



WANESSA DOS SANTOS FRAGA

**AVALIAÇÃO DE GENÓTIPOS DE BATATA-DOCE DO
PROGRAMA DE MELHORAMENTO DA UFLA PARA
OBTENÇÃO DE ETANOL**

LAVRAS-MG

2023

WANESSA DOS SANTOS FRAGA

**AVALIAÇÃO DE GENÓTIPOS DE BATATA-DOCE DO PROGRAMA DE
MELHORAMENTO DA UFLA PARA OBTENÇÃO DE ETANOL**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Química, para a obtenção do título de Bacharel.

Prof. Dr. Rafael Peron Castro

LAVRAS-MG

2023

WANESSA DOS SANTOS FRAGA

**AVALIAÇÃO DE GENÓTIPOS DE BATATA-DOCE DO PROGRAMA DE
MELHORAMENTO DA UFLA PARA OBTENÇÃO DE ETANOL
EVALUATION OF SWEET POTATO GENOTYPES FROM THE UFLA
IMPROVEMENT PROGRAM TO OBTAIN ETHANOL**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Química, para a obtenção do título de Bacharel.

APROVADO / REPROVADO em 25 de Julho de 2023

Dr. Geovani Marques Laurindo

Me. António Jorge Viegas Taula

Me. Debora Castro De Souza

Prof. Dr. Rafael Peron Castro

LAVRAS-MG

2023

AGRADECIMENTOS

A Deus por ter me capacitado e me auxiliando a superar as adversidades.

Aos meus pais, Wander Ferreira Fraga e Marta Ferreira dos Santos Fraga, por todo apoio, compreensão, exemplo, esforços nunca medidos para auxiliar-me a alcançar meus objetivos e indubitavelmente pelos princípios que me ensinaram e educação que me proporcionaram.

A minha irmã Weronica dos Santos Fraga e ao meu esposo Fábio H. Rodrigues por todo amor, apoio e cumplicidade.

Ao meu orientador Dr. Rafael Peron Castro, por toda confiança depositada e oportunidades proporcionadas para meu desenvolvimento profissional.

Ao Prof. Valter Carvalho de Andrade Junior e à técnica Stefany Martins, em nome dos quais manifesto meu agradecimento a todos os profissionais envolvidos no programa de melhoramento de batata doce conduzido pelo Setor de Olericultura do DAG/ESAL/ UFLA, que gentilmente cederam os materiais utilizados neste trabalho.

A Plataforma de Pesquisas Energéticas da UFLA, por me proporcionar tantos aprendizados e oportunidade.

A todos os membros, trainees e orientador do Núcleo de Estudos em Plantas Oleaginosas, Óleos Vegetais, Gorduras e Biocombustíveis (G'Óleo) por me auxiliar a desenvolver algumas pesquisas e me apoiar em cada decisão.

A todos que direta ou indiretamente coadjuvaram para que eu pudesse concluir minha graduação com êxito, meus sinceros agradecimentos.

RESUMO

A batata-doce, cientificamente denominada *Ipomoea batatas* L. (Lam), é uma hortaliça com desenvolvimento satisfatório sob fatores abióticos diversificados, gerando na ordem de 130 a 140 litros/toneladas de matéria-prima. Com diferentes aptidões agronômicas, a cultura da batata-doce fornece, a partir de suas raízes tuberosas, alimentação humana rica em vitaminas, produção de etanol e de suas ramas, alimentação animal. Recorrendo a análises literárias de teóricos renomados e pesquisa de campo, este trabalho vem corroborar com pesquisas já existentes sobre a eficiência energética da hidrólise enzimática de diferentes genótipos de batata-doce, cujo objetivo é a caracterização físico-química e quantificação de açúcar redutor total (ART), após a hidrólise enzimática de dez genótipos de batata-doce, com o emprego do ácido 3,5-dinitrosalicílico. O método de pesquisa baseia-se na obtenção da farinha e caracterização da mesma quanto a umidade livre, teor de cinzas, acidez titulável, pH e ART após a hidrólise, utilizando-se de metodologias dispostas pelo Instituto Adolf Lutz (2008) e pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, EMBRAPA- hortaliças.

Palavra chave: Batata-doce. Bioetanol. Melhoramento Genético.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01-	Formatos foliares mais comuns de batata-doce.....	12
Figura 02-	Fotomicrografia de grânulos de amido de batata-doce.....	15
Figura 03-	Estrutura molecular do amido	16
Figura 04-	Fluxograma de processamento de farinha de batata-doce.....	16
Figura 05-	Reação de oxi-redução do ácido 3,5-dinitrosalicílico	20
Figura 06-	Fluxograma do processo de SSF.....	21
Figura 07-	Genótipos de batata-doce do CDTT-UFLA.....	23
Figura 08-	Farinha de batata-doce de 10 genótipos	23
Figura 09-	Mosto do genótipo UFLA R1192 gelatinizado	26
Figura 10-	Mosto do genótipo UFLA R1192 pré-sacarificado	26
Figura 11-	Mosto do genótipo UFLA R1192 sacrificado	27
Figura 12-	Solução de glicose diluída e DNS previamente preparada.....	29
Figura 13-	Solução de glicose diluída e DNS após aquecimento.....	29
Figura 14-	Solução de glicose diluída, DNS e tartarato.....	30
Figura 15-	A: Farinha de batata-doce antes da análise de umidade; B: Farinha de batata-doce após a análise de umidade	32
Figura 16-	Amostra da farinha de batata-doce (FBD) em repouso com álcool; B: Amostra de FBD polpa roxa, antes e depois da titulação	33
Gráfico 01-	Curva padrão de açúcar redutor da amostra UFLA 1440.....	34
Gráfico 02-	Potencial produtivo de etanol por variedade de batata-doce.....	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 01-	Condições ótimas para as enzimas α -amilase e glucoamilase por diferentes autores	19
Tabela 02-	Genótipos de batata-doce para análise	22
Tabela 03-	Caracterização físico-químico e desvio padrão das farinhas dos genótipos de batata-doce	31
Tabela 04-	Concentração de açúcar redutor total em base úmida	35

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	8
2. OBJETIVOS	10
2.1. Objetivo Geral	10
2.1. Objetivos específicos	10
3. REFERENCIAL TEÓRICO	11
3.1. Botânica e morfologia da Ipomoea batatas (L.) Lam.	11
3.1.1 Sistema radicular	11
3.1.2. Folhas	11
3.1.3. Flores	12
3.1.4. Desenvolvimento de raízes tuberosas	13
3.1.4 Cultura da batata-doce	14
3.2. Estrutura amilácea	14
3.3. Processamento da batata-doce	16
3.4. Produção de etanol a partir de plantas amiláceas	17
3.4.2 Quantificação de açúcar redutor por DNS	20
4. METODOLOGIA	22
4.1. Matéria-prima e localização	22
4.2. Métodos	23
4.2.1. Umidade	24
4.2.2. Teor de cinzas	24
4.2.3. Acidez titulável	25
4.2.4. pH	25
4.2.5 Hidrólise enzimática	25
4.2.6. Solução padrão de Glicose	27
4.2.7. Reagente DNS	27
4.2.8. Solução de Tartarato	27
4.2.9. Solução de Hidróxido de sódio 2N	28
4.2.10. Solução de Ácido Clorídrico 2N	28
4.2.11. Curva padrão de glicose	28
4.2.12. Teste DNS	30
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
5.1. Caracterização da matéria-prima quanto a umidade, teor de cinzas, teor de acidez e pH	31
5.2. Açúcar redutor	34
CONCLUSÃO	37
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	38

1. INTRODUÇÃO

No contexto mundial, visa-se a obtenção de combustíveis renováveis, a fim de minimizar a poluição e emissão de gases poluentes na atmosfera. Dentre a classe de biocombustíveis, enquadra-se a produção de bioetanol a partir de plantas fibrosas, constituídas por amido. Quase um terço dos alimentos produzidos no mundo são desperdiçados e dentre o montante, 40 a 50% são constituídos por frutas, hortaliças, raízes e sementes oleaginosas. (GOMES, M. S. D. *et al.*, 2019)

Domesticada a mais de 5 mil anos na região tropical das Américas a batata-doce destaca-se mediante suas propriedades nutricionais, energéticas e minerais. Objetivando-se a diminuição do desperdício, determinadas quantidades de raízes tuberosas de batata-doce são direcionadas para as agroindústrias energéticas, como matéria-prima para a produção de bioetanol, devido suas características favoráveis em teor de amido e ciclo de produtivo (GOMES, M. S. D. *et al.*, 2019).

Na vertente do melhoramento genético de cultivares de batata-doce, esta hortaliça tem-se potencializado na taxa de produtividade de bioetanol em relação à cana-de-açúcar. A produção real do álcool, a partir de raízes tuberosas de batata-doce, estima-se na ordem de 130 a 140 litros/toneladas de matéria-prima, enquanto a cana-de-açúcar é cerca de 70 litros/tonelada (SOUZA, 2021).

De acordo Rizzolo (2014) a batata-doce *in natura* é constituída de 13,4% a 18,3% do polissacarídeo amido, que após ser hidrolisado à glicose, concomitantemente com outros açúcares redutores presentes na hortaliça, pode ser fermentado para a produção de etanol. A quebra do amido em açúcares menores, é realizada através da hidrólise enzimática ou química (ácida), sendo que a catálise enzimática promove maior especificidade quanto à reação e ao substrato (TORRES, LEONEL e MISCHAN, 2012).

A molécula de amido é formada através de ligações glicosídicas de moléculas de α -glicose, amilose (α 1-4) e amilopectina (α 1-6), a qual para ser convertida em etanol, primeiramente deve-se hidrolisar suas cadeias, a fim de rompê-las gerando monômeros de glicose. Como o processo de quebra do amido não ocorre de modo espontâneo, é necessário o uso de enzimas específicas para catalisar as ligações glicosídicas α - 1,4 e α -1,6 do polímero (ZANIN *et al.*, 2000).

A detecção dos monossacarídeos obtidos através da hidrólise do amido, far-se-á pela quantificação de açúcar redutor total (ART), fazendo-se uso de Reagente de Benedict,

Solução de Fehling, ácido DNS e adição do Reativo de Tollens. O emprego do método DNS, iniciou-se em 1959 por Miller, e é utilizado recorrentemente pelas agroindústrias, consistindo na reação do açúcar redutor com o ácido 3,5-dinitrosalicílico (DNS), que é reduzido a ácido 3-amino,5-nitrosalicílico. Mediante a capacidade do ácido em análise alterar sua tonalidade, a quantificação dos açúcares é feita por espectrofotometria (RISSO, 2014); EMBRAPA hortaliças,(NASCIMENTO, 2021).

Para completar a conversão do amido em etanol, após a hidrólise deste polissacarídeo, a glicose é quebrada em duas moléculas de ácido pirúvico ($C_3H_4O_3$), a qual é descarboxilado, e na ausência de oxigênio e sob influência da levedura (ex: *Sacharomyces cerevisiae*) gera-se acetaldeído e por conseguinte etanol e dióxido de carbono. (USP, 2021).

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

- Quantificar açúcares redutores totais (ART) após a hidrólise enzimática de dez genótipos de batata-doce.

2.1. Objetivos específicos

- Estudar a morfologia da *Ipomoea batatas* (L.) Lam.;
- Caracterizar a farinha de batata-doce em escala físico-química;
- Determinar o melhor genótipo de batata doce dentre dez com maior ART.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. Botânica e morfologia da *Ipomoea batatas* (L.) Lam.

A batata-doce é uma espécie dicotiledônea, pertencente à família das Convolvulaceae da espécie *Ipomoea batatas* (L.) Lam. (AUSTIN, 1988) Considerada uma planta perene cultivada como cultura anual, a batata-doce pode ser colhida entre 110 e 150 dias após a etapa de plantio, desde que a temperatura seja entre amena e a disponibilidade de água e nutrientes no solo sejam favoráveis. Embora seja denominada como hortaliça de amplo zoneamento agroclimático, com tolerância satisfatória à seca e solos com baixo índices nutricionais, a disposição de água e nutrientes favorecem o desenvolvimento e rendimento da planta (ECHER, 2015).

3.1.1 Sistema radicular

A *Ipomoea batatas* (L.) Lam., possui dois tipos de estrutura: a) raízes fibrosas que se propagam a partir das gemas e são incubadas por realizar a absorção de águas e nutrientes para toda hortaliça, bem como fixando-a no solo e b) raízes tuberosa que são raízes laterais que armazenam fotoassimilados (NUNES, 2016). O sistema radicular de plantas de batata-doce é obtido pelo início da propagação vegetativa com raízes adventícias que se desenvolvem em raízes fibrosas primárias a quais se ramificam em raízes laterais. Por possuir sistema radicular ramificado a absorção de nutrientes ocorre de maneira mais eficiente (ECHER, 2015).

Essa releitura de conceitos deixa em evidência a necessidade do melhoramento genético de diferentes cultivares de batata-doce, em que as raízes tuberosas ampliam suas aptidões comerciais e características bromatológicas, tais como aumento de carboidratos, proteínas, vitaminas, e estrutura física, variando o tamanho, a forma e a coloração da periderme e polpa (NUNES, 2016).

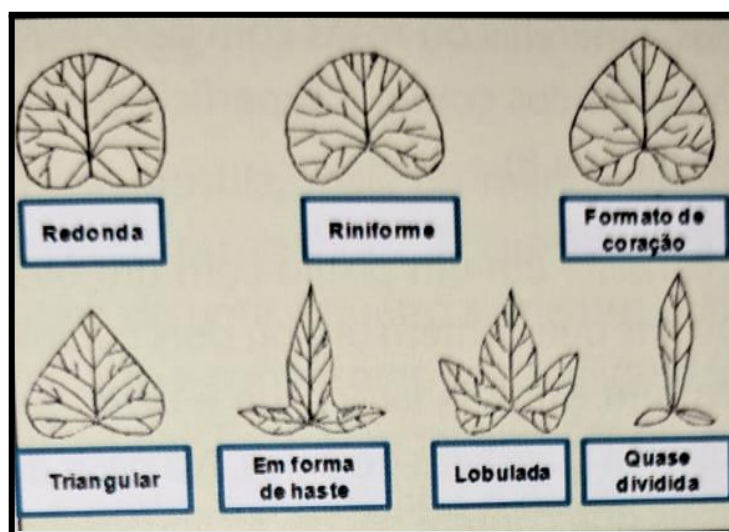
3.1.2. Folhas

Ao que tange as folhas da batata-doce, estas podem variar no seu formato e tamanho de acordo com cada clone e genótipo. Ademais, as folhas da batata-doce consistem no limbo foliar e pecíolo, dispostas em espiral e alternadas no caule (LEBOT, 2009; ERCHER, 2015).

A depender da cultivar, a extremidade da folha pode ser dentada, inteira ou lobular. A conformação geral do limbo foliar da batata-doce pode ter formato variado em virtude de cada genótipo, a fim de otimizar a captação de luz e absorção de dióxido de carbono (CO₂) (FOLQUER 1978).

Autores como Ercher (2015) e Folquer (1978) atribui o formato das folhas como redondas, reniformes, cordiforme (com formato de coração), triangulares, em forma de haste, lobulada, quase dividida, lanceolado e fendido (Figura 01) podendo chegar até 30 cm..

Figura 01- Formatos foliares mais comuns de batata-doce



Fonte: Echer (2015)

3.1.3. Flores

A capacidade de florescer varia de acordo com os cultivares de batata-doce. Segundo Echer (2015, p. 27), “em condições normais no campo, alguns cultivares não florescem, outros produzem poucas flores e outros produzem flores em abundância.” As flores são estruturas hermafroditas, sendo composta pelo cálice, corola, estames (órgão reprodutor masculino/ androceu) e pistilo (órgão reprodutor feminino/gineceu).

As flores apresentam diferentes colorações, formatos e tamanho ao variar os cultivares e genótipos de batata-doce. No mais, cada flor, apresenta 1 cálice contendo 5 sépalas, 1 corola com 5 pétalas conectadas entre si formando um funil, 5 estames e 1 pistilo (NUNES, 2016).

O limbo da corola, geralmente apresenta coloração lilás, roxa com traços avermelhados no interior das pétalas ou rosa claro, com medidas variadas entre 3 a 6 cm de comprimento e 2 a 5 cm de diâmetro. O androceu é constituído de 5 estames com filamentos

cobertos com glândulas de pelos de tamanhos variados e é parcialmente conectado à corola. As anteras possuem pigmentação amarelada, esbranquiçadas ou levemente rosáceas (LEBOT, 2009; ECHER, 2015). O gineceu compreende em 1 pistilo com um ovário superior, 2 carpelos e 2 lóculos com uma a duas unidades de óvulos. Na base do ovário, contém duas glândulas basais amarelas, com néctar que atrai insetos, em especial abelhas (*Anthophila*) que realizam a polimerização (FOLQUER, 1978; LEBOT, 2009;).

3.1.4. Desenvolvimento de raízes tuberosas

A fisiologia da batata-doce é indubitavelmente uma fonte de pesquisa inesgotável, e, esta fisiologia é dividida em três fases: a) desenvolvimento na parte aérea, b) crescimento radical com formação de raízes tuberosas e, c) prevalência da tuberização e aumento das raízes.

A primeira fase destina-se ao desenvolvimento da parte aérea constituída por caule herbáceo, também chamado de ramas ou hastes. De acordo com Erpen (2013), “seu crescimento prostrado que se fixa na superfície do solo pela emissão de raízes adventícias em seu nós”. Já na segunda fase, a batata-doce por ser uma dicotiledônea herbácea, além das hastes principais, ela desenvolve durante seu crescimento outras hastes, favorecendo assim, as ramificações, ou seja, ocorre o crescimento radical, a tuberização. Assim, na terceira fase, ocorre o prevaecimento da tuberização (QUEIROGA. *et.al* 2007).

O formato e tamanho das raízes tuberosas variam de acordo com a cultivar, tipo de solo, disposição de nutrientes, água, clima, entre outros. A coloração das polpas da batata-doce para o comércio e indústria é variável. Huamán (1999) Lebot (2009) caracterizam a coloração das raízes de batata-doce como branco, creme, creme escuro, amarelo pálido, amarelo escuro, laranja pálido, laranja intermediário, laranja escuro e fortemente pigmentado com antocianinas tendo tons arroxeados (SCHALLENBERGER, 2017)

Mediante a sua alta concentração de amido, podem se extrair desta raiz tuberosa e manipular por meio de hidrólise, açúcares simples, como glicose, favorecendo a produção de bioetanol, bem como utilizar-se da parte aérea para produção de alimentação animal (EMBRAPA, 1995).

3.1.4 Cultura da batata-doce

De acordo com a EMBRAPA hortaliças (NASCIMENTO, 2021) a batata-doce é uma hortaliça cultivada em todo território nacional, sendo o estado do Rio Grande do Sul o maior produtor brasileiro, gerando 175 mil toneladas por ano. Ademais, esta cultura destaca-se internacionalmente, sendo imprescindível para a segurança alimentar, devido ao seu alto valor nutricional, baixo valor econômico e curto prazo de colheita após o plantio, visto que, o manejo ideal do solo, corresponde práticas simples e essenciais para o desenvolvimento da hortaliça de maneira satisfatória, sem comprometer o ecossistema e qualidade do solo.

A batata-doce é uma raiz tuberosa de fácil propagação e adaptação a condições edafoclimáticas, ao comparar-se com culturas de cana-de-açúcar e milho. Por ser uma cultura de adaptabilidade elevada, sua adaptação ao solo, apresenta carácter satisfatório em diferentes modalidades, devido a facilidade de permeação das raízes no solo, condições de pouca fertilidade e baixas taxas de precipitação, visto que, a planta tolera déficit hídrico e solos mais pobres em nutrientes. Contudo, ela apresenta grande incremento de produtividade com fornecimento de adubação equilibrada e água em quantidade desejável (RISSO, 2014); EMBRAPA-hortaliças (NASCIMENTO, 2021).

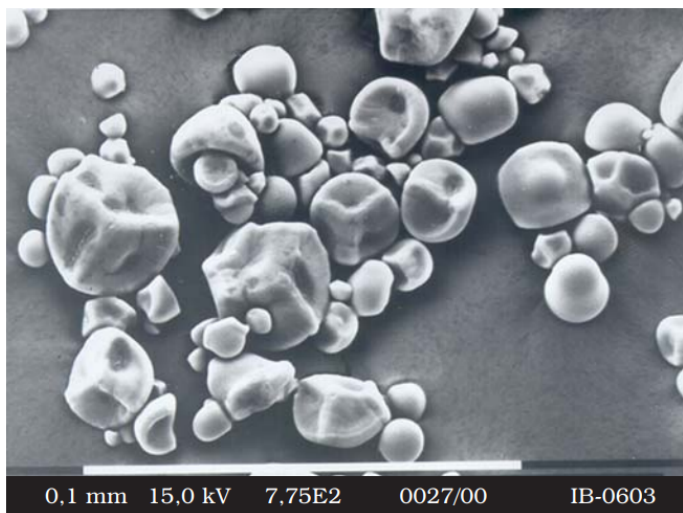
No cenário brasileiro, a produtividade desta cultura, mostra-se em progressão nos últimos anos, em decorrência da adoção de tecnologias de produção recomendadas para cultura e, a implementação de novos cultivares com potencial produtivo maior e tolerância a diferentes condições climáticas adaptadas para cada região (RISSO, 2014).

3.2. Estrutura amilácea

De acordo com Schweinberger (2016), o amido é um polissacarídeo avistado na natureza como reserva energética no reino Plantae constituído por monômeros de glicose conectadas por meio de ligações glicosídicas α -1,4 e α -1,6. 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.

Mediante as análises de Leonel (2007), o amido presente nos tubérculos de batata-doce (*Ipomoea batatas*) apresenta forma circular, poliédrica com grânulos variando entre 12 a 20 μ m. Os grânulos se desenvolvem a partir do hilum que são pontos de nucleação, que geram anéis concêntricos, denominados anéis de crescimento.

Figura 02- Fotomicrografia de grânulos de amido de batata-doce

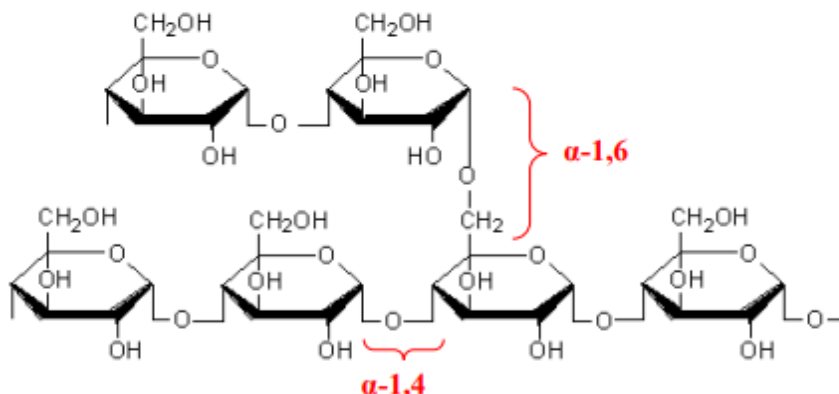


Fonte: Leonel, 2007

Em consonância com os postulados de Denardin e Silva (2009), as alterações das regiões cristalinas e amorfas entre os anéis de crescimento, favorecem a semi-cristalização do polímero amido, visto que, os grânulos contêm entre 15,5% e 45% de material cristalino de acordo com a difração de raios X. Ademais, a cristalinidade está interligada com uma das cadeias do amido, haja vista que, a amilopectina no estado cristalino possui sua estrutura compactada por ligações de hidrogênio, ocasionando a formação de dupla hélices.

Quimicamente, o amido é composto por 98% em peso seco de cadeias de amilose e de amilopectina que são polímeros de glicose. Tais polímeros se distinguem mediante a estrutura, sendo a amilose um polímero de cadeia linear, caracterizada pelas ligações α -1,4 e baixas concentrações de ligações α -1,6, sendo seu grau de polimerização na ordem de 500-5000 resíduos de glicose, compondo de 15 a 30% ao teor de amido. Análogo a amilose, a amilopectina é composta por cadeias lineares de ligações α -1,4 contendo 10 a 60 unidades de glicose e cadeias laterais de ligação α -1,6 com 15 a 45 unidades de glicose. Todavia, a cadeia da amilopectina é composta por ramificações em decorrência do teor elevado das ligações α -1,6, logo, com o aumento da superfície de contato, o grau de polimerização se torna mais ampliado, obedecendo a ordem de 4700 a 12800 resíduos de glicose (DENARDIN e SILVA, 2009).

Figura 03- Estrutura molecular do amido



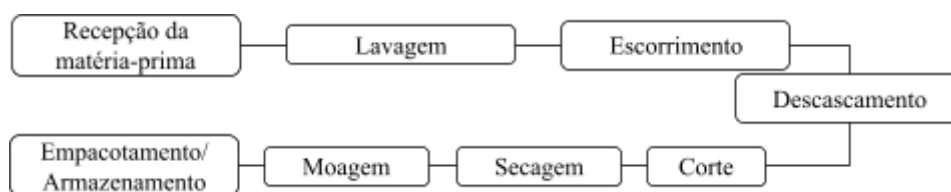
Fonte: Adaptado de Schweinberger, 2016

3.3. Processamento da batata-doce

A batata-doce é uma importante cultura na agricultura sendo constituída de 13,4% a 18,3% do polissacarídeo amido, que pode ser convertido em açúcares menores fermentescíveis, o que favorece o aproveitamento de raízes tuberosas sem padrão comercial pela indústrias de biocombustíveis. Deste modo, a batata-doce torna-se uma importante matéria-prima para a produção de etanol de 2ª geração, atingindo aproximadamente 85 litros de álcool anidro por tonelada de matéria-prima (GOMES, M. S. D. *et. al.*, 2019).

Em escala industrial, a utilização da matéria-prima ocorre com maior frequência *in natura*, outrora, a disposição de água nas raízes de batata-doce aumenta a ação enzimática e microbiana, favorecendo a degradação do alimento. A etapa de secagem, por ser uma adição de tarefas, favorece o aumento no custo da produção e na demanda de mão de obra. No mais, a desidratação do alimento, reduz o peso das etapas posteriores, gerando assim redução de energia em equipamentos, menos transportes e um mosto na fermentação com maior probabilidade de conversão de açúcares em álcool (RISSO, 2014).

Figura 04- Fluxograma de processamento de farinha de batata-doce



Fonte: Adaptado de Silva, 2010.

De acordo com Silva, 2010, ao receber as raízes tuberosas, é de suma importância realizar um planejamento de chegada e processamento de modo ágil para evitar a aceleração de deterioração do alimento, devido aos danos físicos causados durante o processo de transporte. As batatas-doces necessitam ser higienizadas com água limpa, em tanques ou painéis de lavagem com troca contínua de água, a fim de eliminar impurezas como terra, argila, composto orgânico proveniente do campo.

A fim de aumentar a eficiência do processo de secagem, Silva (2010) abrange em suas pesquisas o corte ideal da matéria-prima, sendo em rodela fina de espessura de aproximadamente de 3mm. Na etapa de secagem, diversas são as metodologias utilizadas. Riso (2014) estudou métodos de secagem distintos, como emprego de estufa de circulação forçada de ar a 60°C, microondas, liofilização, estufa de ar a 60°C, estufa a 105°C e secagem ao sol, observando que o emprego do microondas resultou em rendimento na hidrólise, e praticidade de operação mais favorável.

3.4. Produção de etanol a partir de plantas amiláceas

A busca por bioetanol a partir de matéria-prima amilácea vem se potencializando nas últimas décadas. Diferente na cana-de-açúcar, a utilização de plantas ricas em amidos usados como substrato para a ação da levedura *Saccharomyces cerevisiae*, microrganismos responsáveis pela fermentação alcoólica, necessita ter suas ligações glicosídicas rompidas, gerando monossacarídeos e trissacarídeos que são açúcares fermentescíveis. (COSTA, 2022; TABORDA, 2014)

3.4.1 Hidrólise ácida e enzimática

A degradação do amido pode ser efetivada por meio de hidrólise ácida ou enzimática, a qual é realizada a etapa de liquefação e sacarificação. De acordo com Hijazin, Simões, e Silveira (2010), a hidrólise ácida é decorrente da utilização de ácido mineral diluído ou concentrado, obtido de substância mineral inorgânica em meio aquoso. Mediante os resultados experimentais, tais autores afirmam que a utilização de ácidos fortes tais como ácido clorídrico ($\alpha = 92\%$) e ácido sulfúrico ($\alpha = 61\%$) geram resultados mais promissores durante a hidrólise ácida. Não obstante, o emprego deste tipo de hidrólise acarreta algumas desvantagens, tais como corrosão atenuada de equipamentos, emprego de temperaturas e pressões mais elevadas durante o procedimento, destruição parcial dos açúcares e necessidade

de refino com neutralização, o que gera certa quantidade de sal, que impossibilita a levedura de ter sua ação total (MIJAZIN, SIMÕES, E SILVEIRA, 2010).

No tocante à hidrólise enzimática, tal metodologia se encontra consolidada em países como China, Estados Unidos da América e Tailândia, sendo a produção de etanol estabelecida sobre as culturas de mandioca (*Manihot esculenta*) e milho (*Zea mays*) (GUPTA e VERMA, 2015). Deste modo, fazer-se-à rotas hidrolíticas com o emprego de enzimas, diminuem as taxas de erros em um procedimento. Quimicamente, as enzimas em sua maior parte são proteínas globulares formadas por uma apoenzima e um co-fator que atuam como biocatalisadores, tendo seu desempenho influenciado por fatores externos, tais como, concentração do substrato, pH e temperatura (SCHWEINBERGER, 2016).

As enzimas podem ser obtidas de diferentes fontes biológicas sendo a partir de animais, microorganismos e plantas. No entanto, as enzimas amilases comerciais são oriundas de bactérias e principalmente de fungos, isso porque, o grau de produção é facilitado ao que tange a estabilidade, extração enzimática, pH, temperatura e meios de cultivo de baixo custo, utilizando subprodutos agrícolas (BALAKRISHNAN *et al.*, 2021). De acordo com suas formas de atuação, as enzimas amilases podem ser divididas como endoamilases (EnA), exoamilases(ExA), desramificadoras (DA) e transferases conforme seus métodos de ação.

As endoamilases catalisam a hidrólise de ligações α -1,4 no interior do amido de forma randômica, gerando oligossacarídeos lineares e ramificados. Dentre estas, a mais conhecida é a α -amilase. Já as exoamilases, hidrolisam as extremidades das cadeias de amilose e amilopectina agindo tanto sobre as ligações α -1,4 quanto sobre as α -1,6. A exoamilase comumente empregada na produção de etanol é a glucoamilase. (SCHWEINBERGER, 2016, p.17).

No que concerne a ExA, estas hidrolisam as ligações glicosídicas a partir da extremidade não redutora da cadeia enzimática, liberando açúcares de baixa massa molecular como por exemplo glicose e maltose. Nesse grupo de enzimas, se enquadram as β -amilases, as α -glucosidases e as glucoamilases. As glucoamilases, comumente denominadas γ -amilases, liberam β -D-glicose, um açúcar fermentescível com grande potencial alcoólico (MARCIANO, 2023).

As amilases DA, em consonância com as ExA hidrolisam as ligações α -1,6 presentes no amido e liberam maltotriose. Neste grupo estão presente as enzimas isoamilases e as pululanases que hidrolisam sobretudo a molécula de pululano, que é um polissacarídeo linear de maltotrioses interligadas por ligações glicosídicas α -1,6 e que é degradado exclusivamente por esta amilase. Ademais, as Transferases são enzimas que hidrolisam as ligações

glicosídicas α -1,4 e transfere parte da molécula hidrolisada para um receptor glicolítico gerando novas ligações químicas. Deste modo, as quatro enzimas amiloíticas hidrolisam as cadeias do amido em sinergia (MARCIANO, 2023).

A ação sinérgica das enzimas endoamilases e exoamilases promovem progressão na eficiência da hidrólise do amido, visto que, favorecem o aumento na taxa de reação global e declínio na inibição pelos produtos das reações (CINELLI, 2012). Todavia, a α -amilase e a glucoamilase são utilizadas usualmente em etapas diferentes, em virtude das peculiaridades únicas, tais como, ação enzimática ótimo em temperatura e pH diferentes. Em plano inicial, a enzima α -amilase é adicionada, na etapa definida como liquefação em temperatura mediana e pH levemente alcalino. Após a liquefação, a temperatura e pH do mosto são ajustados para o favorecimento da ação enzimática da glucoamilase na etapa de sacarificação (SCHWEINBERGER, 2016).

Tabela 01- Condições ótimas para as enzimas α -amilase e glucoamilase por diferentes autores

Enzima	Temperatura °C	pH	Autor
α -amilase	80-95	5,0-7,0	CEREDA,2003
α -amilase	80	8,6	TABORDA,2014
glucoamilase	65	4,0-4,5	CEREDA,2003
glucoamilase	60	4,0-5,0	TABORDA, 2014

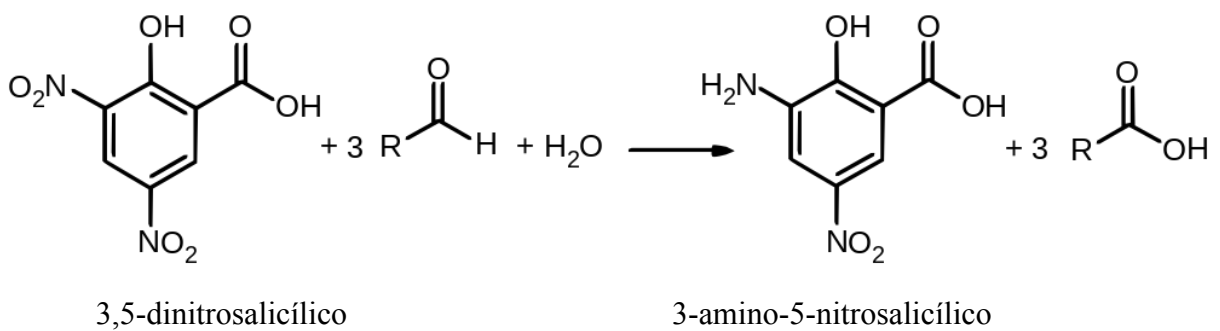
Fonte: Adaptado de CEREDA,2003 e TABORDA 2014.

Unindo as metodologias dispostas na literatura, as enzimas da etapa de liquefação, possuem condições ótimas em pH e temperatura entre 5,0-8,6 e 80-90°C, respectivamente. A utilização de temperaturas elevadas como 90°C favorecem a gelatinização do amido, bem como favorece a susceptibilidade na catálise enzimática. Na vertente etapa da sacarificação, a enzima glucoamilase, possui condições ótimas em pH e temperatura entre 4,0 à 5,0 e 60 à 70°C. Não obstante, as faixas de pH e temperatura podem variar de acordo com cada fabricante em virtude do aperfeiçoamento genético das cepas enzimáticas. Dentre as finalidades dos aperfeiçoamentos, enquadra-se: diminuição da quantidade utilizada, economia energética, elevação da ação enzimática, redução da temperatura ótima e aumento da flexibilidade da enzima em diferentes variações de pH e temperatura (SCHWEINBERGER, 2016).

3.4.2 Quantificação de açúcar redutor por DNS

O método do ácido 3,5-dinitrosalicílico (DNS) é um procedimento espectrofotométrico fundamentado na variação da pigmentação do DNS, um reagente amarelo, que é reduzido em ácido 3-amino-5-nitrosalicílico na presença de açúcares redutores totais (ART) apresentando coloração alaranjado (Figura 05). (SOUZA *et al.*, 2018). Dado que o DNS é reduzido pelos açúcares redutores (glicose e frutose), o método estabelece a concentração de ART na amostra, desprezando a presença de sacarose. A aplicação da metodologia de ART em meio alcalino foi desenvolvida por Miller em 1959 e consolidada em 2013 pela EMBRAPA hortaliças.

Figura 05- Reação de oxi-redução do ácido 3,5-dinitrosalicílico

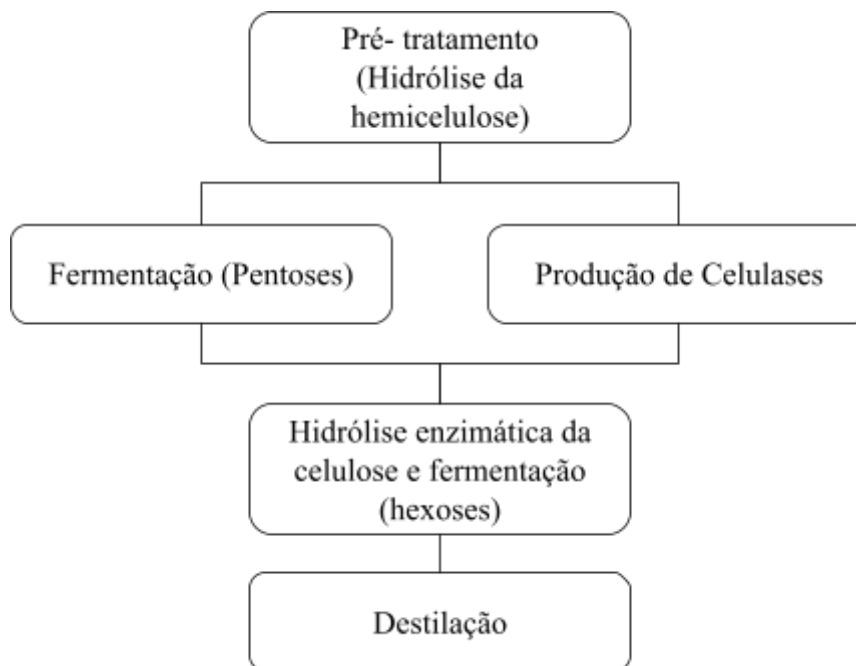


Fonte: Wikiwand, 2013

3.4.3. Sacarificação simultânea da fermentação

Além do processo sacarificação e fermentação separada (SHF), tem se destacado na literatura contemporânea, o emprego da sacarificação simultânea com a fermentação (SSF) (Figura 06), em que, após a etapa de liquefação, a enzima glucoamilase e a levedura fermentescível são adicionadas em etapa única. Durante este processo, os pH ótimos para a levedura e a enzima são próximos, logo, é necessário averiguação apenas da temperatura, a qual atua entre 30 e 35°C para leveduras do tipo *Saccharomyces cerevisiae* e 65°C para enzima do tipo glucoamilase. Mediante a alta sensibilidade da levedura, o mosto durante a SSF, ocorre em temperaturas condizentes com a da levedura. No mais, a glucoamilase, mesmo não estando em condições ótimas, possui tempo suficiente para realizar seu processo catalítico, visto que, o processo fermentativo demora aproximadamente 24 a 48 horas (VOHRA *et al.*, 2014)

Figura 06- Fluxograma do processo de SSF



Fonte: Adaptado de TEIXEIRA, 2019.

A atuação lenta da enzima glucoamilase na etapa de SSF remete algumas vantagens, uma vez que, a ação enzimática acelerada acarretaria em elevada concentração de glicose no mosto, promovendo pressão osmótica elevada, gerando um ambiente caótico para a levedura, podendo extingui-la. A fim de obter-se fermentação com o máximo de transformação de açúcares em energia celular, é fundamental que a glicose, frutose e sacarose sejam liberadas em proporção similar à metabolização da levedura (VOHRA *et al.*, 2014; SCHWEINBERGER, 2016).

Além da eficiência da levedura ser maior ao realizar a técnica de SSF, a atividade enzimática não é inibida pelo produto, dado que, a glicose não permanece livre em solução, sendo consumida periodicamente pela levedura, bem como o risco de contaminação por outros microrganismos que, poderiam consumir a glicose é diminuído, haja vista que há competição microbiológica entre a *Saccharomyces cerevisiae* e qualquer outra espécie. No mais, a economia energética mediante a diminuição da temperatura e economia do tempo de execução do processo é pautada como vantagem primordial na SSF (HUANG, 2022).

4. METODOLOGIA

Este capítulo apresenta os materiais e métodos utilizados para a execução do desenvolvimento do trabalho através de experimentos e análises. Após a apresentação dos materiais utilizados, estão descritos os procedimentos de caracterização e processamento da matéria-prima seca e triturada na forma de farinha. Subsequente, encontra-se o processamento utilizado para a execução da hidrólise enzimática.

4.1. Matéria-prima e localização

Este estudo utilizou-se 10 genótipos de batata-doce, obtidas no Centro de Desenvolvimento e Transferência de Tecnologia (CDTT) (21°14'16"S e 45°08'00"W, a 918 m de altitude), localizado na Fazenda Palmital, no município de Ijaci-MG, pertencente a Universidade Federal de Lavras (UFLA).

De acordo com Köppen (1936, p.22), a classificação climática regional é do tipo Cwa, possuindo inverno seco e verão com chuvas predominantes, com precipitação média anual de 1392,6 e temperatura média anual de 20,4°C. (BRASIL, 2020; DANTAS; CARVALHO; FERREIRA, 2007).

Tabela 02- Genótipos de batata-doce para análise

Genótipo	Coloração predominante da polpa das raízes
UFLA 1440	Roxo
UFLA B 397	Amarelo
UFLA B 556	Creme escuro
UFLA B 1404	Branco
UFLA BR 464	Creme escuro
UFLA L 286	Laranja intenso
UFLA R 1192	Roxo
UFLA R 1476	Roxo
UFLA RB 210	Amarelo Intenso
UFLA RB 527	Roxo

Fonte: Da autora (2023)

Figura 07- Genótipos de batata-doce do CDTT-UFLA



Fonte: Da autora (2023)

4.2. Métodos

Após a colheita, realizou-se a higienização das batatas-doce com água corrente e as raízes tuberosas foram armazenadas em temperatura de 18 a 23°C por 12 dias na Plataforma de Pesquisas Energéticas (PLAPE). Subsequentemente, cortou-se em rodela de aproximadamente 0,5 cm de espessura e desidratou em estufa de circulação de ar por 24 horas a 60°C as amostras. Em seguida, realizou-se a trituração da matéria-prima, fazendo-se uso de um moinho de facas tipo Willye modelo STAR FT-50 com peneira mesh 30, obtendo grânulos de aproximadamente 0,595 mm.

Figura 08- Farinha de batata-doce de 10 genótipos



Fonte: Da autora (2023)

4.2.1. Umidade

Para este procedimento, executou-se a análise “413/IV Farinhas e produtos similares” das Normas Analíticas do IAL (2008).

Pesou-se com precisão, aproximadamente 2 g da amostra de farinha de batata-doce em uma cápsula de porcelana previamente aquecida em estufa de 130°C, por uma hora e dez minutos, resfriou-se em um dessecador até a temperatura de 25°C para posteriormente fazer a pesagem.

Esta etapa, foi realizada em triplicata.

Cálculo:

$$\text{umidade a } 130^{\circ}\text{C \%}(m/m) = \frac{100 \cdot N}{P}$$

(equação 01)

N= n° de gramas de umidade

P= n° de gramas da amostra

4.2.2. Teor de cinzas

Para a execução desta análise, realizou-se a metodologia “018/IV Resíduo por incineração” das Normas Analíticas do IAL (2008).

Primeiramente, aqueceu-se um cadinho de porcelana em forno mufla laboratorial, modelo LF0912, JUNG à 550°C por 20 minutos, resfriou-o em dessecador até a temperatura ambiente e pesou em balança analítica. Esta etapa foi realizada até obter-se um peso constante da vidraria. Subsequente, pesou 5 g de amostra no cadinho calibrado e introduziu na mufla por aproximadamente 40 minutos, para obtenção de cinzas ligeiramente acinzentadas, e, em seguida, resfriou-se a amostra em dessecador e realizou-se a pesagem.

Cálculo:

$$\text{teor de cinzas \%}(m/m) = \frac{100 \cdot N}{P}$$

(equação 02)

N= n° de gramas de cinzas

P= n° de gramas da amostra

4.2.3. Acidez titulável

Este método baseou-se no experimento “415/IV Farinhas e produtos similares – Determinação de acidez álcool-solúvel” das Normas Analíticas do IAL (2008).

Primeiramente pesou-se com precisão, aproximadamente 2,50 g da amostra de farinha em um vidro-relógio. Subsequente, transferiu-se para um frasco Erlenmeyer de 125 mL e adicionou 50 mL de álcool-etílico 96°GL com o auxílio de uma pipeta volumétrica. Agitou-se o frasco por 30 segundos e manteve-se em repouso por 24 horas. Após o tempo em repouso, transferiu-se com auxílio de uma pipeta volumétrica, 20 mL do sobrenadante da solução para um frasco Erlenmeyer de 125 mL, adicionou 3 gotas de fenolftaleína e realizou-se a titulação com solução de hidróxido de sódio (NaOH) 0,01N, até a obtenção de uma solução com coloração rosa claro. Realizou-se o branco utilizando solução de álcool etílico.

Cálculo:

$$\text{teor de acidez \%}(v/m) = \frac{(V-V').f.100}{P.100}$$

(equação 03)

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 da solução de NaOH 0,01N

P = nº de g da amostra usada na titulação

4.2.4. pH

A análise de pH foi realizada diretamente em pHmetro microcontrolado 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).

4.2.5 Hidrólise enzimática

Adicionou-se 150 g de farinha de batata-doce e 450 mL de água destilada em um balão volumétrico de 1 L, e realizou a gelatinização por 20 minutos em temperatura de 60°C e rotação de 30 rpm utilizando o roto-evaporador.

Figura 09- Mosto do genótipo UFLA R1192 gelatinizado



Fonte: Da autora (2023)

Subsequente, ajustou-se o pH do mosto em aproximadamente 8,6 com solução de hidróxido de sódio 1N e adicionou a enzima α -amilase (1 mL/Kg de farinha). Sob agitação constante de 30 rpm, elevou-se a temperatura do sistema em 1°C/min até 90°C e manteve-se por 60 minutos nessa temperatura.

Figura 10- Mosto do genótipo UFLA R1192 pré-sacarificado



Fonte: Da autora (2023)

Em seguida, reduziu-se a temperatura do sistema para 60°C em taxa de desaquecimento à 1°C/min, ajustou-se o pH do mosto em 4,5 com solução de Ácido Clorídrico 1N e adicionou a enzima AMG (2 mL/Kg). Após 90 min, resfriou-se o mosto em temperatura ambiente.

Figura 11- Mosto do genótipo UFLA R1192 sacarificado



Fonte: Da autora (2023)

4.2.6. Solução padrão de Glicose

Pesou-se em balança analítica 0,1000 g de glicose PA, dissolveu-se em aproximadamente 20 mL de água destilada, sob agitação constante e transferiu-se para um balão volumétrico de 100 mL, completando-se o volume com água destilada até o menisco. Por fim, homogeneizou-se vigorosamente.

OBS: Esta solução foi preparada no dia da análise.

4.2.7. Reagente DNS

Solução preparada de acordo com o Protocolo para determinação de açúcares totais em hortaliças pelo método de DNS (EMBRAPA, 2014).

Primeiramente pesou-se 5,3 g de ácido, 3,5 dinitrossalicílico e 9,9 g de NaOH em um becker, adicionou 708 mL de água destilada e homogeneizou-se o sistema. Em seguida, adicionou-se no mosto 3,8 mL de fenol (fundido à 50 °C) e 4,0 g de metabissulfito de sódio. Por fim, homogeneizou-se a solução e a transferiu para um frasco âmbar, deixando em refrigeração.

4.2.8. Solução de Tartarato

Pesou-se 7,5 g de Tartarato duplo de sódio e potássio tetrahidratado

($\text{KNaC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) e dissolveu em 500 mL água destilada. Armazenou-se a solução em frasco âmbar em temperatura ambiente

4.2.9. Solução de Hidróxido de sódio 2N

Com o auxílio de uma proveta, pesou-se 40 g de hidróxido de sódio anidro em uma balança analítica, adicionou-se aproximadamente 50 mL de água destilada e homogeneizou-se. Em seguida, transferiu a solução para um balão de 500 mL, e ajustou o volume com água destilada até o menisco.

$$[c_{NaOH}] = \frac{m}{MM.v}$$

A solução foi armazenada em frasco âmbar

4.2.10. Solução de Ácido Clorídrico 2N

Adicionou-se 85 mL de ácido clorídrico em uma proveta e diluiu em 15 mL de água destilada. Em seguida, transferiu a solução para um balão volumétrico de 500 mL e completou com água destilada.

A solução foi armazenada em frasco âmbar.

4.2.11. Curva padrão de glicose

Atividade executada de acordo com o Protocolo para determinação de açúcares totais em hortaliças pelo método de DNS (EMBRAPA-hortaliças, MALDONADE, CARVALHO, FERREIRA, 2013). Este método consiste na reação do açúcar redutor com o ácido DNS (3,5-dinitrosalicílico) que gera amostras com variação na cor de acordo com a concentração glicolítica.

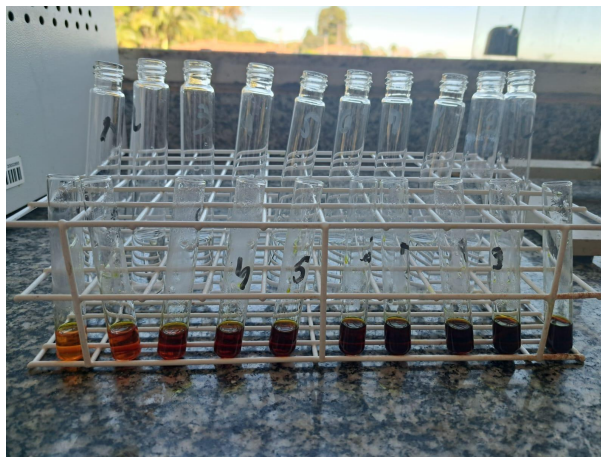
Foi transferido para tubos de ensaio de 20 mL a solução de glicose 1 g/L nas quantidades 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 e 10 mL e completada com água destilada até o volume de 10 mL. Em seguida, retirou-se uma alíquota de 1 mL de cada tubo, transferiu para um novo recipiente, adicionou 1 mL da solução de DNS (Figura 12), agitou o frasco lentamente até completa homogeneização e levou para aquecimento à 100°C em banho maria por 5 minutos (Figura 13).

Figura 12- Solução de glicose diluída e DNS previamente preparada



Fonte: Da autora(2023)

Figura 13- Solução de glicose diluída e DNS após aquecimento

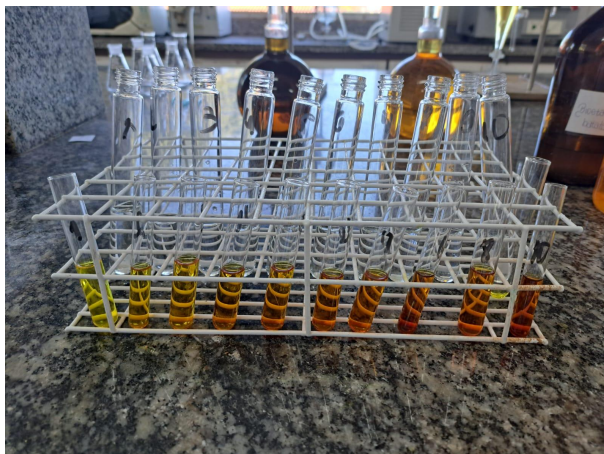


Fonte: Da autora (2023)

Em seguida, resfriou as amostras em banho de gelo por 5 minutos, e adicionou 16 mL de solução de tartarato. (Figura 14)

Por conseguinte, realizou a leitura da absorbância das amostras em um espectrofotômetro e plotou a curva padrão de glicose (concentração *versus* absorbância) no aplicativo planilhas Google, obtendo a equação da reta.

Figura 14- Solução de glicose diluída, DNS e tartarato



Fonte: Da autora (2023)

4.2.12. Teste DNS

Atividade executada de acordo com o Protocolo para determinação de açúcares totais em hortaliças pelo método de DNS (EMBRAPA, 2013)

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Esta seção aborda a caracterização físico-química da farinha de batata-doce obtida por secagem em estufa de circulação de ar. Ainda nesta seção, são apresentados e discutidos, os resultados da hidrólise enzimática e análise de açúcar redutor dos 10 genótipos, a fim de, identificar a raiz tuberosa com maior afeição para produção de etanol.

5.1. Caracterização da matéria-prima quanto a umidade, teor de cinzas, teor de acidez e pH

A Tabela 03 apresenta os resultados do teor de matéria seca, umidade livre, teor de cinzas e acidez titulável das farinhas de batata-doce na temperatura de secagem de 60°C.

Tabela 03- Caracterização físico-químico e desvio padrão das farinhas dos genótipos de batata-doce

Genótipo	Teor de matéria seca (%)	Umidade	Teor de cinzas	Acidez Titulável	pH
UFLA 1440	92,32 ±0,07	7,68%	2,44%	8,45%±1,33	5,88
UFLA B 397	93,67 ±0,03	6,33%	2,19%	9,96% ±0,93	5,51
UFLA B 556	94,59 ±0,03	5,41%	2,38%	12,41%±0,59	5,30
UFLA B 1404	90,24 ±0,04	9,76%	2,77%	3,17%±0,00	5,85
UFLA BR 464	94,94 ±0,02	5,06%	2,65%	2,49%±0,04	5,22
UFLA L 286	89,16 ±0,03	10,84%	4,87%	3,57%±0,02	5,87
UFLA R 1192	89,85 ±0,01	10,15%	3,81%	7,71%±0,12	4,56
UFLA R 1476	94,88 ±0,00	5,12%	3,79%	9,77%±0,07	4,47
UFLA RB 210	87,40 ±0,09	12,60%	5,23%	3,52%±0,01	6,09
UFLA RB 527	90,46 ±0,02	9,54%	2,50%	2,82%±0,01	5,50

Fonte: Da autora (2023)

Os dados obtidos de umidade/teor de água para as diferentes farinhas de batata-doce são condizentes com os autores Borba, Sarmiento e Leonol (2005) e os padrões estabelecidos pela legislação brasileira em vigor, a qual convencionou que as mesmas necessitam ter umidade inferior a 15% (BRASIL, 1978). Outrora, o método de teor de água realizado fornece apenas a umidade livre, em determinada temperatura de secagem. Logo, é possível que

resquícios de água permaneçam ligados às proteínas, sendo necessário a realização do métodos de destilação e Karl Fischer para obtenção de teores de água mais precisos. Vale ressaltar que, a umidade fora das especificações técnicas resulta em alterações fisiológicas, deterioração microbiológica, instabilidade química e perda da qualidade geral da matéria-prima. Por isso, faz-se necessário realizar tal análise a fim de evitar a degradação do amido que favorece a formação de álcool após a hidrólise.

Ademais, observa-se que os teores de água variaram significativamente entre os genótipos, o que pode implicar em variações na quantidade de proteínas presentes nas raízes tuberosas, espessura do corte da matéria-prima, temperatura e tempo de secagem (KARATANOS, 1999).

Figura 15- A: Farinha de batata-doce antes da análise de umidade; B: Farinha de batata-doce após a análise de umidade



Fonte: Da autora (2023)

Ao analisar o pH dos diferentes genótipos, observou-se que as batatas-doces com polpas fortemente pigmentadas com antocianina (roxa) são as que apresentam maiores variações na faixa de pH, em comparação com os genótipos de polpa branca, creme e laranja, que são ricos no pigmento β -caroteno. Os genótipos de batata-doce de polpa roxa, apresentaram um desvio padrão de $\pm 0,60$ nas suas faixas de pH, enquanto os genótipos creme e branco em consonância com amarelo apresentaram desvio padrão de $\pm 0,15$ e $\pm 0,24$ respectivamente.

De acordo com Bordignon Jr. (2009) e LEE, J. *et al.* (2005) as antocianinas podem sofrer variações em suas estruturas químicas mediante a fatores climáticos, pH e interação com outras substâncias químicas, sendo o pH o fator predominante na variação do pigmento. Vale ressaltar que o aumento do pH pode ser influenciado pela conversão de açúcares por enzimas sintetases de amido (ROESLER, *et al.*, 2008).

O genótipo RB210, apresentou maior umidade livre, teor de cinzas e pH. Considerando-se todos os acessos estudados, esses constituintes variaram de 5,06% a 12,60%, 2,19% a 5,23% e 4,47% a 6,07%, respectivamente. Na tangente análise de acidez titulável a amostra UFLA BR464 apresentou menor acidez e a amostra UFLA B556 apresentou maior acidez titulável correspondendo a 12,41%.

Ao realizar a análise de acidez titulável com indicador fenolftaleína, a margem de erro do experimento é considerável, visto que, as soluções contendo amostras dos genótipos fortemente pigmentadas, ao serem tituladas com hidróxido de sódio mudaram de coloração, mas não aderindo tons rosa. Logo, para identificar o ponto de viragem com mais precisão, adotou-se que a solução ao chegar em pH próximo à 8,5, a quantidade de NaOH titulado seria interrompida.

Figura 16- A: Amostra da farinha de batata-doce (FBD) em repouso com álcool; B: Amostra de FBD polpa roxa, antes e depois da titulação

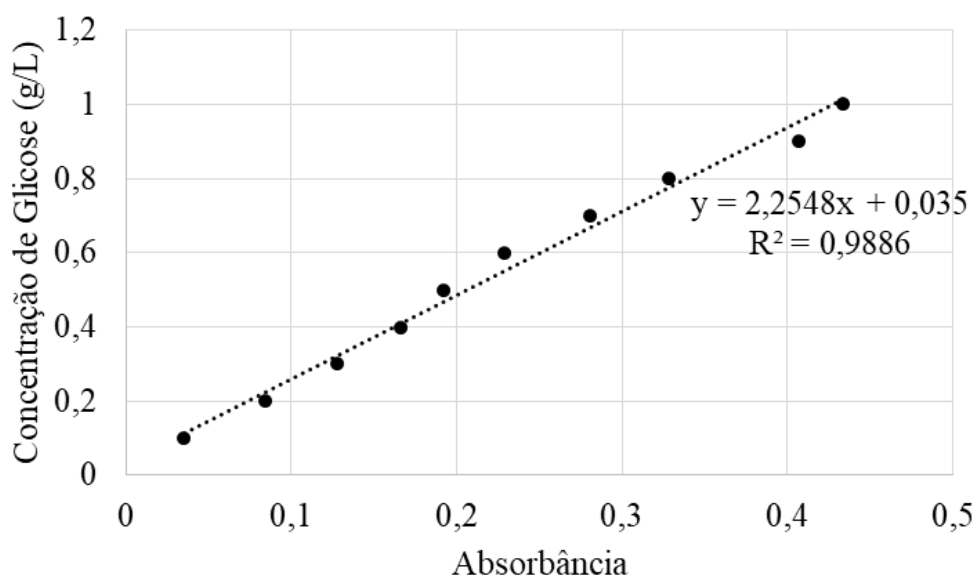


Fonte: Da autora (2023)

5.2. Açúcar redutor

Após a execução da hidrólise enzimática, os açúcares redutores foram quantificados por espectrofotometria (Tabela 04), utilizando-se uma curva padrão de glicose preparada no dia da análise do respectivo genótipo (Gráfico 01).

Gráfico 01- Curva padrão de açúcar redutor da amostra UFLA 1440



Fonte: Da autora (2023)

Em virtude das elevadas concentrações de ART presentes nos mostos de batata-doce hidrolisada, DNS e tartarato, foi necessário realizar diluições das amostras com água destilada até adequar-se a absorbância das amostras com a faixa obtida ao elaborar a curva padrão da glicose. A concentração final da solução é a variável dependente "y" da curva padrão de glicose, sendo a variável independente "x", a absorbância medida pelo espectrofotômetro. Ademais, para calcular a concentração de ART por via úmida presentes na batata-doce, multiplicou-se a variável dependente da equação da reta da concentração de glicose pela quantidade de diluições em litros.

Exemplo:

Considerando 10 g de farinha de batata-doce homogeneizada e diluída para 50 mL com água destilada em um balão volumétrico, tem-se que:

$$\text{ABS (absorbância)} = 0,580$$

$$\text{Concentração final da solução} = 2,2548 * 0,580 + 0,0350 = 1,343 \text{ g/L}$$

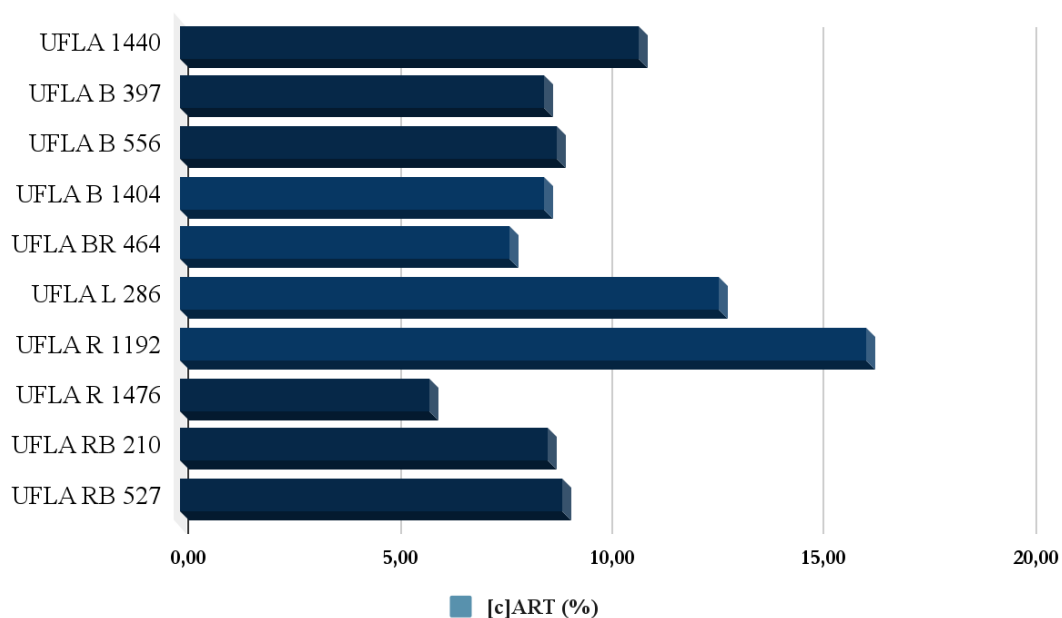
Concentração final em Base Úmida = $(1,343 \text{ g} * 50 \text{ mL})/1000 \text{ mL} = 0,0671 \text{ g AR/g}$ batata ou 6,71% (p/p).

Tabela 04- Concentração de açúcar redutor total em base úmida

Genótipo	diluição	ABS	Concentração [gAR/g batata]
UFLA 1440	83mL	0,563A	0,1083
UFLA B 397	66mL	0,589A	0,0861
UFLA B 556	67mL	0,570A	0,0890
UFLA B 1404	100mL	0,565A	0,0861
UFLA BR 464	58mL	0,576	0,0779
UFLA L 286	95mL	0,576A	0,1271
UFLA R 1192	117mL	0,598A	0,1619
UFLA R 1476	50mL	0,510A	0,0592
UFLA RB 210	65mL	0,573A	0,0869
UFLA RB 527	66mL	0,586A	0,0902

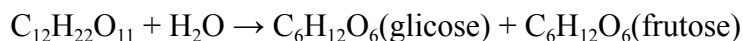
Fonte: Da autora (2023)

Gráfico 02- Potencial produtivo de etanol por variedade de batata-doce



Fonte: Da autora (2023)

A partir dos dados obtidos, observa-se que o genótipo UFLA R1192 obtém a maior concentração de açúcar redutor. Com isso, o potencial energético deste genótipo se mostra mais atraente para estudos, podendo gerar maiores quantidades de etanol, visto que a obtenção deste biocombustível é dada pela transformação de açúcares fermentescíveis (redutores) em álcool conforme expressos nas equação abaixo:



(equação 04)



(equação 05)

De acordo com Silva (2023), os genótipos UFLA 210, UFLA 397, UFLA 464, UFLA 527, UFLA 556, UFLA 1192, UFLA 1404, UFLA 1440 e UFLA 1476, apresentam múltiplas aptidões sustentáveis, destacando os genótipos UFLA 397, UFLA 556 e UFLA 1404, no quesito produção de etanol. Silva (2023) ainda destaca o genótipo UFLA 556 com acúmulo de amido elevado em suas raízes tuberosas e desenvolvimento vigoroso e, o genótipo UFLA 1440 como ótimo padrão comercial. Sabendo disto, identificar o genótipo de batata-doce com maior potencial energético vai além de quantidades de açúcar redutor total presentes na raiz tuberosa, sendo necessário considerar a produtividade por hectare e fatores abióticos.

CONCLUSÃO

Através da caracterização físico-química da hidrólise enzimática dos genótipos de batata-doce, e da quantificação de açúcar redutor total por ácido DNS, conclui-se que, a raiz tuberosa UFLA R1192 apresenta maior concentração de glicose livre, sendo a mais propícia a converter os açúcares simples em etanol durante a fermentação.

Ademais, o genótipo UFLA R1476, apresenta a menor quantidade de açúcar redutor total em sua composição, sendo o menos indicado a produção de etanol de segunda geração. Corroborando às demais análises físico-químicas realizadas, observa-se que o genótipo UFLA RB210 apresentou maior umidade, teor de cinzas e pH resultando em farinha com maior potencial degradativo, e maior quantidade de resíduos inorgânicos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AUSTIN, D. F. **The taxonomy, evolution and genetic diversity of sweet potatoes and related wild species**. Exploration, maintenance, and utilization of sweetpotato genetic resources, p. 27-60, 1988.
- BALAKRISHNAN, M.; *et al.* **Optimization and scale-up of α -amylase production by *Aspergillus oryzae* using solid-state fermentation of edible oil cakes**. BMC Biotechnology, v. 21, n. 1, p. 33, 2021.
- BORBA, A.M. ; SARMENTO, S. B. S.; LEONEL, M. **Efeito dos parâmetros de extrusão sobre as propriedades funcionais de extrusados da farinha de batata-doce**. Ciênc. Tecnol. Aliment., Campinas, v.25 n.4, p. 835-843, 2005.
- BORDIGNON Jr. C.L. *et al.* **Influência do pH da solução extrativa no teor de antocianinas em frutos de morango**. 2007. Ciênc. Tecnol. Aliment., Campinas, v.29 p.183-188, 2009.
- BRASIL, Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução – RDC nº 12** de 24 de agosto de 1978.
- BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. Instituto Nacional de Meteorologia. **Normais climatológicas (1991-2020)**. Brasília, 2020.
- CEREDA, M. P. **Tecnologia, usos e potencialidades de tuberosas amiláceas latino americanas**. Fundação Cargill, 2003. Disponível em: <<http://books.google.com.br/books?id=XoH4ZwEACAAJ>>. Acesso em 30 de junho de 2023.
- CINELLI, B. A. **Produção de etanol a partir da fermentação simultânea às hidrólise do amido granular de resíduo agroindustrial**. 2012, 200p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.
- COSTA, C.A.C.B. *et al.* **Estudo bromatológico e hidrólise ácida da batata-doce (*Ipomoea batatas*) para produção de biocombustível de segunda geração**. Campina Grande: Ed. Amplla, p. 141- 151, 2022.
- DANTAS, A. A. A.; CARVALHO, L. G. de; FERREIRA, E. **Classificação e tendência climática em Lavras, MG**. Ciência e Agrotecnologia, Lavras, MG, v. 31, n. 6, p. 1862-1866, 2007.
- DENARDIN, C. C.; SILVA, L. P. D. **Estrutura dos grânulos de amido e sua relação com propriedades físico-químicas**. Ciência Rural. Santa Maria. 39: 945 - 954 p. 2009.
- ECHER, F.R. **Nutrição e adubação de batata-doce**. 2015, p.94. Fábio Rafael Echer. Presidente Prudente: Ed. do Autor, 2015.
- EMBRAPA. **A cultura da batata-doce**. 1995, p. 94. Centro Nacional de Pesquisas de Hortaliças. Coleção Plantar. Brasília. 1995.

ERPEN, L. **Modelagem do Desenvolvimento e Produtividade de Batata-Doce**. 2013, p.68. Dissertação (Mestre em agronomia), Universidade de Santa Maria, Santa Maria, 2013.

FOLQUER, F. **La batata (camote): estudio de la planta y su producción comercial**. 164p. Ed. hemisferio sur, Buenos Aires, n.32, 1978.

GOMES, M.S.D. *et al.* **Simulação do processo de fermentação alcoólica do bioetanol a partir do resíduo de batata-doce (*Ipomoea batatas* L. (Lam.))** Brazilian Journal of Production Engineering, São Mateus, Ed. UFES/CEUNES/DETEC, 2019.

HIJAZIN, C.A.H.; SIMÕES, A.T.; SILVEIRA, D.R. **Hidrólise ácida, alcalina e enzimática**. Revista Atitude, Porto Alegre, v. 4, n. 7, 2010.

HUAMÁN, Z. **Botany, origin, evolution and biodiversity of the sweet potato**. Sweet potato Germplasm Management Training Manual. Lima, International Potato Center, p. 1-11, 1999.

HUANG, X.; MEISHAN, V.; XIE, J.; ZHONG, C.; ZHANG, H. **High titer ethanol production from poplar by aluminum chloride catalyzed organosolv pretreatment and simultaneous saccharification and fermentation**. Industrial Crops and Products, v. 181, 2022. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926669022002862>>. Acesso em 30 de julho de 2023.

IAL (INSTITUTO ADOLFO LUTZ). **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. Ed. 4, São Paulo: IAL, 1018p. 2008. Disponível em <http://www.ial.sp.gov.br/resources/editorinplace/ial/2016_3_19/analisedealimentosial_2008.pdf>. Acesso em: 25 Ago 2018. ISBN 9788533410387.

KÖPPEN, W. Das geographische System der Klimate. In: KÖPPEN, W.; GEIGER, R. (ed.). **Handbuch der Klimatologie**. Berlin: Gebrüder Bornträger, banda 1, parte C, 44p., 1936.

LEBOT, V. **Tropical root and tuber crops: cassava Sweet potato, yams and aroids**. 2008, 440 p. Cabi, Wallingford, ed.1, p.91-179, 2009.

LEE, J. *et al.* **Determination of total monomeric anthocyanin pigment content of fruit juices, beverages, natural colorants, and wines by the pH differential method: Collaborative study**. Journal AOAC International, v. 88, n. 5, p. 1269-1278, 2005.

LEONEL, M. **Análise da forma e tamanho de grânulos de amidos de diferentes fontes botânicas**. Ciênc. Tecnol. Aliment, Campinas, p. 579-588, 2007.

MALDONADE, I.R.; CARVALHO, P.G. B.; FERREIRA, N.A. **Protocolo para determinação de açúcares totais em hortaliças pelo método de DNS**. EMBRAPA Hortaliças - Centro Nacional de Pesquisas de Hortaliças. Brasília, 2013.

MARCIANO, C.L. **Produção e caracterização bioquímica do complexo amilolítico de *Humicola brevis* var. *thermoidea* e sua aplicação na sacarificação do amido**. 2023, 81p.

Dissertação (Mestre em Ciências (Bioquímica e Biologia Molecular)), Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2023.

NASCIMENTO, M.W. **Sistema de produção de batata-doce**. EMBRAPA Hortaliças - Centro Nacional de Pesquisas de Hortaliças. Brasília, 2021. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/documents/1355126/8971369/Sistema+de+Produ%C3%A7%C3%A3o+de+Batata-Doce.pdf/4632fe60-0c35-71af-79cc-7c15a01680c9>>. Acesso em: 08 de julho de 2023

NUNES, H. F. **Batata doce [*Ipomoea batatas* (L.) Lam] nas roças e quintais do litoral Paulista: diversidade genética morfoagronômica, com base em morfometria geométrica, descritores de produção de bioetanol**. 2016, p. 127. Tese (Doutor em Ciências), Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2016.

QUEIROGA, R. C. F. **Fisiologia e produção de cultivares de batata-doce em função da época de colheita**. Hortic. bras., v. 25, n. 3, p. 371-374, 2007.

RITSCHER, P.S.; HUAMÁN, Z. **Variabilidade morfológica da coleção de germoplasma de batata-doce da Embrapa-Centro Nacional de Pesquisa de Hortaliças**. EMBRAPA-hortalias, 2021, 8p. Pesq. agropec. bras., Brasília, v. 37, n. 4, p. 485-492, 2002.

RISSO, R. D. S. **Etanol de Batata-doce: Otimização do Pré-processamento da Matéria-prima e da Hidrólise Enzimática**. 2014, p. 98. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

RIZZOLO, J. A. **Estudo para o aproveitamento biotecnológico de variedades de batata-doce [*Ipomoea batatas* (L.) Lam] na fermentação alcoólica para a produção de etanol combustível e aguardente**. 2014. 122 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

ROESLER, P. V. S. DE O. *et al.* **Produção e qualidade de raiz tuberosa de cultivares de batata-doce no Oeste do Paraná**. Acta Scientiarum. Agronomy, v. 30, n. 1, p. 117-122, 2008.

SCHALLENBERGER, E. *et al.* **Novas cultivares de batata-doce: SCS370 Luiza, SCS371 Katiy, SCS372 Marina**. Agropecuária Catarinense, v. 30, n. 1, p. 43-47, 2017.

SCHWEINBERGER, C. M. **Inovação e otimização no processo de produção de etanol a partir de batata-doce**. 2016, 173p. Tese (Doutorado em Engenharia Química)- Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

SILVA, J. C.O. **Melhoramento genético da batata-doce: seleção multifuncional e análise de padrões fisiológicos relacionados à tolerância à seca**. 2023. Disponível em: <https://sigaa.ufla.br/sigaa/public/programa/defesas.jsf?lc=pt_BR&id=1696>. Acesso em 08 de julho de 2023.

SILVA, J. C.O. Seleção de clones de batata-doce para diferentes aptidões agronômicas. 2019, p.87. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Fitotecnia), Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2019.

SILVA, R.G.V. **Caracterização físico-química de farinha de batata-doce para produtos de panificação**. 2010, p.71. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos), Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Itapetinga, 2010.

SOUZA, C. Pesquisa e Inovação. **Melhoramento genético da batata-doce é tema de pesquisa no Departamento de Agricultura da UFLA**. Lavras, 2021. Disponível em: <<https://ufla.br/noticias/pesquisa/13195-melhoramento-genetico-da-batata-doce-e-tema-de-pesquisa-no-departamento-de-agricultura-da-ufla> >. Acesso em 08 de julho de 2023.

SOUZA, H. F. *et al.* **Uso do método ácido 3,5-dinitrosalicílico (ADNS) para quantificação de lactose em alimentos e suas aplicações**. 12º Fórum de Ensino, Pesquisa, Extensão e Gestão (FEPEG). Universidade Estadual de Montes Claros, Minas Gerais, 2018.

TABORDA, L.W. **Avaliação da viabilidade técnica e econômica da produção de etanol em planta piloto a partir da batata-doce (Ipomoea batatas)**. 2014, 92p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014.

TEIXEIRA, D.A. **Produção de etanol de segunda geração a partir de aguapé (Eichhornia crassipes)**. 2019, 83p. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia em Biocombustíveis), Universidade Federal dos Vales de Jequitinhonha e Mucuri, Teófilo Otoni, 2019.

TORRES, L. M.; LEONEL, M.; MISCHAN, M. M. **Concentração de enzimas amilolíticas na hidrólise do amido de gengibre**. Ciência Rural, Santa Maria, v. 42, n.7, p.1327-1332, 2012.

USP. QBQ0215-201. **Mapa metabólico**. 2021. Disponível em: <<https://edisciplinas.usp.br/mod/resource/view.php?id=3043491&forceview=1> >. Acesso em 13 de julho de 2023.

VOHRA, M. *et al.* **Bioethanol production: Feedstock and current technologies**. Journal of Environmental Chemical Engineering, v. 2, n. 1, p. 573-584, 2014. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2213343713002054> >. Acesso em 30 de junho de 2023

WIKIWAND. **Ácido 3,5-dinitrosalicílico**. 2023. Disponível em: <https://www.wikiwand.com/es/%C3%81cido_3,5-dinitrosalic%C3%ADlico >. Acesso em 09 de julho de 2023.

ZANIN, G. M. *et al.* Brazilian Bioethanol Program. **Applied Biochemistry and Biotechnology**. v. 84, p. 1147-1161, 2000. <https://doi.org/10.1385/ABAB:84-86:1-9:1147>