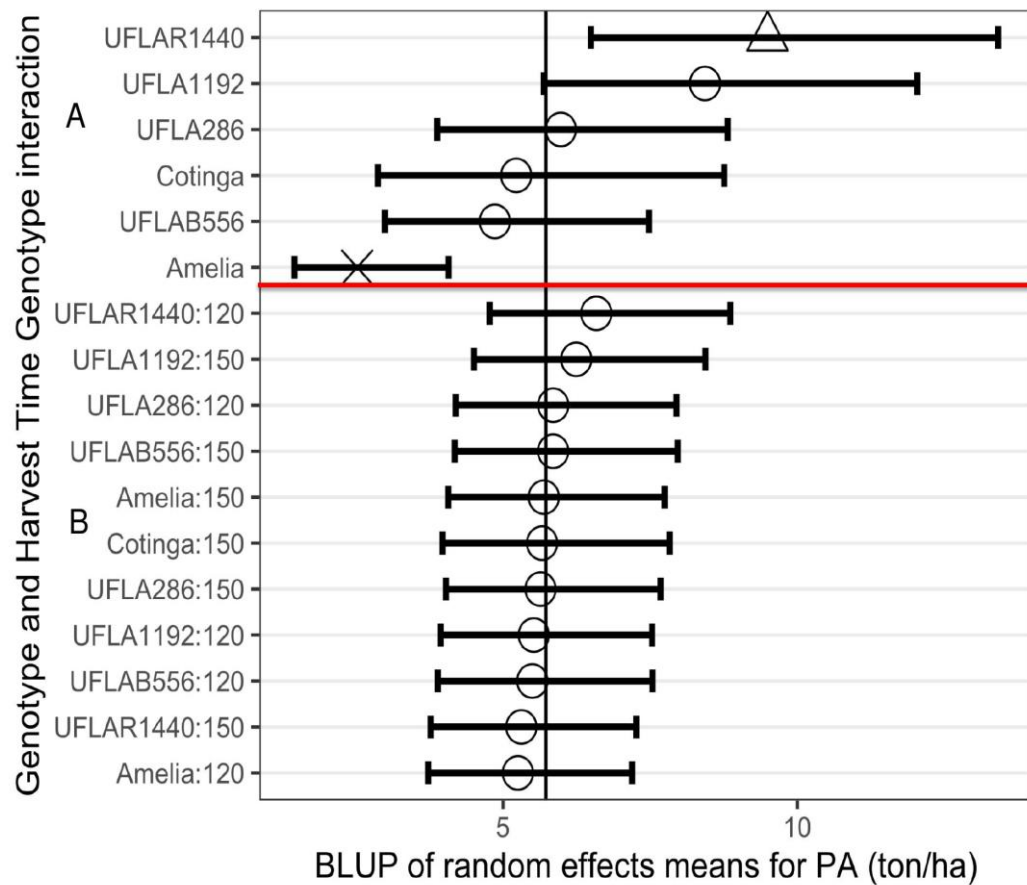
Figura 8 - Gráfico das estimativas de Valores BLUP para a característica de açúcares redutores totais (ART) dos genótipos seleccionados com o potencial para a produção de etanol da batata-doce.



Fonte: Da autora (2025).

Para a produtividade de amido, considerando o efeito isolado dos genótipos nas duas épocas de colheita, a cultivar UFLA R1440 e o genótipo UFLA 1192 apresentaram as maiores estimativas de BLUP (Figura 9). A cultivar Amélia apresentou a menor estimativa BLUP para esta característica. Além disso, ambas diferiram significativamente dos demais genótipos. No entanto, a interação genótipo x épocas de colheitas não apresentou diferenças estatisticamente significativas (Tabela 8).

Figura 9 - Gráfico dos intervalos de confiança das estimativas de valores BLUP para a variável produtividade de amido (PA) dos genótipos selecionados para a produção de etanol.

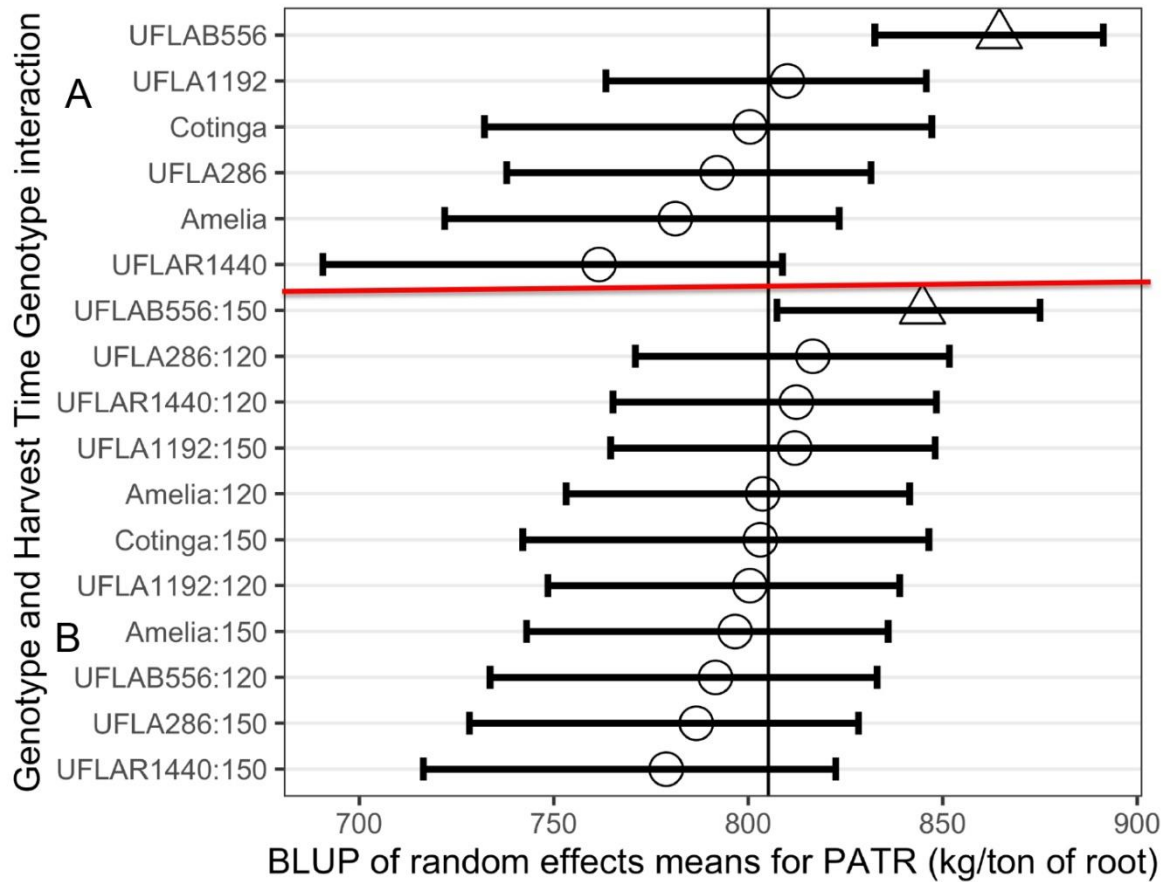


Observação: a letra A indica os efeitos de genótipos e B interação genótipo x épocas de colheita e a linha vermelha separa os dois gráficos apresentados no BLUP.

Fonte: Da autora (2025).

Avaliando a característica produção de amido por tonelada de raízes (PATR), tanto os efeitos isolados dos genótipos quanto a interação genótipo x época de colheita (Figura 10), a cultivar UFLA B556 destacou-se por apresentar as maiores estimativas de BLUP estatisticamente significativa, em relação aos demais.

Figura 10 - Gráfico das estimativas dos valores BLUP dos efeitos isolados e da interação genótipo x época de colheita para a produção de amido kg t^{-1} de massa seca de raízes (PATR) dos genótipos selecionados.

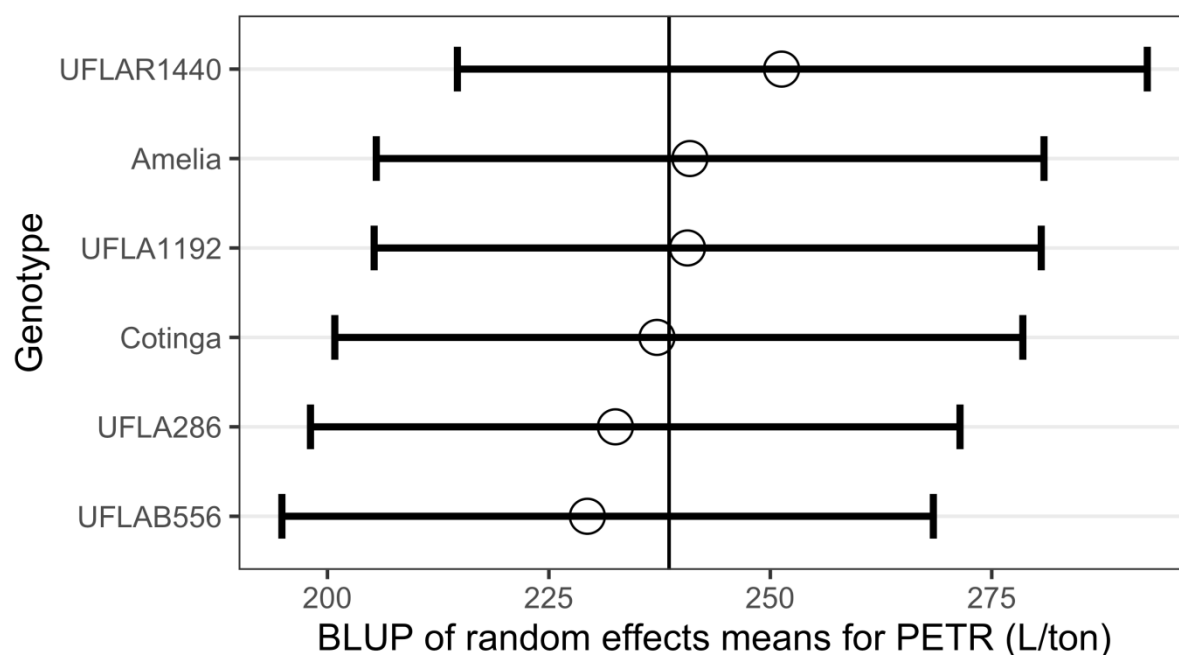


Observação: a letra A indica o efeito isolado dos genótipos e B interação genótipo x épocas de colheita e a linha vermelha separa os dois gráficos apresentado no BLUP.

Fonte: Da autora (2025).

Com relação a produção de etanol (PETR) (L ton^{-1}), analisando os efeitos isolados dos genótipos nas duas épocas de colheita e a interação genótipo x épocas de colheita (Figura 11), não foi observada diferenças significativas entre os genótipos. Ademais, não foi possível construir o gráfico da interação devido a falta do efeito aleatório (Tabela 8).

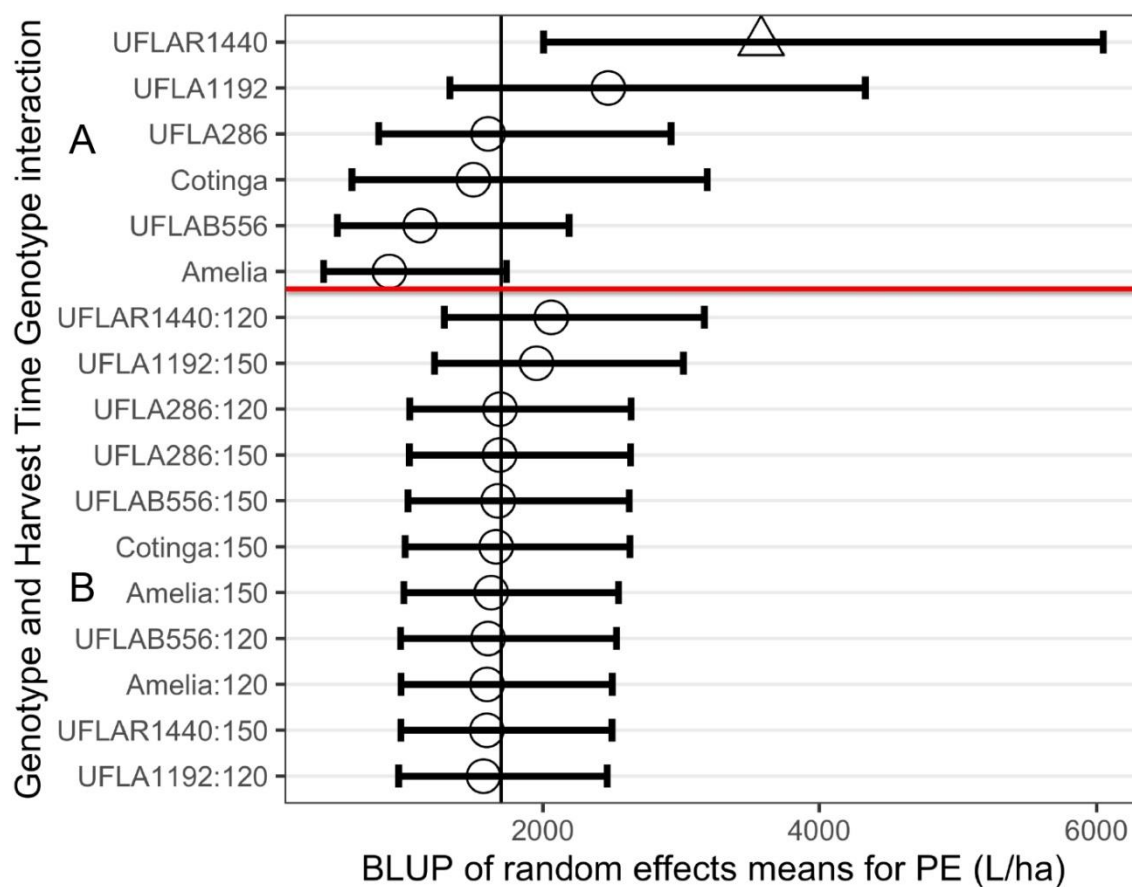
Figura 11 - Gráfico dos intervalos de confiança das estimativas de BLUP dos efeitos isolados dos genótipos e da interação genótipo x época de colheita para produção de etanol por tonelada de massa seca de raiz (PETR) dos seis genótipos selecionados.



Fonte: Da autora (2025).

Ao se considerar a produtividade de etanol (PE) ($L\ ha^{-1}$), do efeito isolado dos genótipos nas duas épocas de colheita, a cultivar UFLA R1440 destacou-se por apresentar as maiores estimativas significativas de BLUP (Figura 12). Por outro lado, a interação genótipo x época de colheitas não apresentou efeito estatisticamente significativo.

Figura 12 - Gráfico dos intervalos de confiança das estimativas de BLUP dos efeitos isolados dos genótipos e da interação genótipo x época de colheita para produtividade de etanol em L ha⁻¹ (PE) dos seis genótipos selecionados.



Observação: a letra A indica os efeitos de genótipos e B interação genótipo x épocas de colheita e a linha vermelha separa os dois gráficos apresentados no BLUP.

Fonte: Da autora (2025).

As correlações genotípicas e fenotípicas entre as 9 características avaliadas no trabalho estão descritas (Tabelas 9 e 10). Verifica-se correlações genotípicas e fenotípicas com significâncias entre diversas combinações de características. As combinações PMSR x PTR, PE x PTR, PA x PTR, PA X PMSR, PA x PE, ART x PTR e ART x PMSR, apresentaram correlações genotípicas significativas ($p < 0,01$) (Tabela 9). Ademais, todas as combinações observadas destacaram-se com estimativas de coeficiente de correlação de Pearson consideradas como forte com valores de 0,70 a 1,00. Por outro lado, nas correlações fenotípicas (Tabela 10), as combinações PMSR x PTR, PE x PTR, PE x PMSR, PETR x PE, PA x PTR, PA x PMSR, PA x PE, ART x DEN e ACI x pH destacaram-se com correlações significativas ($p < 0,01$). As combinações PMSR x PTR, PE x PTR, PE x PMSR, PETR x PE, PA x PTR, PA x PMSR e PA x PE apresentaram estimativas de r considerada forte, enquanto as demais combinações demonstraram estimativas de coeficiente considerada moderada com valores entre 0,30 a 0,70.

Na Tabela 11 são apresentadas as estimativas do potencial produtivo de etanol (L ha^{-1}) em função da produtividade das raízes da cultivar UFLA R1440 aos 120 dias. A produtividade mediana observada foi de $43,19 \text{ t ha}^{-1}$ (Apêndice H, Tabela 18), resultando em 2.685 L ha^{-1} de etanol (Apêndice F, Tabela 16). Ainda nessa mesma época, a produção máxima obtida foi de $52,78 \text{ t ha}^{-1}$, correspondendo a $4457,24 \text{ L ha}^{-1}$ de etanol (Apêndice F, Tabela 16). Com base nessa relação, estimou-se que aumentos na produtividade de raízes resultariam em incrementos proporcionais na produção de etanol, alcançando $5.895,22 \text{ L ha}^{-1}$ e $7.579,58$, para produtividade de 70 t ha^{-1} e 90 t ha^{-1} de raízes, respectivamente.

Tabela 9 - Correlações genotípicas acima e suas significâncias abaixo da diagonal para 10 variáveis avaliadas em 15 genótipos batata-doce.

Correlações Genotípicas										
	PTR	PMSR	DEN	PE	PETR	PA	PATR	pH	ART	ACI
PTR	1	0,946575	0,398795	0,801569	0,364291	0,817732	-0,22504	0,299133	0,867935	0,172011
PMSR	0,0042***	1	0,510432	0,757126	0,316698	0,807489	0,016602	0,444603	0,824473	0,027202
DEN	0,4335	0,3008	1	0,537429	0,008864	0,703221	0,366609	0,37794	0,462444	-0,74292
PE	0,0552*	0,0813	0,2715	1	0,688183	0,940811	-0,43405	0,593712	0,708203	-0,07489
PETR	0,4777	0,5408	0,9867	0,1307	1	0,408452	-0,75116	0,792258	0,049045	-0,00746
PA	0,0468**	0,052*	0,119	0,0052*	0,4214	1	-0,15635	0,425565	0,852541	-0,13287
PATR	0,6681	0,9751	0,4747	0,3898	0,0852	0,7674	1	-0,20124	-0,00109	-0,36443
pH	0,5647	0,377	0,4601	0,2141	0,0603	0,4002	0,7022	1	0,005315	-0,4327
ART	0,025**	0,0435**	0,3558	0,1153	0,9265	0,031**	0,9984	0,992	1	0,24408
ACI	0,7445	0,9592	0,0906	0,8879	0,9888	0,8019	0,4776	0,3915	0,6412	1

p-value: valor de p do teste F à 5% de probabilidade: ns - diferenças não significativas, * significativo para $p \leq 0,05$, ** significativo para $p \leq 0,01$, *** significativo para $p \leq 0,001$. Produtividade total de raízes (PTR); Produtividade de massa seca das raízes (PMSR); densidade de raízes (DEN); Produtividade de etanol (PE); Produtividade de etanol toneladas de raízes; Produção de amido (PA); Produtividade de amido kg ha^{-1} (PETR); Potencial hidrogénico (pH); Açúcares redutores (ART) e Acidez titulável (ACI).

Fonte: Da autora (2025).

Tabela 10 - Correlações fenotípicas acima e suas significâncias abaixo da diagonal para 10 variáveis avaliadas de 15 genótipos batata-doce.

Correlações Fenotípicas										
	PTR	PMSR	DEN	PE	PETR	PA	PATR	pH	ART	ACI
PTR	1	0,96307	0,102732	0,778758	0,321994	0,913492	0,000594	0,174581	0,219651	-0,09482
PMSR	0***	1	0,124876	0,855159	0,36483	0,993032	0,12298	0,272523	0,132214	-0,22307
DEN	0,2079	0,1253	1	0,088704	-0,03168	0,095962	-0,03811	0,166649	0,39284	-0,10856
PE	0***	0***	0,6665	1	0,742428	0,82674	-0,07092	0,290895	0,179564	-0,24435
PETR	0,0723	0,0401	0,8779	0***	1	0,323091	-0,29327	0,18044	0,247193	-0,1713
PA	0***	0***	0,641	0***	0,0713	1	0,226055	0,230585	0,110738	-0,2468
PATR	0,9974	0,5025	0,8534	0,6997	0,1033	0,2135	1	-0,25941	-0,18482	-0,24694
pH	0,3392	0,1313	0,4158	0,1063	0,323	0,2042	0,1516	1	0,109563	-0,35049
ART	0,2271	0,4707	0,0471**	0,3254	0,1726	0,5463	0,3112	0,5506	1	0,211122
ACI	0,6057	0,2197	0,5976	0,1777	0,3485	0,1733	0,173	0,0492**	0,2461	1

p-value: valor de p do teste F à 5% de probabilidade: ns - diferenças não significativas, * significativo para $p \leq 0,05$, ** significativo para $p \leq 0,01$, *** significativo para $p \leq 0,001$. Produtividade total de raízes (PTR); Produtividade de massa seca das raízes (PMSR); densidade de raízes (DEN); Produtividade de etanol (PE); Produtividade de etanol toneladas de raízes; Produção de amido (PA); Produtividade de amido kg ha^{-1} (PETR); Potencial hidrogénico (pH); Açúcares redutores (ART) e Acidez titulável (ACI).

Fonte: Da autora (2025).

Tabela 11 - Potencial produtivo de raízes da batata-doce e potencial produtivo de etanol da cultivar UFLA R1440 no cultivo de verão (1) com colheita aos 120 dias após o plantio.

Potencial produtivo de raízes (t ha ⁻¹)		Potencial produtivo de etanol (L ha ⁻¹)
Produtividade de 43,19 (dados da		5.105,84
Produtividade Mediana, Tabelas 16 e 18)		
Produtividade de 52,78 (dados da		8.473,84
Produtividade máxima, Tabelas 16 e 18)		
Produtividade de 70 t ha ⁻¹		11.238,57
Produtividade de 90 ton		14.449,52

Fonte: Da autora (2025).

5 DISCUSSÃO

A significância do modelo linear nos efeitos fixos das épocas de colheita para características PTR, PMSR (Tabela 5), reforça que o aumento no número de dias no ciclo está diretamente relacionado ao incremento nos valores da produtividade total de raízes e produtividade de massa seca de raízes. Esse comportamento sugere que, à medida que se estende a época de colheita das raízes, há um ganho contínuo nos valores destas características. Isso já foi relatado em outras pesquisas, como estudos conduzidos por Queiroga *et al.* (2007) e Andrade *et al.* (2020), os quais verificaram incremento nas variáveis produtivas em função do aumento do ciclo da cultura. No entanto, embora esse padrão linear aponte vantagens com ciclos mais longos, é importante considerar que existe um limite prático para esse incremento. Isso porque há uma demanda agrônômica e comercial crescente por maior precocidade na cultura da batata-doce, visando a redução do tempo de cultivo e o aumento da eficiência produtiva no campo (Coelho *et al.*, 2022).

A ausência de significância do modelo linear nos efeitos fixos no número de plantas colhidas e das épocas de colheita para as características ACI, pH, ART, PATR, PA, PETR e PE (Tabela 6), sugere uma estabilidade dos clones avaliados quanto as características importantes para a produção de etanol, mesmo com o avanço das épocas de colheitas. Esse comportamento observado é importante em programas de melhoramento, pois permite identificar ou recomendar genótipos com um bom desempenho produtivo e confiável, independentemente do número de plantas colhidas e da época de colheita para a produção de etanol. Por outro lado, as estimativas positivas observadas nos efeitos fixos da época mostram uma tendência favorável, quando o objetivo é a maximização da produção de etanol, isto porque demonstram possível aumento da produtividade de etanol com colheitas mais tardias, o que é relevante para as indústrias bioenergéticas e para a seleção do material eficiente.

A diferença observada nos componentes da variância dos caracteres agrônômicos PTR, PMSR e DEN (Tabela 7) impacta diretamente no desempenho da cultura para a produção de etanol, uma vez que indica como os fatores genéticos e ambientais contribuem para expressão das características analisadas. Esses resultados evidenciam que as características respondem de forma diferente frente aos efeitos aleatórios, o que destaca a importância de considerar essas diferenças na definição de estratégias de melhoramento genético, visando maior eficiência na seleção de genótipos adaptados e com potencial bioenergético.

A diferença nos componentes da variância dos caracteres industriais ACI, pH, ART, PATR, PA, PETR e PE (Tabela 8) sugere que existe pouca variabilidade genética entre os genótipos quanto ao potencial bioenergético, mas que também as características avaliadas são fortemente influenciadas pelos fatores ambientais. Esse comportamento indica limitação na seleção dos clones superiores com base apenas nos fatores ambientais, o que reforça a necessidade de adotar estratégias de melhoramento mais robustas e adaptadas às condições ambientais.

De forma geral, as significâncias nas correlações genotípicas observadas (Tabela 9), indicam relações genéticas coerentes entre as variáveis avaliadas, o que comprova potencial para a seleção de forma indireta em programas de melhoramento visando a produção de etanol. As correlações genotípicas positivas das combinações PMSR x PTR, PE x PTR, PA x PTR, PA x PMSR, PA x PE, ART x PTR e ART x PMSR demonstram alta magnitude sugerindo que, é possível realizar a seleção indireta, por meio de avaliação de carácter de mais fácil determinação, o que pode estar relacionado à ligação génica. Isso contribui para maior eficiência e redução de tempo de avaliação no processo seletivo.

Por outro lado, as correlações fenotípicas significativas (Tabela 10), demonstram a influência conjunta de fatores genéticos e ambientais em certas características, os quais podem ser melhoradas conjuntamente de modo a facilitar o melhoramento genético da batata-doce para fins bioenergéticos. Dentre as combinações avaliadas de correlações fenotípicas, destacam-se PMSR x PTR, PE x PTR, PE x PMSR, PETR x PE, PA x PTR, PA x PMSR e PA x PE, que apresentaram maiores estimativas, indicando que é possível selecionar genótipos com maior eficiência, priorizando características como produtividade total de raízes e produtividade de massa seca de raízes, ambas fortemente associadas a produção de etanol. Essa informação é relevante, pois contribui para otimização do processo de melhoramento genético, tornando-o mais rápido e económico. As correlações fenotípicas, PETR x PMSR, ART x DEN e ACI x pH, demonstraram uma correlação moderada, indicando que a seleção dos clones com base nessas características é importante, mas que é necessário complementar com as análises genotípicas ou teste em diferentes ambientes para confirmar a sua coerência nas decisões de seleção em programas de melhoramento.

Os dados apresentados na Tabela 11 indicam o potencial produtivo de etanol considerando o potencial produtivo das raízes de batata-doce. Com base na produtividade máxima observada neste trabalho de 43,19 t ha⁻¹ para a cultivar UFLA R1440 aos 120 dias (Apêndice H, Tabela 18), que resultou em 5105,84 L ha⁻¹ de etanol (Apêndice F, Tabela 16), apresenta-se como referência para as projecções superiores de rendimento de etanol. Os valores

das estimativas baseadas nessa produção demonstram que a cultivar UFLA R1440 produzindo o seu máximo de 52,78 t ha⁻¹, conforme dados descritos na (Apêndice F, Tabela 16), chegou a produzir 8473,84 L t ha⁻¹, o que mostra que com aumento da produtividade de raízes para, 70 e 90 t ha⁻¹, o que não é difícil do ponto de vista técnico, pode elevar a produtividade de etanol para 11238,5 e 14449,52 L ha⁻¹, respectivamente. Essas projeções reforçam a importância de selecionar materiais mais produtivas e utilizar técnicas agrônomicas que permitam o aumento da produtividade de massa seca das raízes. Estudos como os de Andrade Júnior *et al.* (2020) e Silveira *et al.* (2022), ressaltam que a produtividade de massa seca de raízes é uma das características que reflete o desempenho agrônomico e viabilidade econômica da produção do etanol, evidenciando o papel estratégico da cultura em sistema de produção bioenergética. Ademais, a alta conversão por tonelada verificada nesse estudo, demonstra um bom aproveitamento dos açúcares fermentáveis presentes nas raízes, o que contribui para o potencial dessa cultura como alternativa energética e sustentável.

A caracterização e seleção de genótipos de batata-doce para a produção de etanol em função de diferentes épocas de colheita é essencial para impulsionar o setor bioenergético por meio de variedades com maior rendimento etanólico (Silva *et al.*, 2022; Brito *et al.*, 2024). Nesse contexto, a produtividade de raízes, produtividade de massa seca, acidez titulável, pH, açúcares redutores, produtividade de amido, produção de amido, produtividade de etanol e a produção de etanol são características agrônomicas e industriais determinantes, pois influenciam diretamente o rendimento e a eficiência da conversão da biomassa em etanol (Dangler *et al.*, 1984; Suarez *et al.*, 2016; Viana *et al.*, 2018; Donato *et al.*, 2020; Castro *et al.*, 2022; Costa *et al.*, 2022). A avaliação integrada dessas variáveis contribui para a identificação de genótipos superiores, alinhados às demandas da cadeia produtiva do etanol.

A produtividade de raízes da batata-doce é uma das características que reflete o desempenho agrônomico e viabilidade econômica da produção do etanol. Ela pode ser influenciada por fatores ambientais, manejo da cultura e fatores genéticos (Andrade Júnior *et al.*, 2020; Silveira *et al.*, 2022). No presente estudo, a produtividade total de raízes não foi influenciada, ao se considerar o efeito isolado dos genótipos com valores medianos entre 4,40 a 21,39 ton ha⁻¹ (Apêndices E, Tabela 14). Analisando os efeitos da interação genótipo x anos de cultivo, os resultados do estudo apontaram para uma produtividade mediana de raízes totais que variou de 1,74 a 30,55 t ha⁻¹ (Apêndice G, Tabela 17) ao longo dos dois anos de cultivo. Estes valores demonstram o potencial destes genótipos avaliados, uma vez que parte deles supera a produtividade nacional da batata-doce (14,5 t ha⁻¹) (Ibge, 2023).

Os anos de cultivo influenciaram significativamente a produtividade total de raízes,

com destaque para a cultivar UFLA R1440 e os genótipos UFLA 1192 e UFLA 286, que, no cultivo de verão, apresentaram produtividades superiores à média geral do estudo, variando de 5 a 13 t ha⁻¹ acima dela (Apêndice D, Tabela 13), alcançando 34,38; 26,12 e 25,38 t ha⁻¹, respectivamente (Apêndice G, Tabela 17). Resultados semelhantes foram encontrados por Ferreira e Resende (2020) que, em experimento realizado nas épocas de inverno e verão, registraram produtividade entre 11,6 a 35,9 t ha⁻¹, com melhor desempenho no verão. De forma semelhante, Ferreira *et al.* (2024) avaliaram genótipos em duas épocas de plantio no Submédio do Vale do São Francisco, obtendo produtividade média de 28,69 t ha⁻¹. Vale ressaltar, que os incrementos de produtividade observada nesses genótipos UFLA 1192 e UFLA 286 e a cultivar UFLA R1440 podem ser atribuídos tanto às suas características genéticas quanto à boa adaptabilidade às condições de cultivo no verão. Em estudos realizados por Silva *et al.* (2023) e Costa *et al.* (2022), a cultivar UFLA R1440 e o genótipo UFLA 1192 destacaram-se por apresentarem múltiplas aptidões, como para consumo humano, alimentação animal e produção de etanol, confirmando assim, o potencial agrônômico e tecnológico destes genótipos para a produção de etanol. Ademais, no cultivo de inverno, os genótipos UFLA 1404 e UFLA 397 destacaram-se significativamente com maiores produtividades de raízes, com valores que variam entre 25,12 e 15,05 t ha⁻¹, respectivamente, (Apêndice G, Tabela 17). Esse desempenho observado nesses genótipos demonstra uma boa adaptação a condições ambientais menos favoráveis, assegurando maior disponibilidade de biomassa para a produção de etanol, o que contribui para eficiência produtiva e regular no fornecimento da matéria-prima. Esses resultados corroboram os reportados na literatura por Costa *et al.* (2022), Santos *et al.* (2023) e Silva *et al.* (2023), que também observaram altas produtividades de raízes em cultivos conduzidos no inverno variando entre 30,302 a 47,99 t ha⁻¹.

Considerando o efeito isolado dos genótipos nos dois anos de cultivo, não foi observado efeito significativo sobre a produtividade de massa seca das raízes, apresentando produtividade mediana entre 1,32 a 6,76 ton ha⁻¹ (Apêndices E, Tabela 14). A cultivar UFLA R1440 e os genótipos UFLA 1192 e UFLA 286 destacaram-se quanto à produtividade de massa seca de raízes no cultivo de verão, apresentando médias entre 11,15, 8,55 e 5,55 t ha⁻¹, respectivamente (Apêndice G, Tabela 17), superando três vezes acima da média geral dos genótipos que foi de 2,0 t ha⁻¹, respectivamente (Apêndice D, Tabela 13). Ademais, os genótipos UFLA 1404 e UFLA 397, quando cultivado no inverno apresentaram maior produtividade, com médias entre 7,12 e 4,48 t ha⁻¹ (Apêndice G, Tabela 17). Esse desempenho foi evidenciado quando considerado os efeitos da interação genótipo x ano do

cultivo, o qual diferiu significativamente sobre a produtividade de massa seca de raízes. No entanto, a média geral da produtividade de massa seca observada está abaixo às reportadas por Silva *et al.* (2023), Costa *et al.* (2022) e Andrade Júnior *et al.* (2018), que encontraram valores entre 7,63 a 8,93 t ha⁻¹. Essa discrepância pode estar associada aos fatores genéticos e às variações nas condições ambientais do campo experimental estudado (Azevedo *et al.*, 2015). É importante destacar, que a cultivar UFLA R1440 já foi reconhecida na literatura por sua múltipla aptidão, conforme estudo de Silva *et al.* (2023), o que reforça seu potencial etanólico. No entanto, o alto desempenho dos genótipos destacados para essa característica está diretamente ligado a alta produtividade total de raízes e amido, o que sugere maior potencial bioenergético e, consequentemente, maior produtividade de etanol.

A densidade da raiz foi influenciada pelos genótipos com média geral de 1,03 g cm⁻³. O genótipo UFLA 1404 apresentou densidade superior à média geral de 1,05 g cm⁻³ (Apêndices E, Tabela 14), indicando raízes mais compactas, com possíveis altos teores de matéria seca e amido. Essas características são desejáveis para a produção de etanol, pois favorecem maior rendimento fermentativo por volume processado (Franco; Franco, 2021). Embora o valor médio observado seja inferior, ele se aproxima dos valores relatados por Sousa *et al.* (2015) e Lima (2001), que variaram entre 1,13 g cm⁻³ e 1,47 g cm⁻³ em genótipos da batata-doce. No entanto, a pouca discrepância observada neste estudo pode ser atribuída a diferenças genética entre os genótipos avaliados, época de cultivo e às condições edafoclimáticas (Lima, 2001).

É importante destacar, que a densidade das raízes é um indicador complementar de qualidade da biomassa, influenciando diretamente o acúmulo de amido, teores de matéria seca e a eficiência industrial no processo de produção de etanol (Franco; Franco, 2022). De acordo com Franco e Franco (2021), raízes com menor densidade da batata-doce resultam em menor concentração de amido e matéria seca, o que reduz o rendimento etanólico. Apesar da relevância desta característica, ainda há carência de estudos focados na densidade da raiz da batata-doce para a produção de etanol. Por tanto, estudos futuros são necessários para identificar genótipos com raízes mais densas e com potencial para a produção de etanol.

Para acidez titulável, o efeito isolado dos genótipos foi significativo, destacando-se o genótipo UFLA 286, que apresentou média superior à geral de 0,38% (Apêndice D, Tabela 13), valor este acima do indicado na literatura. Segundo Amorim (2005) a percentagem de acidez deve ser inferior a 0,30%, o que é ideal na eficiência da atividade das leveduras. Os resultados obtidos neste estudo são superiores aos encontrados por Vahl *et al.* (2023) e Lucas *et al.* (2022), os quais relataram valores entre 0,22% a 0,3%. A superioridade observada

nesses genótipos pode estar relacionada a fatores fisiológicos ou ambientais que influenciam a composição química das raízes durante o ciclo produtivo (Vahl *et al.*, 2023). A acidez titulável é um indicador importante para garantir a qualidade do mosto e a eficiência na fermentação, além de influenciar na estabilidade microbiológica e a conversão de carboidrato em etanol (Silva *et al.*, 2021; Oliveira *et al.* 2020; Rutz *et al.* 2016).

É válido destacar que, a superioridade observada nesse genótipo UFLA 286, pode estar associada a elevados teores de betacarotenos e compostos. Esses compostos intensificam a formação de ácidos orgânicos durante a fermentação, o que aumenta a acidez do mosto (Santos Júnior *et al.*, 2025; Secchi, 2003). Diante disso, pode haver inibição a atividade das leveduras e reduzir eficiência fermentativa e o rendimento de etanol (Colombi *et al.*, 2017).

O pH dos genótipos avaliados variou significativamente entre os genótipos, com valor médio de pH de 5,85 (Apêndices E, Tabela 13). A cultivar UFLA R1440, destacou-se com valor superior à média geral de 6,32 (Apêndices E, Tabela 15), indicando limitação bioenergética. Valores semelhantes de pH foram observados em estudos de Vahl *et al.* (2023), Pagani (2017) e Benedeti *et al.* (2017), que registaram valores entre 4,0 a 6,3 em genótipos de batata-doce. De acordo com Souza (2009), para a otimização da ação enzimática e do processo fermentativo, o pH deve estar na faixa de 4,0 a 5,0. Neste estudo, o alto pH observado na cultivar UFLA R1440 indica que o processo fermentativo e a concentração alcoólica poderão sofrer limitações em função dos altos valores. Entretanto, Yang *et al.* (2016) destacaram que genótipos com pH elevado não precisam ser descartados para fins bioenergéticos, uma vez que é possível ajustar o pH do mosto por meio da adição de ácidos, como o ácido sulfúrico e o ácido clorídrico. Essa correção resulta na otimização da atividade enzimática e contribui para o aumento da eficiência do processo fermentativo e na produtividade de etanol.

A cultivar UFLA R1440 é uma cultivar de polpa roxa intensa (Andrade Júnior *et al.*, 2024). Logo, o comportamento observado para o pH neste estudo pode estar associado a altos teores de antocianina, menor teor de ácidos orgânicos e maior capacidade tampão, fatores intrínsecos ao genótipo que afetam diretamente a acidez do mosto e a eficiência do processo fermentativo (Vahl *et al.*, 2023). Rodrigues *et al.* (2023), ao caracterizarem genótipos do banco de germoplasma da UFLA na qual está inserida a cultivar em destaque, observaram valor de pH elevado em genótipos de batata-doce com polpa roxa, confirmando a influência dos compostos fenólicos na variação do pH. Analisando os teores de açúcares redutores, tanto os genótipos quanto a interação genótipo x épocas de colheita não diferiram entre si e com média de 4,86% (Apêndice D, Tabela 13).

No que diz respeito à produtividade de amido, os genótipos apresentaram média variando de 2,88 a 10,34 t ha⁻¹ (Apêndices E, Tabela 15), com destaque para a cultivar UFLA R1440 e o genótipo UFLA 1192, que alcançaram 10,34 e 9,85 t ha⁻¹, respectivamente (Apêndices E, Tabela 15). Esses valores superam aos encontrados por Oliveira *et al.* (2017), Viana *et al.* (2018) e Waluyo *et al.* (2015), que identificaram clones promissores de batata-doce com produtividade de amido entre 0,9 a 7,4 ton ha⁻¹ para fins bioetanólico. Os resultados obtidos neste estudo evidenciam que os genótipos avaliados apresentam potencial bioetanol, uma vez que a literatura relata que genótipos com alta produtividade de amido produzem maior quantidade de etanol, considerando que esse componente é o principal na conversão da biomassa em etanol (Schweinberger *et al.*, 2016). É importante destacar, que a cultivar UFLA R1440, que apresentou alta produtividade neste estudo, já foi reconhecida na literatura por Silva *et al.* (2023) como promissora para esta característica, sendo, portanto, indicada para a produção de etanol. Sem dúvida, fica evidente que o seu potencial bioenergético é indicado para programas de melhoramento voltados às indústrias energéticas. Ademais, importa destacar, que a cultivar BRS-Amélia registrada pela Embrapa, embora reconhecida na literatura pela alta produtividade de raízes, característica que está relacionada a alto teor de amido, neste estudo, apresentou baixa produtividade de amido com média de 2,88 t ha⁻¹. Esse desempenho inferior indica limitação de seu potencial bioenergético nas condições avaliadas.

No que tange a produção de amido kg t⁻¹, tanto para os efeitos isolados dos genótipos quanto para interação genótipo x época de colheita, a cultivar UFLA B556 destacou-se com média de produção entre 827,89 a 920,81 kg ton⁻¹ (Apêndices E, Tabela 15), tendo sido superior a média geral de 805,19 kg t⁻¹ (Apêndice D, Tabela 13). Este resultado demonstra potencial bioenergética desta cultivar. Maiores resultados foram observados em estudo de Ferreira Dias *et al.* (2025), que obtiveram 846,05 kg t⁻¹ em genótipos avaliados para a produção de etanol a partir da batata-doce. A discrepância pode ser atribuída a diferentes genótipos utilizados neste estudo, manejo da cultura, condições edafoclimática e a época de colheita, considerando que os autores mencionados realizaram suas avaliações entre 120 a 180 dias. Por outro lado, Momenté *et al.* (2025) e Silva *et al.* (2023), relataram resultados inferiores aos encontrados nesse estudo, variando de 245,2 a 632,28 kg t⁻¹.

É válido destacar, que em estudo realizado por Silva *et al.* (2023), a cultivar UFLA B556, de polpa com coloração branca, também se destacou com alta produção de amido entre os genótipos avaliados, resultado semelhante ao observado neste estudo. Além disso, há registros na literatura de que raízes com polpa de coloração branca possuem em sua composição química teores de amidos favoráveis à produção de etanol (Vieira, 2019). Quando

comparada a outras culturas energéticas como o milho, cuja média de produção de amido varia entre 600 a 700 kg t⁻¹ (Patzek, 2006), a cultivar UFLA B556 alcançou uma produção mediana de 893,75 kg t⁻¹ demonstrando seu potencial alternativo para a produção de etanol, sendo indicada para programas de melhoramento voltados à matriz energética renovável.

Analizando a interação genótipo x época colheita para a produção de amido (kg t⁻¹), observa-se que a cultivar UFLA B556 apresentou maior produção de amido aos 150 dias, com médias variando entre 893,75 a 920,81 kg t⁻¹ (Apêndice F, Tabela 16). Esse resultado supera tanto a média dos genótipos avaliados na mesma época por Ferreira Dias *et al.* (2025), de 804,6 kg t⁻¹, quanto a média do genótipo de destaque no estudo desses autores. Essa superioridade pode estar relacionada ao comportamento fisiológico da cultivar, uma vez que, segundo Braun *et al.* (2010), materiais amiláceos, ao atingirem a maturação fisiológica, apresentam grânulos de amido e quantidades variáveis desses açúcares, dependendo das condições ambientais de cultivo, características genótípicas e suas interações. Também vale mencionar, que a cultivar UFLA B556 atingiu seu pico de acúmulo de amido aos 150 dias, refletindo um pico tardio de deposição desse componente nas raízes. Todavia, essa informação é agronomicamente relevante, pois orienta a época ideal da colheita, permitindo maior eficiência na conversão do amido em etanol e, conseqüentemente, otimizando o rendimento industrial (Solano Mendoza *et al.*, 2017).

Para a produção de etanol em litros por tonelada de raízes (L t⁻¹), considerando tanto os efeitos isolados dos genótipos quanto a interação genótipo x épocas de colheitas, os genótipos não diferiram significativamente entre si, apresentando uma média de 238,57 L t⁻¹ de massa seca de raízes (Apêndice D, Tabela 13). Considerando a produtividade de etanol (L ha⁻¹) os efeitos isolados de genótipos nas duas épocas de colheita, diferiram estatisticamente, apresentando valores medianas que variaram entre 582,6 a 4045,92 L ha⁻¹ (Apêndice D, Tabela 15). A cultivar UFLA R1440 destacou-se com maior produtividade de etanol em litros por hectare de 4045,92 L ha⁻¹ entre os genótipos avaliados (Apêndices E, Tabela 15). Esta produtividade supera ao encontrado por Benedeti *et al.* (2017) que reportaram produtividade variando entre 1.294,62 a 1.604,80 L ha⁻¹. Este resultado reforça o desempenho superior por parte destes genótipos avaliados neste trabalho. Por outro lado, Mussoline *et al.* (2017) relataram produtividade superior a deste estudo, com média de 5.300 L ha⁻¹ em genótipos de batata-doce.

Segundo Gonçalves Neto *et al.* (2011), alguns genótipos de batata-doce apresentam superioridade na produção de etanol quando comparados à cana-de-açúcar. Comparando-se os genótipos avaliados neste estudo com a principal matéria-prima para produção de etanol no

Brasil, a cana-de açúcar, que, mesmo com grandes investimentos tecnológicos apresenta produtividade média de 70 t de colmos e 6,0 L t⁻¹, o que chega a atingir 85 L ha⁻¹ (Única, 2024), observa-se um desempenho da cultivar UFLA R1440. Neste trabalho, a cultivar chegou a produzir 8473,84 L ha⁻¹ aos 120 dias de ciclo (Apêndice F, Tabela 16), com produtividade de raízes máxima de 52,78 t ha⁻¹ (Apêndice F, Tabela 16), demonstrando potencial de produzir três vezes mais etanol em litros por hectares em menos tempo. Maino *et al.* (2019), ressaltam que a batata-doce, sobretudo em virtude de ciclo curto e menor investimento tecnológico, pode ser uma alternativa competitiva para indústria bioenergética, especialmente em regiões onde a cana não apresenta bom desempenho. Para a produtividade de etanol em litros por hectare, os genótipos não diferiram quando considerada a interação genótipo x época de colheita, indicando estabilidade por parte dos genótipos avaliados sobre a característica avaliada.

No geral, os genótipos UFLA 1192, UFLA 286, UFLA 397 e UFLA 1404 e as cultivares UFLA R1440 e UFLA B556, demonstraram potencial para a seleção em programas de melhoramento voltado à produção de etanol, sendo importante na competitividade desta cultura e na diversificação da matriz energética.

6 CONCLUSÕES

A cultivar UFLA R1440 e os genótipos UFLA 1192 e UFLA 286 apresentaram maior produtividade total de raízes durante o cultivo de verão, e os genótipos UFLA 1404 e UFLA 397 destacaram-se com maior produtividade total de raízes no cultivo de inverno.

Já para a produtividade de massa seca de raízes a cultivar UFLA R1440 e o genótipo UFLA 1192 apresentaram maiores produtividades durante o cultivo de verão. O genótipo UFLA 1404 apresentou maior produtividade de massa seca de raízes durante o cultivo no inverno.

A cultivar UFLA R1440 e o genótipo UFLA 1192, apresentaram maior produtividade de amido em $t \cdot ha^{-1}$, considerando as duas épocas de colheita. Já a cultivar UFLA B556 destacou-se pela produção de amido em $kg \cdot t^{-1}$.

A cultivar UFLA R1440 destacou-se com a maior produtividade de etanol em $L \cdot ha^{-1}$, o que se deve, principalmente, à maior produtividade de massa seca de raízes. A produção de etanol em litros por tonelada de raíz, e a produtividade de etanol em litros por hectare não foram afetadas pela colheita das raízes aos 120 e 150 dias.

A produtividade mediana de etanol da cultivar UFLA R1440 foi de 5.105,84 litros por hectare com colheita aos 120 dias após o plantio, o que, com a produtividade máxima de $52,78 \cdot t \cdot ha^{-1}$ produziu $8.473,84 \cdot L \cdot ha^{-1}$. Extrapolando para um potencial produtivo de raízes de 70 e $90 \cdot t \cdot ha^{-1}$ poderão ser produzidos 11.238,51 e $14.449,52 \cdot L \cdot ha^{-1}$, respectivamente

Não foram observadas diferenças significativas entre os genótipos quanto aos açúcares redutores, mesmo com variações nas épocas de colheitas.

Observou-se correlação genotípica positiva entre produtividade de massa seca das raízes x produtividade total de raízes, produtividade de amido x produtividade de raízes totais, produtividade de etanol x produtividade de raízes totais, produtividade de amido x produtividade de etanol, açúcares redutores totais x produtividade de totais de raízes, açúcares redutores totais x produtividade de massa seca das raízes e açúcares redutores totais x produtividade de amido.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, T. M. R. DE; BORGES, C. W. P.; CAVALCANTI, M. T.; LIMA, M. DOS S.; MAGNANI, M.; SOUZA, E. L. de. Potential prebiotic properties of flours from different varieties of sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) roots cultivated in Northeastern Brazil. **Food Bioscience**, v. 36, p. 100614, 2020.
- AMORIM, H.V. Fermentação alcoólica. **Ciência & Tecnologia**. Piracicaba: Fermentec, 2005. p. 448.
- ANP. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Painel Dinâmico Produtores de Etanol**. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/paineis-dinamicos-da-anp/paineis-e-mapa-dinamicos-de-produtores-de-combustiveis-e-derivados/painel-dinamico-de-produtores-de-etanol>. Acesso em: 4 ago. 2025.
- ALMEIDA, J.; BERTILSSON, M.; GORWA-GRAUSLUND, M.; GORSICH, S.; LIDÉN, G. Metabolic effects of furaldehydes and impacts on biotechnological processes. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 82, p. 625-638, 2007.
- ANDRADE JÚNIOR, V.C.; ELSAYED, A.; AZEVEDO, A.; SANTOS, E.; FERREIRA, M. Potencial Quantitativo e Qualitativo de Genótipos Batata-doce. **ScientiaAgraria**, Curitiba, v. 19, n. 1, p. 28-35, 2018.
- ANDRADE JÚNIOR, V.C.; DONATO, L.M.S.; AZEVEDO, A.M.; GUIMARÃES, A.G.; BRITO, O.G.; OLIVEIRA, D.M.; MEDINA, A.J.; SILVA, L.R. Associação entre caracteres agronômicos e qualidade do feno de ramos de batata-doce. **Horticultura Brasileira**, Vitória da Conquista, v. 38, n. 1, p. 27-32, 2020.
- ANDRADE JÚNIOR, V.C,V.C.; BRITO, O.G; SILVA, J.C.O. Breeding of sweet potato in Brazil: progress, challenges and opportunities. **The world of Horticulture**, v. 64, n. 4, p.6. 2024.
- AZHAR, S.H.M.; ABDULLA, R.; JAMBO, S.A.; MARBAWI, H.; GANSAU, J.A.; FAIK, A.A.M.R.; KENNETH, F. Yeasts in sustainable bioethanol production: **A review, Biochemistry and Biophysics Reports**, v. 10, July, p. 52-61, 2017.
- AZEVEDO, A.M.; JUNIOR, V.C.A.; FERNANDES, J.S.C.; PEDROSA, C.E.; OLIVEIRA, C.M. Desempenho agronômico e parâmetros genéticos em genótipos de batata-doce. **Horticultura Brasileira**, v. 33, n. 1, p. 84-90, 2015.
- BAYER, E.A.; LAMED, R. The cellulose paradox: pollutant par excellence and/or a reclaimable natural resource? **Biodegradation**, v. 3, n. 2–3, p. 171-188, 1992.
- BELINCANTA, J.; ALCHORNE, J. A.; TEIXEIRA DA SILVA, M. The brazilian experience with ethanol fuel: aspects of production, use, quality and distribution logistics. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, v. 33, n. 4, p. 1091 –1102, dez. 2016.
- BEMILLER, J.N. **Carbohydrate chemistry for food scientists**. 3 ed. Indiana: Elsevier, 2018. 407 p.

BENEDETI, R.S.; MARCHESE, A. **Rendimento de etanol de clones de batata-doce em função da metodologia de sacarificação**. 2017. 2 p. TCC (Graduação em Agronomia) - Universidade Federal do Paraná, Palotina, 2017.

BELTRAN, L. B.; RASPE, D.T.; CASTILHO, P.A.; SOUSA, L.C.S de; FIOROTO, C.K.S.; VIEIRA, A.M.S.; MADRONA, G.S. Desenvolvimento de sorvete vegano de chocolate formulado com batata-doce e leite de coco. **Revista Brasileira de Biomassa e Energia**, Curitiba, Biomassa, BR, v. 6 n. 32, 2017.

BERTRAND, E.; DUSSAP, C.G. First Generation Bioethanol: Fundamentals Definition, History, Global Production, Evolution. *In: Liquid Biofuels: Bioethanol*, 2022. p. 1–12.

BRITO, O.G.; ANDRADE JÚNIOR, V.C.; LOPES, T.K.; SILVA, J.C.O.; FIRME, T.D.; SILVA, E.A; AZEVEDO, S.M. Flowering capacity and botanical seed production of sweet potato genotypes. **Horticultura Brasileira**, v. 39, 2022.

BRITO, O.G. *et al.* **Potencial dos mercados emergentes da batata-doce**. Campos & Negócios, 22 de outubro de 2024. Disponível em: <https://revistacamposenegocios.br>. Acesso em: 02 abr. 2025.

CANAL RURAL. **Usina no Rio Grande do Sul produzirá etanol a partir de batata-doce**. 09 de setembro de 2020. Disponível em: <https://www.canalrural.com.br/agricultura/usina-etanol-batata-doce/#:~:text=Diversos-,Usina%20no%20Rio%20Grande%20do%20Sul,a%20partir%20de%20batata%2Ddoce&text=A%20primeira%20usina%20de%20etanol,hectares%2C%20na%20cidade%20de%20Carazinho..> Acesso em: 4 ago. 2025.

CANSIAN JÚNIOR, J.C.; RODRIGUES, V.A.P.; ALMEIDA, R.; SANTOS, J.A.C.; SOUZA NETO, J.D.; SANTOS, T.O.; BENTO, C.S; SANTOS, J.O.; MOULIN, M.M. Divergência genética entre acessos de batata-doce (*Ipomoea batatas*.) por meio de descritores morfológicos e bromatológico. **Revista Observatório de la Economía Latino Americana**, Curitiba, v. 22, n. 1, p. 3071-3095. 2024.

CARVALHO, D.G.; TRIERWEILER, L.F.; TRIERWEILER, J.O. **Aproveitamento de resíduos de batata-doce utilizando processos bioquímicos e termoquímicos**. 2024. 99 p. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul Porto Alegre 2024.

CASTRO, L.A.S.; OLIVEIRA, A.C.B.; EMYGDIO, B.M.; BECKER, A.; BARCELOS, H.T. Obtenção de etanol de batata-doce na Embrapa clima temperado. *In: SIMPÓSIO ESTADUAL DE AGROENERGIA. REUNIÃO TÉCNICA DE AGROENERGIA*, 4., 2015, Rio Grande do Sul. **Anais [...]** Rio Grande do Sul, 2015. 4 p.

CASTRO, K.P. *et al.* Mosturação de batata-doce (*Ipomoea batatas* l.) por ação de amilases endógenas. *In: ENCONTRO ANUAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA*, 31., 2022, Ponta Grossa. **Anais [...]**, Ponta Grossa, 2022.

CEREDA *et al.* Caracterizando tuberosas amiláceas. **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, Campinas, v. 22, n. 1, p. 65-69, 2002.

CFSEMG. Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais. **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5a Aproximação.** In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ, V.H. . (Eds.). Viçosa, MG, 1999. 359 p.

CHUN-HUI, C. *et al.* Analysis of Chlorogenic Acid in Sweet Potato Leaf Extracts. **Plants**, v. 11, n. 15, p. 2063, 2022.

CIP. Centro Internacional De La Papa. **Sweet potato facts.** Disponível em: <https://cipotato.org/>. Acesso em: 04 fev. 2025

COELHO, R.S.; SIMONE, P.T.; LIOMAR, B.O.; MÁRCIO, A.S.; MOMENTE, V.G.; ILDON, R.N. Variação da produção de raízes e desenvolvimento da parte aérea de batata-doce em função da época de colheita. **Revista Agri-Environmental Sciences**, Palmas-TO, v. 8, p. e022005, 2022.

COLOMBI, B.L.; MARILHA, A.O.; PATRÍCIA, R.S.Z.; WASHINGTON, L.E.M.; LORENA, B.B. Efeito de compostos inibidores na bioconversão de glicose em etanol por levedura *Saccharomyces cerevisiae*. **Engevista**, v. 19, n. 2, p. 339-352, 2017.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar – Safra 2019/2020/2023.** Brasília, DF: Conab, v. 11. 6, n. 3, terceiro levantamento, dez. 2019a.

COSTA, A.L.; ANDRADE JÚNIOR, V.C.; GAMA, A.B.N.; SILVA, E.A.; BRITO, O.G.; SILVA, J.C.O.; BUENO FILHO, J.S.S. Selection of superior sweet potato genotypes for human consumption via mixed models. **Bragantia**, v. 81, p. e4122, 2022.

COUTINHO, P.A.F. *et al.* **Fontes alternativas para a produção de etanol.** 2024.14 p. Resumo. (Ciências Biológicas) - Pontifícia Universidade Católica de Goiás, 2024.

DAMODARAN, S.; PARKIN, K.L. **Química de alimentos de Fennema.** Porto Alegre: Artmed, 2019.

DANGLER, J.M.; LOCASCIO, S.J.; HALSEY, L.H. Sweet Potato for Biomass, **Biomass**, v. 4, p. 253-261, 1984.

DOBRANOWSKI, P.A.; ALAIN, S. **Amido resiste, microbioma e modulação de precisão. Micróbios Intestinais**, v. 13, n. 1. p. 1926842, jan./dez. 2021.

DONATO, L.M.S.; ANDRADE, V.C.; BRITO, O.G.; FIALHO, C.M.T.; SILVA, A.J.M.D.; AZEVEDO, A.M. Uso de ramas de batata-doce para produção de feno. **Ciência Animal Brasileira**, v. 21, 2020.

DUARTE, L.S. **Uso da farinha de batata-doce (*Ipomoea batatas* L. (Lam)) para o enriquecimento nutricional de alimentos:** preparação de barra de cereal. 2024. 62 p. TCC (Engenharia Química) - Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2024.

DUVERNAY, W.H.; CHINN, M.S.; YENCHO, G.C Hydrolysis and fermentation of sweet potatoes for production of fermentable sugars and ethanol. **Ind. Crops Prod.**, v. 42, p. 527-537, 2013.

EL SHEIKHA, A.F.; RAY, R.C. Potential Impacts of Bio-processing of Sweet Potato: Review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, Amherst, v. 57, n. 3, p. 455-471, 2017.

EMBRAPA. **Protocolo para determinação de açúcares redutores totais em hortaliças pelo método de DNS**. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2013. 4 p.

FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations Statistics Division. **Sweet Potatoes**. STATISTICAL YEARBOOK 2022.

FERREIRA, J.C.; RESENDE, G.M. **Recomendação de cultivares de batata-doce para o Submédio do Vale do São Francisco**. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2020. 9 p.

FERREIRA, J. C.; RESENDE, G. M. **Recomendação de cultivares de batata-doce para o Submédio do Vale do São Francisco**. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2020. 9 p. (Embrapa Semiárido. Comunicado técnico, 178).

FERREIRA, D.K.E. **Desempenho morfoagronômico e pós-colheita de genótipos de batata-doce (*Ipomoea batatas* (L.) Lam)**. 2025. 82 p. Dissertação. (Mestrado em Agronomia) - Universidade de Brasília, Brasília, 2025. 82 p.

FRANCO, A.C.; FRANCO, L.S. Sustentabilidade e responsabilidade social como estratégia: um estudo de caso de uma indústria do setor madeireiro. *Contribuciones a las ciencias sociales*, v. 14, n. 3, 2023.

FRANCISCO, W.C "Bioetanol". Brasil Escola. Disponível em: <https://brasilestela.uol.com.br/geografia/bioetanol.htm>. Acesso em: 13 jan. 2025.

FURLANI, J.M.S.; SILVA, F.T. **Influência de compostos fenólicos na fermentação de glicose a etanol por *Saccharomyces cerevisiae* PE-2 e *Saccharomyces cerevisiae* de panificação e identificação de seus produtos de bioconversão**. 2014. 162 p. Tese (Doutorado em Ciências) – Escola de Engenharia de Lorena da Universidade de São Paulo, 2014.

GEMENET, D.C.; PEREIRA, G.S.; DE BOECK, B.; WOOD, J.C.; MOLLINARI, M.; OLUKOLU, B.A.; DIAZ, F.; MOSQUERA, V.; SSALI, R.T.; DAVID, M.; KITAVI, M.N.; BURGOS, G.; ZUM FELDE, T.; GHISLAIN, M.; CAREY, E.; SWANCKAERT, J.; COIN, L.J.M.; FEI, Z.; HAMILTON, J.P.; YADA, B.; YENCHO, G.C.; ZENG, Z.B.; MWANGA, R.O.M.; KHAN, A.; GRUNEGGER, W.J.; BUELL, C.R. Quantitative trait loci and differential gene expression analyses reveal the genetic basis for negatively associated β -carotene and starch content in hexaploid sweetpotato [*Ipomoea batatas* (L.) Lam.]. **Theoretical and Applied Genetics**, v. 133, p. 23-36, 2020.

GONÇALVES, N.A.C. *et al.* Produção de etanol e alimentação animal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 11, p. 1513-1520, 2011.

GRIEP, A.V.; SCHULTZ, G; ALVES, D.O. **Potencialidades, desafios e tendências do etanol a base de batata-doce**. TCC. 34 p. (Bacharelado em Desenvolvimento Rural) - São Lourenço do Sul/Rs, 2022.

GULDEN, **Roadmap Tecnológico**: etanol da batata-doce. 2019. 39 p. Trabalho de Diplomação (Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2019.

GUO, K. *et al.* Structural and functional properties of starches from root tubers of white, yellow, and purple sweet potatoes. **Food Hydrocolloids**, v. 89, n. 2019, p. 829-836, 2019.

IAL. Instituto Adolfo Lutz. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. 4. ed. São Paulo: IAL, 2008. 1018 p.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. SIDRA. **Dados de 2017 e 2018**. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/5457#resultado>. Acesso em: 30 jul. 2025.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção Agrícola Municipal 2022**. Rio de Janeiro: IBGE. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/2046-np-producao-agricola-municipal.html>. Acesso em: 11 jul. 2025.

JOSÉ, T.S.J.; PABLO, H.A.O.; FLÁVIO, P.M.S.; GISELE, L.S.; JOÃO, E.S.R.; ANTONIO, G.C.S.; AURÉLIO, P.B.J.; LINDOMAR, M.S. Physicochemical quality and bioactive compounds in orange-fleshed sweet potato, Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 38, p. e12724, 2025.

JIMOH, P.O.; AMIRE. **Fermentation and the Production of Ethanol from Sweet Potatoes. Department of Chemistry**. Research Article. 01 out. 2024. Disponível em: file:///C:/Users/User/Downloads/Fermentation_and_the_Production_of_Ethanol_From_Sw.pdf. Acesso em: 2 abr. 2025.

KRAJANG, M.; MALAIRUANG, K.; SUKNA, J.; RATTANAPRADIT, K. Single - step ethanol production from raw cassava starch using a combination of raw starch hydrolysis and fermentation, scale - up from 5 - L laboratory and 200 - L pilot plant to 3000 - L industrial fermenters. **Biotechnology for Biofuels**, v.14 , n. 68, p. 1-5, (2021).

LAURIE, S.M.; BAIRU, M.W.; LAURIE, R.N. Analysis of the Nutritional Composition and Drought Tolerance Traits of SweetPotato: Selection Criteria for Breeding Lines. **Plants**, v. 11, n. 14, 1804, 2022.

LAREO, C.; FERRARI, M. D.; GUIGOU, M.; FAJARDO, L.; LARNAUDIE, V.; RAMÍREZ, M.B; MARTÍNEZ-GARREIRO, J. Evaluation of sweet potato for fuel bioethanol production: hydrolysis and fermentation. **Springerplus**, v. 2, n. 1, p. 493, 2013.

LAREO, C.; FERRARI, M.D. Sweet Potato as a Bioenergy Crop for Fuel Ethanol Production: Perspectives and Challenges. *In: Bioethanol Production from Food Crops*. London: Elsevier, 2019. p. 115–147.

LEITE, R.C. de C.; LEAL, M.R.L. O biocombustível no Brasil. **Novos Estudos - CEBRAP**, n. 78, 15–21, jul. 2007.

LI, Y.S.; SOL, H.S.; ZHANG, Y.C.; WANG, X.A.; GAO, M.; SOL, X.H.; WANG, Q.H. Research progress for co-production ethanol and biobased products. **Industrial Crops and Products**, v. 212, 2024.

LIMA J.W.C. **Análise ambiental: processo produtivo de polvilho em indústrias do extremo sul de Santa Catarina**. 2001. 149 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2001.

LOPES, A.C. **Obtenção e caracterização de etanol produzido a partir de genótipos de batata-doce e avaliação do meio fermentativo**. 2013. 83 p. Dissertação (Mestrado em Bioenergia) - Universidade Estadual do Centro-Oeste, Guarapuava, PR, 2013.

LOURENÇO, A.M; TAVARES, A.T; FERREIRA, T.A; LOPES, D.A.S.P.; CARLINE, J.V. G.; MOMENTÉ, V.G; NASCIMENTO, I.R. Potencial de clone experimentais de batata-doce para produção de etanol. **Nativa, Sinop**, v. 6, n. 4, p. 352-357, jul./ago. 2018.

LUCAS, J.V. *et al.* Caracterização de batata-doce de polpa roxa (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.) em duas safras. In: SEMANA INTEGRADA UFPEL, 8.; CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 31., 2022, Pelotas. **Anais** [online]... Pelotas: UFPEL, 2022.
MACHADO, C.M.M.; ABREU, F.R.E. Produção de álcool combustível a partir de carboidratos. **Revista de Política Agrícola**, v. 3, n. 15, p. 64-78, 2006.

MCNAIR, H.M.; MILLER, J.M. **Um livro fundamental para entender os princípios e aplicações da cromatografia gasosa**. Basic Gas Chromatography 2nd Edition. 2011.

MDIC. Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços. **No RS, Alckmin celebra avanços no uso de combustíveis limpos no Brasil**. Disponível em: <https://www.gov.br/mdic/pt-br/assuntos/noticias/2023/agosto/no-rs-alckmin-celebra-avancos-no-uso-de-combustiveis-limpos-no-brasil>. Acesso em: 4 ago. 2025.

MAINO, S.C. *et al.* Batata-doce (*Ipomoea batatas*) dentro do contexto deculturas energéticas, uma revisão. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 8, n. 4, 2019.

MANOCHIO, C. **Produção de bioetanol de cana-de-açúcar, milho e beterraba: uma comparação dos indicadores tecnológicos, ambientais e econômicos**. 2014. 32 p. TCC (Graduação em Engenharia Química) - Universidade Federal de Alfenas-UNIFAL, Campus Poços de Caldas, Minas Gerais, 2014.

MIRANDA, J.E.C. **Batata-doce**. Brasília: Embrapa, CNPH, 1987. (Embrapa/ Cultivares/Batata Doce).

MOMENTÉ, V.G.; WESLANY, S.R.; LUIZA, L.N.; ILDON, R.N.; LUCAS, C.M.; MÁRCIO, A.S. Avaliação de genótipos de batata-doce com potencial para produção de etanol. **Revista Observatório de la Economía Latinoamericana**, Curitiba, v.23, n.1, p. 01-18. 2025.

MORAIS, L.K., AGUIAR, M.S.; ALBUQUERQUE, S.P.; CÂMARA, T.M.M.; CURSI de, Júnior ARF, Chapola RG, Carneiro MS, BESPALHOK FILHO J. C. **Breeding of Sugarcane**. 'Industrial Crops'. (Eds.) CRUZ, V.M.V. New York: Springer, 2015. p. 29-42.

MUSSOLINE, W.A.; B. O. H. A. C, J. R.; BOMAN, B. J.; TRUPIA, S.; WILKIE, A. C. **Agronomic productivity, bioethanol potential and postharvest storability of an industrial sweetpotato cultivar**. *Industrial Crops and Products*, v. 95, p. 96-103, 2017.

NASCIMENTO, M.E.E.; MOREIRA, J.V.S.; QUEIROZ, I.C. Potencial da batata-doce na inovação alimentar. **Revista Técnica da Agroindústria**, v. 2, n. 1, 4 p, 2024.

NEGRÃO, L.C.P.; URBAN, M.L.P. **Álcool como “commodity” internacional**. *Economia e Energia*, n. 47, p. 8-18, 2005.

NIGUSSIE, Z.T.; GEBEYEHU, S.A.; MULUGETA, S.M.; GUADIE, Y.F. Genotype by environmental interaction and measurements of stability on eight orange-fleshed sweet potato (*Ipomoea batatas*) Varieties: East Gojjam Zone North West Ethiopia. **Avanços na Agricultura**, p. 1-7, 2022

NIU, S.; LI, X-Q.; TANG, R.; ZHANG, G.; LI, X.; CUI, B.O.; MIKITZEL, L.; HAROON, Mu. Starch granule sizes and degradation in sweet potatoes during storage, Postharvest. **Biology and Technology**, v. 150, p. 137-147, 2019.

NOGUEIRA, C.U. **Batata-doce irrigada para a produção de etanol**. 2017. 82 p. Dissertação (Pós-graduação em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal Santa Maria, 2017.

NOVA CANA. **Cotrijal investe R\$ 300 milhões em etanol de grãos no Rio Grande do Sul**. 02 de setembro de 2022. Disponível em: <https://www.novacama.com/noticias/cotrijal-investe-r-300-milhoes-etanol-graos-rio-grande-sul-020922>. Acesso em: 27 mar. 2025.

OLIVEIRA, F.A.; SOUZA, R.B.; COSTA, M.R. **Produção de etanol a partir de tuberosas amiláceas: desafios e perspectivas**. *Revista Energia & Bioenergia*, v. 15, n. 1, p. 45-59, 2020.

ORNELAS, N.M.Q., FRANCO, D.G. de B.; LIMA, C.E.R.D. de; BATISTA, A.P.; DIAS, D. W.G.; SANTOS, W.R. dos; ROCHA, B.C. Produção sustentável de biocombustível de segunda geração (2g): desafios, tecnologias emergentes e o potencial da biomassa lignocelulósica na transição da matriz energética. **Revista Políticas Públicas & Cidades**, v. 13, n. 2, p. e 1179.

PAGANI, A.A.C.; SANTOS, J. Estudo da estabilidade físico-química de duas variedades de batata-doce (*Ipomoea batatas* L.) após o processo de secagem e durante o armazenamento. *In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON TECHNOLOGICAL INNOVATION*, 2017, 8., Aracaju. **Anais [...]**. Aracaju: Instituto Federal de Sergipe, 2017.

PATZEK, T.W. A Statistical Analysis of the Theoretical Yield of Ethanol from Corn Starch. **Natural Resources Research**, v. 15, n. 3, Sept. 2006.

PAVLAK, M.C. de M.; ABREU-LIMA, T.L. de; CARREIRO, S.C. Estudo da fermentação do hidrolisado de batata-doce utilizando diferentes linhagens de *Saccharomyces cerevisiae*. **Química Nova, São Paulo**, v. 34, n. 1, p. 82-86, 2011.

PIRES, L. de. A.N. *et al.* Produção de bioetanol a partir da hidrólise ácida da batata-doce. In: CONGRESSO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. PARTICIPAÇÃO SOCIAL, ÉTICA E SUSTENTABILIDADE, 17., 2020, Poços de Caldas. **Anais [...]** Poços de Caldas, 23 a 24 de setembro de 2020.

PRADO, E.M.L. de. Potencial Cicatrizante de *Colocasia esculenta* (L.) Schott: **caracterização química, avaliação biológica e desenvolvimento de filmes para uso como coberturas**. 2020. 113 p. Dissertação (Mestre em Ciências Veterinárias) - Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2020.

PRIADI, H.; AWAD, S.; VILLOT, A.; ANDRÉS, Y.; PURWANTO, W.W. Techno-environmental analysis of second-generation bioethanol at plant-scale by different pre-treatments of biomass from palm oil waste. **Energy Conversion and Management**, v. 21, n. X, 2024.

QUEIROGA, R.C.F.; SANTOS, M.A. dos; MENEZES, M.A. de; VIEIRA, C.P.G.; SILVA, M. da C. Fisiologia e produção de cultivares de batata-doce em função da época de colheita. **Horticultura Brasileira**, v. 25, n. 3, p. 371-374, 2007.

RESENDE, G.M. Características produtivas de cultivares de batata-doce em duas épocas de colheita, em Porteirinha – MG. **Horticultura Brasileira**, v. 18, p. 68-71, 2000.

RIZZOLO, J. A.; WOICIECHOWSKI, A. L.; JÚNIOR, A. I. M.; TORRES, L. A. Z.; SOCCOL, C. R. **The potential of sweet potato biorefinery and development of alternative uses**. SN Applied Sciences, v. 3, n. 3, 2021.

RFA, R.F.A. **Annual ethanol production. U.S. and world ethanol production**. Disponível em: <https://ethanolrfa.org/markets-and-statistics/annual-ethanol-production>. Acesso em: 10 jul. 2025.

RODRIGUES, W.F.; CASTRO, R.P. **Produção de bioetanol a partir de batata-doce em escala laboratorial**. In: VIEIRA, A.; SILVA, L.F. da; OLIVEIRA, V.C. de. (Org.). 1ed. Ponta Grossa: Atena, 2023. v. 1. p. 19-24.

RÓS, A.B. Produtividade e formato de raízes tuberosas de batata-doce em função do número de gemas enterradas. **Científica**, v. 45, n. 3, p. 253-256, 2017.

RÓS-GOLLA, A.; HIRATA, A.C.S. Teor de matéria seca de batata-doce em função do sistema de preparo do solo. **Revista Raízes e Amidos Tropicais**, v. 6, p. 264-270, 2010.

RUTZ, J.K.; VOSS, G.B.; ZAMBIASI, R.C. Relação entre teores de sólidos solúveis totais e acidez total titulável presentes na amora-preta (*Rubus spp*) em diferentes estágios de maturação. Pelotas. **Anais [...]** Pelotas: UFPel, 2016.

SANTOS, A.A.; ANDRADE JÚNIOR, V.C.; FIALHO, C.M.T.; AZEVEDO, A.M.; BRITO, O.G.; VIANA, A.J.S.; GUIMARÃES, A.G. Effect of debranching on sweet potato yield and quality. **Australian Journal of Crop Science**, Austrália, v. 13, n. 10, p. 1712-1722, 2019.

SANTOS, T.S.; ANDRADE JÚNIOR; BRITO, O.G.V.C. **Interação genótipo x ambiente no melhoramento genético da batata-doce**. 2023. 65 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2023.

SANTOS, E.G.; GUERRA, E.P.; RESENDE, J.T.V.; OLIVEIRA, F.P.; RESENDE, N.C.V. Alcohol production from sweet potato varying the fermentation and hydrolysis conditions. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 2, e168922201, 2020.

SANTOS D.C.L.P.; CORREA, C.; ALVES Y.A.; SOUZA, C.G.; BOLOY, R.A.M. Brazil and the world market in the development of technologies for the production of second-generation ethanol. **Alexandria Engineering Journal**, v. 67, p. 153-170, 2023.

SCHWEINBERGER, C.; PUTTI, T.; SUSIN, G.; TRIERWEILER, J.; TRIERWEILER, L. Ethanol production from sweet potato: The effect of ripening, comparison of two heating methods, and cost analysis. **The Canadian Journal of Chemical Engineering**, v. 94, 2016.

SECCHI, H.M. Fundamentos Teóricos e Práticos em Análise de Alimentos. Campinas: UNICAMP, 2003. cap 5. p. 6386.

SILVA, J.C. de O. ANDRADE JÚNIOR, V.C. de; BUENO FILHO, J. S. S. Mixed model-based indices for selection of sweet potato genotypes for different agronomic aptitudes. **Euphytica**, v. 218, n. 86, 2022.

SILVA, J.C. de O et al. **Variabilidade genética em caracteres fisiológicos e de produtividade para o melhoramento genético da batata-doce**. 2023. 113 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras- MG. 2023.

SILVA, F.S.G.; MIGOT, B.C.; SILVA, F.C. da. A importância do bioetanol dentro do contexto brasileiro, comparação de sua síntese a partir de cana-de açúcar e milho e bioetanol de segunda geração. **Embrapa publicações**, p 1-8, 2019.

SILVEIRA, M.A. **Batata-Doce: uma nova Alternativa para a Produção de Etanol**. Brasília: Instituto Euvaldo Lodi. Núcleo Central. Álcool combustível (Série Indústria em Perspectiva), 2008. 163 p.

SILVEIRA, L.R.; CHIESA, V.B.; CHIESA, V.B.; TAVARES, I.B.; TAVARES, I.B.; SOUZA, R.C. de; SOUZA, R.C. de; SILVA, M.A. da; SILVA, M.A. da; ALVES, D. G.; ALVES, D.G.; JUNIOR, W.P.; JUNIOR, W.P. Caracterização Físico química e Clones de Batata-doce de Polpa Alaranjada nas Condições de Palmas-TO. **Revista de Ciências Ambientais e Saúde (EVS)**, v. 38, n. 2, p. 365–380, 2011.

SOARES, R.B.; PARAÍSO, B.S.A.; NOGUEIRA, M.C.S.; LIBÓRIO, J.B.S.; PINTO, L.I.F.; ALVES, R.N.; JESUS, L.S. Caracterização química e potencial de produção de álcool de variedades de batatas-doces cultivadas no sul de Roraima. *Brazilian Journal of Development*, Curitiba, v. 8, n. 11, p. 76384-76391, nov. 2022.

SOCCOL, C.R.; PEREIRA, G.A.G.; DUSSAP, C.G.; VANDENBERGHE, L.P. de S. **Liquid Biofuels: Bioethanol**. Cham: Springer International Publishing, 2022. v. 121-515 p.

SOLANO MENDOZA, J, D.; MING, L.C. **Produtividade e características físico – químicas de acessos de batata-doce procedentes de comunidades quilombolas do vale do ribeira / SP**. 2017. 72p. Dissertação (Mestrado em Agronomia (Horticultura)) - UNESP, Botucatu. 2017.

SOLER, H. **Revisão sistemática relacionada com a utilização de biopolímeros no setor de espumas visando aplicações como embalagens para alimentos e sorventes**. 2021. 52 p. TCC (Bacharelado em Engenharia Química) - Porto Alegre, 2021.

SOMOGY, M. Determination of blood sugar. **Journal Biological Chemistry**, Baltimore, n. 160, p. 6973, 1945.

SOUZA, C. *et al.* **Melhoramento genético da batata-doce**. Departamento de Agricultura da UFLA. Pesquisa e Inovação, Lavras, 2009.

SOUZA, C.R. **Avaliação da produção de etanol em temperaturas elevadas por uma linhagem de *S. cerevisiae***. 2021. Tese (Doutorado em Interunidades em Biotecnologia) – USP, São Paulo, 2021.

SRICHUWONG, S.; FUJIWARA, M.; WANG, X.; SEYAMA, T.; SHIROMA, R.; ARAKANE, M.; MUKOJIMA, N.; TOKUYASU, K. Simultaneous saccharification and fermentation (SSF) of very high gravity (VHG) potato mash for the production of ethanol. **Biomass and Bioenergy**, v. 33, n. 5, p. 890-898, 2009.

SUN, Y.; PAN, Z.; YANG, C.; JIA, Z.; GUO X. Comparative Assessment of Phenolic Profiles, Cellular Antioxidant and Antiproliferative Activities in Ten Varieties of Sweet Potato (*Ipomoea Batatas*) Storage Roots. **Molecules**, v. 24, n. 24, p. 4476, 2019.

SUÁREZ, S.; MU, T.; SUN, H.; AÑÓN, M.C. Antioxidant activity, nutritional, and phenolic composition of sweet potato leaves as affected by harvesting period. **International Journal of Food Properties**, Estados Unidos, v. 23, p. 178-188, 2016.

SULISTTIANI, R.; ROSMAYATI, S.; LAM, H.F. (Eds). Differences in morphology and sugar content of purple sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) with potassium treatment at several altitudes. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, fevereiro de 2018, v. 122, n. 1, p. 012050, 2020.

SUSMOZAS, A.; MATSCHEGG, D.; DAVIDIS, B.; SPEKREIJSE, J.; TZELEPI, V.; KOURKOUMPAS, D.S.; ALONSO, J.M.G.; COTO, B.; IGLESIAS, R. Economic and environmental assessment of the retrofitting of a first-generation ethanol plant. **Biomass Conv. Bioref.**, v. 15, ed. 6, p. 8997-9010, 2024.

TABORDA, L.; JAHN, S.L.; LOVATO, A.; EVANGELISTA, M.L.S. Avaliação da viabilidade técnica e econômica da produção de etanol em planta piloto a partir da batata-doce (*Ipomoea batatas*). **Custos e @agonegocio on line**, v, 11, n. 1, p. 245-262, 2015.

TENÓRIO MENEZES, T. **Avaliação de genótipos de batata doce (*Ipomoea batatas*(L) LAM) para produção de etanol em três épocas de colheita (120) (150) (180) dias após o plantio DAP**. Departamento de Agricultura, 2022.

TESTER, R.F.; KARKALAS, J.; QI, X. Starch - Composition, fine structure and architecture. **Journal of Cereal Science**, v. 39, n. 2, p. 151-165, 2004.

UNIÃO NACIONAL DA BIOENERGIA. **Milho já representa 17% do etanol produzido no Brasil**. Publicado em: 22 de maio de 2023. Disponível em: <https://www.udop.com.br/noticia/2023/05/22/milho-ja-representa-17-do-etanol-produzido-no-brasil.html> . Acesso em: 8 mar. 2025.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR – UNICA. **Safra 2023/2024 termina como a maior da história**. São Paulo: UNICA, 2024. Disponível em: <https://unica.com.br/noticias/safra-2023-2024-termina-como-a-maior-da-historia>. Acesso em: 08 mar. 2025.

VAHL, B.R.; FERRI, N.M.; NDI, P.A. N.; SILVA, F.T.S.; MARINUCI, C.B.; VIZZOTTO, M. Características físico-químicas e fitoquímicas de batata-doce roxa (*Ipomoea batatas* (L.) Lam) em duas épocas de plantio e de colheita. *In*: SEMANA INTEGRADA UFPEL, 9.; CONGRESSO DE INICIAÇÃO TECNOLÓGICA, 7., 2023, Pelotas. **Anais** [eletrônicos...]. Pelotas: UFPEL, 2023.

VIANA, D.J.S.; PINTO, S.S.S.; DIAS, K.P.F. *et al.* “Evaluation of productivity of sweet potato genotypes for first- and second-generation bioethanol production. **African Journal of Biotechnology**, v. 16, n. 49, p. 2289-2298, 2018.

VIEIRA, J.R. **Caracterização de raízes e ramas de Batata-Doce (*Ipomoea batatas* L.) e seu potencial na alimentação animal**. 2019. Dissertação (Mestrado em Bioenergia) – Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2019.

VIDAL, M. de F. Agroindústria - Etanol. **Caderno Setorial ETENE**, p. 1–16, 2022.

WANG, H.; YANG, Q.; FERDINAND, U.; GONG, I.; YANG QU, WENCHUAN, G. *et al.* Isolation and characterization of starch from light yellow, orange, and purple sweet potatoes. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 160, p. 660-668, 2020.

WANG, X.; GOU, C.; ZHENG, H.; GUO, N.; LI, Y.; LIAO, A.; LIU, N.; TIAN, H.; HUANG, J. Optimization of Consolidated Bioprocessing Fermentation of Uncooked Sweet Potato Residue for Bioethanol Production by Using a Recombinant Amyolytic *Saccharomyces cerevisiae* Strain via the Orthogonal Experimental Design Method. **Fermentation**, v. 10, n. 9, p. 471, 2024.

WEBER, C.T.; TRIERWEILER, L.F.; TRIERWEILER, J.O. Food waste biorefinery advocating circular economy: Bioethanol and distilled beverage from sweet potato. **Journal of Cleaner Production**, v. 268, p. 121788, set. 2020.

YANG *et al.* “Control of pH by acetic acid and its effect on ethanol fermentation in an integrated ethanol–methane fermentation process”. **RSC Advances**, v. 6, n. 63, 2016.

ZEIST, A.R.; LEAL, M.H.S.; RESENDE, J.T.V.; RECH, C.; SILVA JÚNIOR, A.D.; TOROCO, B.R.; OLIVEIRA, J.N.M.; OLIVEIRA, G.J.A. Selecting orange- fleshed sweet potato genotypes using selection indices. **Horticultura Brasileira**, v. 40, p. 231-237, 2022.

ZHANG, J.; JIA, C.; WU, Y.; XIA, X.; XI, B.; WANG, L.E.; ZHAI, Y. Life cycle energy efficiency and environmental impact assessment of bioethanol production from sweet potato based on different production mode. **Plos One**, n. 12, v. 7, p. 685, 2017.

ZHANG, C.M.; JIANG, L.; MAO, Z.G.; ZHANG, J.H.; TAN, L. Effects of Propionic Acid and pH on Ethanol Fermentation by *Saccharomyces cerevisiae* in Cassava Mash. **Appl Biochem Biotechnol**, v. 165, n. 3-4, p. 883-91, out. 2011.

ZUO, S.S.; NIU, D.Z.; NING, T.T.; ZHENG, M.L.; JIANG, D.; XU, C.C. Protein Enrichment of Sweet Potato Beverage Residues Mixed with Peanut Shells by *Aspergillus oryzae* and *Bacillus subtilis* Using Central Composite Design. **Waste Biomass Valorization**, v. 9, n. 5, p. 835-44, 2018.

APÊNDICES

APÊNDICES A

Figura 12 - Diagrama da fase experimental realizado no centro desenvolvimento transferência e tecnologia (CDTT/UFLA), nos anos 2023/2024.



Fonte: Da autora (2025).

Colheita e avaliações

Colheita aos 90 dias

Colheita aos 120 dias

Colheita aos 150 dias



Avaliações



Fonte: Da autora (2025).

APÊNDICES B

Figura 13 - Diagrama da segunda fase do experimento realizado no laboratório de Plataformas de Pesquisas Energéticas (PLAPE) da UFLA, referentes as etapas de produção de etanol da batata-doce dos genótipos selecionados.



Fonte: Da autora (2025).

APÊNDICES C

Tabela 12 - Médias referentes a interação genótipo x época de colheita para as variáveis agronômicas produtividade total de raízes (PTR), produtividade de massa seca das raízes (PMSR), densidade das raízes (DEN). (continua)

Genotipo	Colheita	PTR (t ha ⁻¹)					PMSR (t ha ⁻¹)					DEN (gcm ³)				
		Mean	Median	Min	Max	SD	Mean	Median	Min	Max	SD	Mean	Median	Min	Max	SD
Amelia	90	3.58	2.15	0.69	8.06	3.41	0.85	0.28	0.00	2.34	1.11	1.01	1.01	1.01	1.01	0.00
Amelia	120	6.91	3.97	2.98	22.92	7.87	2.14	1.18	0.91	6.96	2.38	1.04	1.04	1.01	1.05	0.02
Amelia	150	9.22	7.52	0.00	21.43	7.34	3.21	2.73	0.00	7.98	2.69	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00
Cotinga	90	5.40	1.49	0.00	25.00	9.74	0.95	0.00	0.00	4.50	1.80	1.05	1.05	1.05	1.05	0.00
Cotinga	120	3.99	4.86	0.00	7.78	2.98	1.25	1.43	0.00	2.50	0.97	1.05	1.06	1.02	1.07	0.02
Cotinga	150	17.06	16.27	6.75	26.91	7.47	5.83	5.13	2.09	9.88	2.84	1.03	1.04	1.00	1.06	0.03
Rubissol	90	3.05	2.08	0.00	9.26	3.32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00					
Rubissol	120	6.94	5.56	1.39	13.89	4.58	2.25	1.77	0.41	5.14	1.65	1.04	1.04	1.00	1.09	0.03
Rubissol	150	12.06	10.81	5.56	23.02	5.98	3.94	3.94	1.61	6.49	1.61	1.02	1.02	1.02	1.02	0.00
UFLA1074	90	4.40	3.47	0.00	11.51	3.83	0.53	0.00	0.00	2.35	0.95	1.06	1.06	1.04	1.08	0.02
UFLA1074	120	16.17	16.82	1.79	29.17	10.31	4.25	4.01	0.64	7.40	2.59	1.03	1.03	1.00	1.06	0.03
UFLA1074	150	14.64	10.16	8.06	32.87	9.73	4.32	3.54	2.14	8.63	2.42	1.06	1.04	1.02	1.13	0.05
UFLA1192	90	3.56	3.81	0.00	7.41	2.94	0.95	1.04	0.00	1.94	0.85	1.06	1.06	1.05	1.06	0.01
UFLA1192	120	13.35	14.68	0.00	26.97	10.35	4.05	4.27	0.00	8.73	3.26	1.04	1.05	1.00	1.07	0.04
UFLA1192	150	34.23	32.64	7.74	62.90	21.32	11.36	10.28	2.57	21.23	7.55	1.04	1.04	1.01	1.07	0.02
UFLA1377	90	3.44	1.98	0.00	11.51	4.56	0.90	0.51	0.00	3.08	1.21	1.04	1.04	1.04	1.05	0.01
UFLA1377	120	7.49	7.04	0.17	15.28	6.10	2.24	1.98	0.06	4.46	1.86	1.05	1.05	1.04	1.07	0.02
UFLA1377	150	16.56	11.65	8.93	29.86	9.75	5.85	4.45	3.43	9.78	3.00	1.05	1.05	1.04	1.06	0.01
UFLA1404	90	10.69	9.45	6.94	16.67	3.70	2.82	2.79	1.68	3.95	0.79	1.05	1.04	1.04	1.07	0.02
UFLA1404	120	27.32	26.21	18.06	40.83	8.84	9.04	8.26	5.97	14.12	3.10	1.05	1.05	1.01	1.09	0.03
UFLA1404	150	26.14	24.61	14.81	36.90	7.87	8.38	8.85	5.72	10.47	1.81	1.06	1.06	1.05	1.06	0.01
UFLA1476	90	0.54	0.69	0.00	0.99	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.04	1.04	1.03	1.04	0.01
UFLA1476	120	12.14	7.73	0.69	32.41	14.18	2.76	0.68	0.00	9.69	4.66	1.00	1.00	1.00	1.00	
UFLA1476	150	5.92	4.96	0.79	15.28	5.50	0.61	0.28	0.00	1.54	0.72	1.04	1.04	1.04	1.04	0.00
UFLA210	90	6.13	4.41	0.40	14.93	6.16	0.70	0.07	0.00	2.57	1.09	1.01	1.01	1.00	1.01	0.01

Tabela 12 - Médias referentes a interação genótipo x época de colheita para as variáveis agronômicas produtividade total de raízes (PTR), produtividade de massa seca das raízes (PMSR), densidade das raízes (DEN). (conclusão)

Genotipo	Colheita	PTR (t ha ⁻¹)					PMSR (t ha ⁻¹)					DEN (gcm ³)				
		Mean	Median	Min	Max	SD	Mean	Median	Min	Max	SD	Mean	Median	Min	Max	SD
UFLA210	120	11.69	8.53	6.75	20.37	6.11	2.60	1.99	0.00	5.12	2.04	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00
UFLA210	150	24.47	23.87	10.34	43.23	11.68	6.92	6.52	2.64	12.14	3.51	1.03	1.01	1.00	1.08	0.04
UFLA286	90	6.69	5.27	0.00	16.49	6.11	1.21	1.06	0.00	2.52	1.03	1.04	1.04	1.01	1.06	0.02
UFLA286	120	21.66	19.69	4.76	41.32	12.36	4.41	3.91	0.85	8.57	2.78	1.03	1.01	1.01	1.07	0.03
UFLA286	150	28.14	26.58	8.56	55.75	18.16	6.11	5.42	1.79	11.92	3.91	1.04	1.04	1.00	1.06	0.02
UFLA397	90	3.34	3.43	0.00	6.94	3.16	0.68	0.58	0.00	1.45	0.75	1.04	1.04	1.02	1.06	0.03
UFLA397	120	12.31	14.17	1.98	23.33	7.92	3.25	3.58	0.58	5.82	1.99	1.05	1.03	1.02	1.14	0.05
UFLA397	150	27.50	31.32	4.69	40.08	13.43	7.99	8.08	1.68	13.20	4.12	1.05	1.05	1.02	1.07	0.03
UFLA516	90	1.82	1.33	0.00	4.37	1.62	0.19	0.00	0.00	1.15	0.47	1.08	1.08	1.08	1.08	
UFLA516	120	6.05	5.63	2.22	10.76	3.26	1.55	1.19	0.00	3.72	1.33	1.06	1.04	1.00	1.19	0.09
UFLA516	150	9.99	10.25	6.42	15.28	3.27	3.24	3.46	2.14	4.55	0.94	1.03	1.02	1.02	1.06	0.02
UFLA527	90	4.21	3.08	0.46	8.33	3.29	1.02	0.61	0.00	2.84	1.23	1.04	1.04	1.03	1.04	0.01
UFLA527	120	14.42	15.97	0.00	27.98	9.62	4.74	5.31	0.00	9.22	3.12	1.05	1.04	1.04	1.09	0.03
UFLA527	150	24.77	23.61	11.28	46.87	14.16	8.36	7.07	3.92	17.33	5.40	1.05	1.05	1.02	1.07	0.02
UFLAB556	90	5.54	5.27	3.24	8.33	2.30	1.54	1.41	0.91	2.81	0.70	1.05	1.06	1.00	1.09	0.03
UFLAB556	120	8.16	8.60	0.00	14.88	5.94	2.50	2.44	0.00	4.59	1.82	1.04	1.04	1.04	1.04	0.00
UFLAB556	150	23.03	26.29	7.12	32.64	10.44	7.68	8.11	2.28	12.49	3.74	1.05	1.05	1.02	1.09	0.03
UFLAR1440	90	11.17	10.54	0.79	23.78	10.03	3.19	2.63	0.00	7.72	3.42	1.05	1.05	1.04	1.06	0.01
UFLAR1440	120	24.81	19.79	6.35	52.78	20.31	7.81	5.88	1.60	17.65	7.07	1.04	1.05	1.01	1.06	0.02
UFLAR1440	150	33.32	31.51	17.53	58.85	14.07	10.77	9.48	5.33	21.12	5.79	1.05	1.05	1.02	1.09	0.03

Caraterísticas PTR- produtividade de total de raízes (t ha⁻¹), PMSR- produtividade de massa seca de raízes (t ha⁻¹) e densidade das raízes (DEN), Med- mediana, Mín- mínimo, Max- máximo e DP- desvio padrão.

Fonte: Da autora (2025).

APÊNDICES D

Tabela 13 - Média geral, intervalos de confiança inferior e superior das nove variáveis avaliadas em 15 genótipos de batata-doce, considerando as duas épocas de cultivo (verão e inverno) e três épocas de colheitas (90, 120 e 150 dias após o plantio).

Caraterísticas	Média geral	IC Inferior	IC Superior
PTR	9,03	5	12,93
PMSR	1,64	0,83	2,89
DEN	1,03	1,03	1,04
ACI	0,38	0,22	0,58
pH	5,85	5,55	6,12
ART	4,86	4,48	5,21
PATR	805,19	742,64	849,29
PA	5,72	3,21	9,44
PETR	238,57	180,71	309,90
PE	1697,7	753,74	3444,1

Caraterísticas PTR- produtividade total de raízes ($t\ ha^{-1}$), PMSR- produtividade de massa seca de raízes ($t\ ha^{-1}$), ACI- acidez titulável (%), pH- potencial hidrogénico, ART- açúcares redutores, PA- produtividade de amido ($t\ ha^{-1}$), produção de amido ($kg\ t^{-1}$), PE- produtividade de etanol ($L\ ha^{-1}$) e PETR- produção de etanol ($L\ ton^{-1}$).

Fonte: Da autora (2025).

APÊNDICES E

Tabela 14 - Média das avaliações agrônômicas para as características produtividade total de raízes (PTR) e produtividade de massa seca de raízes (PMSR) dos 15 genótipos, considerando as duas épocas de cultivo (verão e inverno).

Genotipo	PTR (t ha ⁻¹)					PMSR (t ha ⁻¹)					DEN (gcm ³)				
	Mean	Med	Min	Max	SD	Mean	Med	Min	Max	SD	Mean	Med	Min	Max	SD
Amelia	6.57	4.40	0.00	22.92	6.57	2.06	1.42	0.00	7.98	2.27	1.02	1.01	1.00	1.05	0.02
Cotinga	8.81	5.46	0.00	26.91	9.12	2.68	1.74	0.00	9.88	2.98	1.05	1.05	1.00	1.07	0.02
Rubissol	7.35	5.65	0.00	23.02	5.86	2.06	1.67	0.00	6.49	2.08	1.03	1.02	1.00	1.09	0.03
UFLA1074	11.74	8.51	0.00	32.87	9.61	3.03	2.57	0.00	8.63	2.70	1.05	1.04	1.00	1.13	0.04
UFLA1192	17.05	8.83	0.00	62.90	18.47	5.45	2.77	0.00	21.23	6.35	1.04	1.05	1.00	1.07	0.02
UFLA1377	9.16	8.13	0.00	29.86	8.77	3.00	2.58	0.00	9.78	2.95	1.05	1.05	1.04	1.07	0.01
UFLA1404	21.04	21.39	6.94	40.83	10.27	6.61	6.76	1.68	14.12	3.47	1.05	1.05	1.01	1.09	0.02
UFLA1476	5.77	2.28	0.00	32.41	8.88	1.01	0.00	0.00	9.69	2.56	1.03	1.04	1.00	1.04	0.02
UFLA210	14.10	11.19	0.40	43.23	11.17	3.41	2.35	0.00	12.14	3.52	1.01	1.00	1.00	1.08	0.02
UFLA286	18.83	16.18	0.00	55.75	15.44	3.91	2.66	0.00	11.92	3.38	1.03	1.04	1.00	1.07	0.02
UFLA397	14.38	10.12	0.00	40.08	13.40	3.97	2.62	0.00	13.20	4.00	1.05	1.04	1.02	1.14	0.04
UFLA516	5.95	5.63	0.00	15.28	4.34	1.66	1.32	0.00	4.55	1.58	1.05	1.02	1.00	1.19	0.06
UFLA527	13.86	11.28	0.00	46.87	12.43	4.49	3.92	0.00	17.33	4.48	1.05	1.04	1.02	1.09	0.02
UFLAB556	12.24	7.99	0.00	32.64	10.34	3.91	2.54	0.00	12.49	3.59	1.05	1.04	1.00	1.09	0.03
UFLAR1440	23.10	21.31	0.79	58.85	17.24	7.26	6.25	0.00	21.12	6.19	1.05	1.05	1.01	1.09	0.02

Mean-Media, Med- mediana, Min- mínimo, Max- máximo e DP- desvio padrão.

Fonte: Da autora (2025).

Tabela 15 - Média dos seis genótipos selecionados para a produção de etanol nas duas épocas de colheita para as características potencial hidrogénico (pH), açúcares redutores (ART), acidez titulável (ACI), produtividade de etanol (PE), produção de etanol litros por toneladas de raízes (PETR), produtividade de amido (PA) e produção de amido quilogramas por toneladas de raízes (PATR).

Genotipo	ACI (%)					ART (%)					PH					PETR (L t ⁻¹)				
	Mean	Med	Min	Max	SD	Mean	Med	Min	Max	SD	Mean	Med	Min	Max	SD	Mean	Med	Min	Max	SD
Amelia	0,52	0,50	0,32	0,75	0,22	4,33	4,46	3,53	5,17	0,60	5,8	5,8	5,3	6,2	0,3	299	223,4	155,4	697	199,9
Cotinga	0,19	0,21	0,08	0,28	0,10	4,30	4,50	3,77	4,64	0,47	5,7	5,8	5,3	6,0	0,4	211	207,2	157,5	269	55,98
UFLA1192	0,54	0,63	0,13	0,75	0,25	5,13	5,09	4,82	5,59	0,28	5,9	5,9	5,4	6,5	0,4	268	284	93,79	397	121,7
UFLA286	0,62	0,63	0,43	0,79	0,14	5,09	5,26	3,52	6,38	0,97	5,4	5,4	5,0	5,8	0,3	221	237	56,08	340	108
UFLAB556	0,22	0,19	0,08	0,45	0,16	4,69	4,64	3,55	5,52	0,76	5,7	5,7	5,4	6,1	0,3	191	183,4	164,9	222	26,29
UFLAR1440	0,32	0,33	0,13	0,63	0,18	5,07	5,14	4,61	5,51	0,37	6,3	6,4	6,0	6,6	0,3	333	285,2	162,1	601	158,4
Genotipo	PE (L ha ⁻¹)					PATR (Kg t ⁻¹)					PA (t ha ⁻¹)									
	Mean	Med	Min	Max	SD	Mean	Med	Min	Max	SD	Mean	Med	Min	Max	SD					
Amelia	1390,33	582,67	205,38	4853,83	1799,15	762,05	764,67	697,34	818,65	49,72	2,88	2,12	0,72	6,45	2,28					
Cotinga	1512,20	1324,10	1164,46	2048,05	470,87	819,98	819,54	805,31	835,09	14,89	6,21	6,89	3,48	8,25	2,46					
UFLA1192	3497,70	3086,46	818,57	8420,91	2913,16	808,88	814,50	752,37	866,66	37,87	9,85	8,20	4,20	17,30	5,80					
UFLA286	1788,41	2022,71	224,65	2888,37	969,90	786,70	791,77	731,45	814,89	32,09	6,07	5,79	3,26	9,25	2,15					
UFLAB556	1318,09	908,28	756,31	2770,02	837,84	877,74	893,75	827,89	920,81	45,02	5,99	4,16	3,50	11,50	3,38					
UFLAR1440	4910,80	4045,92	1027,96	9124,22	3284,81	747,24	757,78	682,31	784,99	36,76	10,34	10,30	4,33	16,58	4,37					

Mean- Média, Median-mediana, Min- mínimo, Max-máximo e SD- desvio padrão.

Fonte: Da autora (2025).

APÊNDICES F

Tabela 16 - Médias referentes a interação genótipo x época de colheita para as variáveis produtividade de etanol (PE), produção de etanol litros por toneladas de massa seca raízes (PETR), produtividade de amido (PA), produção de amido quilogramas por toneladas de raízes (PATR), acidez titulável (ACI), açúcares redutores (ART) e potencial hidrogénico (pH) dos seis genótipos selecionados para a produção de etanol da batata-doce. (continua)

Genotipo	Colheita	ACI (%)					ART (%)					pH					PETR (L t ⁻¹)				
		Mean	Med	Min	Max	SD	Mean	Med	Min	Max	SD	Mean	Med	Min	Max	SD	Mean	Med	Min	Max	SD
Amelia	120	0,44	0,32	0,32	0,67	0,20	4,69	4,52	4,39	5,17	0,42	4,69	4,52	4,39	5,2	0,42	372,21	215,63	203,92	697,08	281,41
Amelia	150	0,61	0,75	0,33	0,75	0,24	3,96	3,76	3,53	4,59	0,56	3,96	3,76	3,53	4,6	0,56	225,29	231,21	155,40	289,26	67,12
Cotinga	150	0,19	0,21	0,08	0,28	0,10	4,30	4,5	3,77	4,64	0,47	4,30	4,5	3,77	4,6	0,47	211,32	207,24	157,48	269,22	55,98
UFLA1192	120	0,67	0,67	0,58	0,75	0,09	5,26	5,28	4,92	5,59	0,34	5,26	5,28	4,92	5,6	0,34	196,86	168,70	93,79	328,10	119,67
UFLA1192	150	0,40	0,33	0,13	0,75	0,32	5,00	5,02	4,82	5,15	0,17	5,00	5,02	4,82	5,2	0,17	339,36	381,58	239,89	396,62	86,47
UFLA286	120	0,52	0,51	0,43	0,62	0,10	5,15	5,54	3,52	6,38	1,47	5,15	5,54	3,52	6,4	1,47	226,59	284,16	56,08	339,52	150,24
UFLA286	150	0,73	0,75	0,64	0,79	0,08	5,02	5,06	4,56	5,45	0,45	5,02	5,06	4,56	5,5	0,45	215,94	189,89	151,52	306,39	80,65
UFLAB556	120	0,19	0,19	0,08	0,3	0,16	4,56	4,56	4,48	4,64	0,11	4,56	4,56	4,48	4,6	0,11	190,46	190,46	164,92	216,00	36,12
UFLAB556	150	0,24	0,19	0,08	0,45	0,19	4,77	5,24	3,55	5,52	1,07	4,77	5,24	3,55	5,5	1,07	191,64	183,42	169,70	221,80	27,01
UFLAR1440	120	0,26	0,3	0,13	0,35	0,12	5,32	5,36	5,1	5,51	0,21	5,32	5,36	5,1	5,5	0,21	390,37	289,31	281,09	600,71	182,21
UFLAR1440	150	0,39	0,37	0,16	0,63	0,24	4,81	4,65	4,61	5,17	0,31	4,81	4,65	4,61	5,2	0,31	275,40	232,11	162,07	432,03	140,09

Tabela 16 - Médias referentes a interação genótipo x época de colheita para as variáveis produtividade de etanol (PE), produção de etanol litros por toneladas de massa seca raízes (PETR), produtividade de amido (PA), produção de amido quilogramas por toneladas de raízes (PATR), acidez titulável (ACI), açúcares redutores (ART) e potencial hidrogénico (pH) dos seis genótipos selecionados para a produção de etanol da batata-doce. (conclusão)

Genotipo	Colheita	PE L ha ⁻¹					PA t ha ⁻¹					PATR Kg t ⁻¹				
		Mean	Med	Min	Max	SD	Mean	Med	Min	Max	SD	Mean	Med	Min	Max	SD
Amelia	120	1776,92	271,55	205,38	4853,83	2664,89	2,19	0,99	0,72	4,86	2,31	734,63	719,19	697,34	787,35	46,95
Amelia	150	1003,74	685,14	480,20	1845,87	736,47	3,56	2,29	1,94	6,45	2,51	789,47	807,77	741,98	818,65	41,48
Cotinga	150	1512,20	1324,10	1164,46	2048,05	470,87	6,21	6,89	3,48	8,25	2,46	819,98	819,54	805,31	835,09	14,89
UFLA1192	120	1210,48	982,06	818,57	1830,82	543,41	5,31	4,58	4,20	7,14	1,60	785,87	786,83	752,37	818,40	33,03
UFLA1192	150	5784,91	4591,74	4342,10	8420,91	2286,25	14,38	16,59	9,27	17,30	4,45	831,89	814,65	814,35	866,66	30,11
UFLA286	120	1633,37	2239,78	224,65	2435,69	1223,92	4,95	5,31	3,26	6,27	1,54	783,95	805,50	731,45	814,89	45,71
UFLA286	150	1943,45	1805,65	1136,33	2888,37	884,11	7,19	7,68	4,66	9,25	2,33	789,45	778,03	776,05	814,28	21,52
UFLAB556	120	832,29	832,29	756,31	908,28	107,46	3,65	3,65	3,50	3,80	0,21	829,69	829,69	827,89	831,49	2,55
UFLAB556	150	1641,95	1302,49	853,33	2770,02	1002,42	7,56	7,02	4,16	11,50	3,70	909,77	914,76	893,75	920,81	14,20
UFLAR1440	120	5442,21	5105,84	2746,94	8473,84	2878,23	10,47	10,88	7,13	13,41	3,16	753,41	759,64	729,46	771,14	21,53
UFLAR1440	150	4379,39	2985,99	1027,96	9124,22	4224,16	10,21	9,72	4,33	16,58	6,14	741,07	755,91	682,31	784,99	52,92

Legenda: Mean- Média, Med-mediana, Min- mínimo, Max-máximo e SD- desvio padrão.

Fonte: Da autora (2025).

APÊNDICES G

Tabela 17 - Média das avaliações agronômicas considerando a interação genótipo x ano de cultivo para as características de produtividade total de raízes (PTR), produtividade de massa seca das raízes (PMSR) e densidade da raiz (DEN), dos 15 genótipos de batata-doce avaliados no verão e inverno. (continua)

Genotipo	Ano	PTR (t ha ⁻¹)					PMSR (t ha ⁻¹)					DEN (gcm ³)				
		Mean	Med	Min	Max	SD	Mean	Med	Min	Max	SD	Mean	Med	Min	Max	SD
Amelia	1	9.32	7.74	1.98	22.92	7.68	3.08	2.34	0.56	7.98	2.62	1.02	1.01	1.00	1.05	0.02
Amelia	2	3.82	3.01	0.00	12.96	3.96	1.05	0.91	0.00	3.99	1.32	1.02	1.02	1.01	1.04	0.02
Cotinga	1	10.37	4.37	0.00	26.91	11.86	3.25	1.92	0.00	9.88	3.81	1.04	1.05	1.00	1.07	0.03
Cotinga	2	7.26	5.56	1.39	17.50	5.56	2.10	1.57	0.00	5.17	1.91	1.05	1.05	1.04	1.07	0.01
Rubissol	1	7.02	5.36	0.00	23.02	7.10	2.03	1.74	0.00	6.49	2.30	1.05	1.04	1.02	1.09	0.04
Rubissol	2	7.68	8.68	0.93	13.89	4.72	2.09	1.61	0.00	5.14	1.98	1.02	1.02	1.00	1.04	0.02
UFLA1074	1	7.69	7.74	0.00	24.69	7.42	2.25	2.55	0.00	7.40	2.45	1.07	1.06	1.00	1.13	0.05
UFLA1074	2	15.78	14.48	3.77	32.87	10.21	3.82	3.44	0.00	8.63	2.84	1.04	1.04	1.02	1.06	0.02
UFLA1192	1	26.12	19.60	5.25	62.90	20.88	8.55	5.82	1.45	21.23	7.41	1.05	1.06	1.01	1.07	0.02
UFLA1192	2	7.97	4.17	0.00	31.25	10.16	2.36	1.21	0.00	9.18	3.02	1.02	1.02	1.00	1.04	0.02
UFLA1377	1	6.15	1.74	0.00	27.95	9.12	2.19	0.58	0.00	9.78	3.23	1.07	1.07	1.07	1.07	
UFLA1377	2	12.18	11.51	3.97	29.86	7.73	3.80	3.43	1.02	9.48	2.58	1.05	1.04	1.04	1.06	0.01
UFLA1404	1	17.40	18.06	8.02	26.21	7.26	6.16	5.97	2.33	10.47	3.04	1.06	1.06	1.04	1.09	0.02
UFLA1404	2	25.12	26.48	6.94	40.83	12.03	7.12	7.51	1.68	14.12	4.05	1.04	1.04	1.01	1.06	0.02
UFLA1476	1	5.88	2.28	0.00	32.41	10.90	1.57	0.14	0.00	9.69	3.33	1.03	1.04	1.00	1.04	0.02
UFLA1476	2	5.63	3.00	0.69	15.28	6.22	0.26	0.00	0.00	1.54	0.63	1.04	1.04	1.04	1.04	
UFLA210	1	11.05	10.34	0.60	19.27	6.18	2.81	2.57	0.13	4.99	1.67	1.02	1.01	1.00	1.08	0.03
UFLA210	2	17.14	14.93	0.40	43.23	14.35	4.01	1.51	0.00	12.14	4.76	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00
UFLA286	1	25.36	24.38	0.00	55.75	18.40	5.55	5.98	0.00	11.92	4.01	1.05	1.06	1.01	1.07	0.02
UFLA286	2	12.30	10.24	1.98	28.77	8.49	2.27	2.52	0.31	4.85	1.47	1.02	1.01	1.00	1.05	0.02
UFLA397	1	10.57	4.31	0.00	40.08	14.16	3.10	1.27	0.00	13.20	4.43	1.06	1.04	1.03	1.14	0.05
UFLA397	2	18.19	15.05	5.16	37.30	12.20	4.84	3.61	1.15	10.96	3.57	1.04	1.02	1.02	1.07	0.02
UFLA516	1	6.22	5.16	0.00	15.28	4.98	1.80	1.48	0.00	4.55	1.75	1.07	1.05	1.02	1.19	0.07
UFLA516	2	5.68	6.11	0.83	11.11	3.88	1.53	1.15	0.00	3.67	1.48	1.03	1.02	1.00	1.08	0.03
UFLA527	1	14.93	9.81	0.00	46.87	15.89	5.05	3.38	0.00	17.33	5.86	1.06	1.05	1.03	1.09	0.02
UFLA527	2	12.90	13.89	0.46	28.17	9.28	4.00	4.55	0.00	8.94	3.07	1.04	1.04	1.02	1.05	0.01

Tabela 17 - Média das avaliações agronômicas considerando a interação genótipo x ano de cultivo para as características de produtividade total de raízes (PTR), produtividade de massa seca das raízes (PMSR) e densidade da raiz (DEN), dos 15 genótipos de batata-doce avaliados no verão e inverno. (conclusão)

UFLAB556	1	12.45	12.70	0.00	32.64	10.26	4.29	4.21	0.00	12.49	3.87	1.06	1.06	1.03	1.09	0.02
UFLAB556	2	12.03	7.12	3.47	31.35	11.03	3.52	1.67	0.91	10.44	3.49	1.04	1.04	1.00	1.09	0.03
UFLAR1440	1	34.38	30.55	17.71	58.85	14.56	11.15	9.77	4.65	21.12	5.67	1.06	1.06	1.05	1.09	0.02
UFLAR1440	2	11.82	6.94	0.79	34.37	11.54	3.36	1.72	0.00	10.79	3.87	1.03	1.02	1.01	1.05	0.02

Mean- Média, Med- mediana, Min- mínimo, Max- máximo e DP- desvio padrão.

Fonte: Da autora (2025).

APÊNDICE H

Tabela 18 - Médias das avaliações agronômicas considerando a interação genótipo x ano de cultivo x épocas de colheitas para as características de produtividade total de raízes (PTR), produtividade de massa seca das raízes (PMSR) e densidade da raiz (DEN), dos 15 genótipos de batata-doce avaliados no verão e inverno. (continua)

Genotipo	Ano	Colheita	PTR (t ha ⁻¹)					PMSR (t ha ⁻¹)					DEN (gcm ³)				
			Mean	Med	Min	Max	SD	Mean	Med	Min	Max	SD	Mean	Med	Min	Max	SD
Amelia	1	90	5.93	7.74	1.98	8.06	3.42	1.69	2.17	0.56	2.34	0.98	1.01	1.01	1.01	1.01	0.00
Amelia	1	120	9.89	3.77	2.98	22.92	11.29	3.08	1.26	1.01	6.96	3.37	1.04	1.04	1.04	1.05	0.01
Amelia	1	150	12.16	9.03	6.02	21.43	8.17	4.48	3.09	2.37	7.98	3.05	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00
Amelia	2	90	1.23	0.69	0.69	2.31	0.94	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-	-	-	-	-
Amelia	2	120	3.94	4.17	3.01	4.63	0.83	1.20	1.10	0.91	1.58	0.35	1.02	1.02	1.01	1.04	0.02
Amelia	2	150	6.29	5.90	0.00	12.96	6.49	1.95	1.84	0.00	3.99	2.00	-	-	-	-	-
Cotinga	1	90	8.33	0.00	0.00	25.00	14.43	1.50	0.00	0.00	4.50	2.60	1.05	1.05	1.05	1.05	-
Cotinga	1	120	1.74	0.87	0.00	4.37	2.31	0.72	0.23	0.00	1.92	1.05	1.04	1.04	1.02	1.07	0.04
Cotinga	1	150	21.02	23.96	12.19	26.91	7.79	7.54	8.41	4.33	9.88	2.88	1.03	1.03	1.00	1.06	0.04
Cotinga	2	90	2.46	1.59	1.39	4.40	1.68	0.39	0.00	0.00	1.18	0.68	1.05	1.05	1.05	1.05	-
Cotinga	2	120	6.23	5.56	5.36	7.78	1.34	1.79	1.57	1.29	2.50	0.64	1.06	1.06	1.05	1.07	0.01
Cotinga	2	150	13.10	15.05	6.75	17.50	5.64	4.11	5.08	2.09	5.17	1.75	1.04	1.04	1.04	1.04	-
Rubissol	1	90	2.02	2.08	0.00	3.97	1.98	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-	-	-	-	-
Rubissol	1	120	4.17	5.36	1.39	5.75	2.41	1.32	1.74	0.41	1.80	0.79	1.05	1.04	1.02	1.09	0.04
Rubissol	1	150	14.88	11.11	10.52	23.02	7.05	4.79	4.08	3.79	6.49	1.48	-	-	-	-	-
Rubissol	2	90	4.09	2.08	0.93	9.26	4.51	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-	-	-	-	-
Rubissol	2	120	9.72	10.88	4.40	13.89	4.85	3.17	3.04	1.34	5.14	1.90	1.02	1.02	1.00	1.04	0.03
Rubissol	2	150	9.24	8.68	5.56	13.49	4.00	3.10	3.15	1.61	4.54	1.47	1.02	1.02	1.02	1.02	0.00
UFLA1074	1	90	2.12	3.17	0.00	3.17	1.83	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.08	1.08	1.08	1.08	-
UFLA1074	1	120	11.40	7.74	1.79	24.69	11.88	3.53	2.55	0.64	7.40	3.49	1.03	1.03	1.00	1.06	0.04
UFLA1074	1	150	9.55	8.68	8.33	11.63	1.81	3.22	3.14	2.59	3.93	0.67	1.09	1.09	1.06	1.13	0.05
UFLA1074	2	90	6.68	4.76	3.77	11.51	4.21	1.06	0.82	0.00	2.35	1.19	1.05	1.05	1.04	1.06	0.01
UFLA1074	2	120	20.94	19.17	14.48	29.17	7.50	4.97	4.58	3.44	6.90	1.76	1.03	1.03	1.02	1.04	0.01

Tabela 18 - Médias das avaliações agronômicas considerando a interação genótipo x ano de cultivo x épocas de colheitas para as características de produtividade total de raízes (PTR), produtividade de massa seca das raízes (PMSR) e densidade da raiz (DEN), dos 15 genótipos de batata-doce avaliados no verão e inverno. (continua)

Genótipo	Ano	Colheita	PTR (t ha ⁻¹)					PMSR (t ha ⁻¹)					DEN (gcm ³)				
			Mean	Med	Min	Max	SD	Mean	Med	Min	Max	SD	Mean	Med	Min	Max	SD
UFLA1074	2	150	19.73	18.25	8.06	32.87	12.47	5.42	5.49	2.14	8.63	3.24	1.02	1.02	1.02	1.03	0.01
UFLA1192	1	90	6.07	5.56	5.25	7.41	1.17	1.68	1.66	1.45	1.94	0.24	1.06	1.06	1.05	1.06	0.01
UFLA1192	1	120	22.00	19.60	19.44	26.97	4.30	6.71	5.82	5.58	8.73	1.75	1.06	1.06	1.05	1.07	0.01
UFLA1192	1	150	50.30	53.97	34.03	62.90	14.78	17.25	19.14	11.38	21.23	5.19	1.04	1.04	1.01	1.07	0.03
UFLA1192	2	90	1.06	0.79	0.00	2.38	1.21	0.21	0.00	0.00	0.64	0.37	-	-	-	-	-
UFLA1192	2	120	4.70	4.17	0.00	9.92	4.98	1.39	1.21	0.00	2.96	1.49	1.00	1.00	1.00	1.00	-
UFLA1192	2	150	18.15	15.48	7.74	31.25	11.98	5.47	4.65	2.57	9.18	3.38	1.03	1.03	1.02	1.04	0.01
UFLA1377	1	90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-	-	-	-	-
UFLA1377	1	120	2.89	1.74	0.17	6.75	3.43	0.90	0.58	0.06	2.08	1.05	1.07	1.07	1.07	1.07	-
UFLA1377	1	150	15.56	9.41	9.33	27.95	10.73	5.68	3.75	3.51	9.78	3.55	-	-	-	-	-
UFLA1377	2	90	6.88	5.16	3.97	11.51	4.05	1.81	1.33	1.02	3.08	1.11	1.04	1.04	1.04	1.05	0.01
UFLA1377	2	120	12.09	13.66	7.34	15.28	4.19	3.58	4.42	1.88	4.46	1.48	1.04	1.04	1.04	1.05	0.01
UFLA1377	2	150	17.56	13.89	8.93	29.86	10.94	6.02	5.15	3.43	9.48	3.12	1.05	1.05	1.04	1.06	0.01
UFLA1404	1	90	8.97	9.37	8.02	9.52	0.83	2.64	2.69	2.33	2.89	0.29	1.06	1.07	1.04	1.07	0.02
UFLA1404	1	120	21.89	21.39	18.06	26.21	4.10	7.61	7.45	5.97	9.41	1.72	1.07	1.07	1.04	1.09	0.03
UFLA1404	1	150	21.35	23.46	14.81	25.77	5.77	8.23	8.50	5.72	10.47	2.39	1.06	1.06	1.05	1.06	0.01
UFLA1404	2	90	12.41	13.61	6.94	16.67	4.97	2.99	3.35	1.68	3.95	1.18	1.04	1.04	1.04	1.04	0.00
UFLA1404	2	120	35.46	35.46	30.09	40.83	7.59	11.19	11.19	8.26	14.12	4.14	1.03	1.03	1.01	1.05	0.03
UFLA1404	2	150	30.94	33.05	22.87	36.90	7.25	8.54	9.21	6.76	9.64	1.56	1.06	1.06	1.05	1.06	0.01
UFLA1476	1	90	0.33	0.00	0.00	0.99	0.57	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.04	1.04	1.03	1.04	0.01
UFLA1476	1	120	18.37	18.37	4.34	32.41	19.85	5.52	5.52	1.36	9.69	5.89	1.00	1.00	1.00	1.00	-
UFLA1476	1	150	3.11	3.57	0.79	4.96	2.12	0.51	0.28	0.00	1.23	0.65	1.04	1.04	1.04	1.04	-
UFLA1476	2	90	0.84	0.84	0.69	0.99	0.21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-	-	-	-	-
UFLA1476	2	120	5.90	5.90	0.69	11.11	7.37	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-	-	-	-	-

Tabela 18 - Médias das avaliações agrônômicas considerando a interação genótipo x ano de cultivo x épocas de colheitas para as características de produtividade total de raízes (PTR), produtividade de massa seca das raízes (PMSR) e densidade da raiz (DEN), dos 15 genótipos de batata-doce avaliados no verão e inverno. (continua)

Genotipo	Ano	Colheita	PTR (t ha ⁻¹)					PMSR (t ha ⁻¹)					DEN (gcm ³)				
			Mean	Med	Min	Max	SD	Mean	Med	Min	Max	SD	Mean	Med	Min	Max	SD
UFLA1476	2	150	10.14	10.14	5.00	15.28	7.27	0.77	0.77	0.00	1.54	1.09	1.04	1.04	1.04	1.04	-
UFLA210	1	90	6.34	6.39	0.60	12.04	5.72	1.41	1.52	0.13	2.57	1.22	1.01	1.01	1.00	1.01	0.01
UFLA210	1	120	11.48	8.49	7.34	18.61	6.20	2.99	2.13	1.85	4.99	1.73	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00
UFLA210	1	150	15.32	16.36	10.34	19.27	4.55	4.02	4.60	2.64	4.83	1.20	1.04	1.04	1.01	1.08	0.05
UFLA210	2	90	5.92	2.43	0.40	14.93	7.87	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-	-	-	-	-
UFLA210	2	120	11.89	8.56	6.75	20.37	7.40	2.21	1.51	0.00	5.12	2.63	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00
UFLA210	2	150	33.62	29.17	28.47	43.23	8.33	9.82	9.10	8.21	12.14	2.06	1.00	1.00	1.00	1.00	-
UFLA286	1	90	5.50	5.38	0.00	11.11	5.56	1.16	1.17	0.00	2.30	1.15	1.04	1.04	1.01	1.06	0.04
UFLA286	1	120	30.16	28.64	20.52	41.32	10.48	6.39	6.60	4.01	8.57	2.29	1.07	1.07	1.07	1.07	-
UFLA286	1	150	40.43	41.14	24.38	55.75	15.70	9.11	9.43	5.98	11.92	2.98	1.05	1.05	1.04	1.06	0.01
UFLA286	2	90	7.88	5.16	1.98	16.49	7.63	1.26	0.94	0.31	2.52	1.14	1.04	1.04	1.02	1.05	0.02
UFLA286	2	120	13.16	15.87	4.76	18.85	7.42	2.42	2.61	0.85	3.82	1.49	1.01	1.01	1.01	1.01	0.00
UFLA286	2	150	15.86	10.24	8.56	28.77	11.21	3.12	2.71	1.79	4.85	1.57	1.02	1.01	1.00	1.05	0.03
UFLA397	1	90	0.57	0.00	0.00	1.70	0.98	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-	-	-	-	-
UFLA397	1	120	7.39	4.31	1.98	15.87	7.44	2.16	1.27	0.58	4.64	2.18	1.07	1.04	1.03	1.14	0.06
UFLA397	1	150	23.76	26.53	4.69	40.08	17.86	7.14	6.54	1.68	13.20	5.78	1.05	1.05	1.05	1.05	-
UFLA397	2	90	6.12	6.25	5.16	6.94	0.90	1.35	1.44	1.15	1.45	0.17	1.04	1.04	1.02	1.06	0.03
UFLA397	2	120	17.22	15.05	13.29	23.33	5.36	4.33	3.61	3.56	5.82	1.29	1.02	1.02	1.02	1.02	0.00
UFLA397	2	150	31.23	36.11	20.28	37.30	9.50	8.84	9.61	5.94	10.96	2.60	1.04	1.04	1.02	1.07	0.04
UFLA516	1	90	1.60	1.74	0.00	3.06	1.53	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-	-	-	-	-
UFLA516	1	120	6.39	5.16	3.24	10.76	3.91	2.04	1.48	0.91	3.72	1.49	1.09	1.05	1.02	1.19	0.09
UFLA516	1	150	10.67	10.32	6.42	15.28	4.44	3.35	3.37	2.14	4.55	1.20	1.04	1.04	1.02	1.06	0.03
UFLA516	2	90	2.04	0.93	0.83	4.37	2.01	0.38	0.00	0.00	1.15	0.66	1.08	1.08	1.08	1.08	-
UFLA516	2	120	5.71	6.11	2.22	8.80	3.31	1.07	0.79	0.00	2.42	1.23	1.00	1.00	1.00	1.00	-
UFLA516	2	150	9.30	10.18	6.60	11.11	2.38	3.12	3.56	2.15	3.67	0.85	1.02	1.02	1.02	1.02	0.00
UFLA527	1	90	4.83	3.77	2.38	8.33	3.11	1.35	1.23	0.00	2.84	1.42	1.03	1.03	1.03	1.03	-
UFLA527	1	120	15.61	18.85	0.00	27.98	14.27	5.03	5.86	0.00	9.22	4.66	1.06	1.06	1.04	1.09	0.04
UFLA527	1	150	29.08	29.08	11.28	46.87	25.17	10.63	10.63	3.92	17.33	9.48	1.06	1.06	1.05	1.07	0.01

Tabela 18 - Médias das avaliações agronômicas considerando a interação genótipo x ano de cultivo x épocas de colheitas para as características de produtividade total de raízes (PTR), produtividade de massa seca das raízes (PMSR) e densidade da raiz (DEN), dos 15 genótipos de batata-doce avaliados no verão e inverno. (conclusão)

Genotipo	Ano	Colheita	PTR (t ha ⁻¹)					PMSR (t ha ⁻¹)					DEN (gcm ³)				
			Mean	Med	Min	Max	SD	Mean	Med	Min	Max	SD	Mean	Med	Min	Max	SD
UFLA527	2	90	3.59	2.18	0.46	8.13	4.03	0.69	0.00	0.00	2.08	1.20	1.04	1.04	1.04	1.04	0.00
UFLA527	2	120	13.23	15.05	7.74	16.90	4.84	4.45	4.87	2.75	5.75	1.54	1.04	1.04	1.04	1.04	0.00
UFLA527	2	150	21.89	23.61	13.89	28.17	7.30	6.85	7.07	4.55	8.94	2.21	1.04	1.04	1.02	1.05	0.02
UFLAB556	1	90	5.11	3.77	3.24	8.33	2.80	1.68	1.18	1.04	2.81	0.98	1.06	1.06	1.05	1.06	0.01
UFLAB556	1	120	9.19	12.70	0.00	14.88	8.04	2.93	4.21	0.00	4.59	2.54	1.04	1.04	1.04	1.04	0.00
UFLAB556	1	150	23.05	22.02	14.48	32.64	9.12	8.27	7.68	4.65	12.49	3.95	1.07	1.08	1.03	1.09	0.03
UFLAB556	2	90	5.96	6.77	3.47	7.64	2.20	1.40	1.63	0.91	1.67	0.43	1.04	1.04	1.00	1.09	0.06
UFLAB556	2	120	7.12	4.86	4.17	12.35	4.53	2.08	1.51	1.35	3.38	1.13	1.04	1.04	1.04	1.04	0.00
UFLAB556	2	150	23.01	30.55	7.12	31.35	13.77	7.09	8.54	2.28	10.44	4.27	1.04	1.04	1.02	1.05	0.02
UFLAR1440	1	90	20.11	18.83	17.71	23.78	3.23	6.17	6.15	4.65	7.72	1.53	1.06	1.06	1.05	1.06	0.01
UFLAR1440	1	120	42.17	43.19	30.55	52.78	11.15	13.84	14.11	9.77	17.65	3.94	1.05	1.05	1.05	1.06	0.01
UFLAR1440	1	150	40.87	35.12	28.64	58.85	15.91	13.44	12.86	6.34	21.12	7.41	1.07	1.08	1.05	1.09	0.02
UFLAR1440	2	90	2.24	2.55	0.79	3.37	1.32	0.20	0.00	0.00	0.61	0.35	1.04	1.04	1.04	1.04	-
UFLAR1440	2	120	7.44	6.94	6.35	9.03	1.41	1.77	1.72	1.60	1.99	0.20	1.03	1.03	1.01	1.05	0.03
UFLAR1440	2	150	25.77	25.40	17.53	34.37	8.43	8.10	8.18	5.33	10.79	2.73	1.02	1.02	1.02	1.02	0.00

Mean- Média, Med- mediana, Min- mínimo, Max- máximo e DP- desvio padrão.

Fonte: Da autora (2025)