



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE  
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA E BIODIVERSIDADE**

**ANATOMIA, HISTOLOGIA E FITOQUÍMICA NO  
ESCURECIMENTO ENZIMÁTICO DO INHAME  
MINIMAMENTE PROCESSADO**

**VANESSA DOS SANTOS SANTANA SOUZA**

**2024**



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE  
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA E BIODIVERSIDADE**

**VANESSA DOS SANTOS SANTANA SOUZA**

**ANATOMIA, HISTOLOGIA E FITOQUÍMICA NO ESCURECIMENTO  
ENZIMÁTICO DO INHAME MINIMAMENTE PROCESSADO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Sergipe, como parte das exigências do Curso de Mestrado em Agricultura e Biodiversidade, área de concentração em Agricultura e Biodiversidade, para obtenção do título de “Mestre em Ciências”.

Orientador  
Prof. Dr. Marcelo Augusto Gutierrez  
Carnelossi

SÃO CRISTÓVÃO  
SERGIPE – BRASIL  
2024

**FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE**

S729a Souza, Vanessa dos Santos Santana.  
Anatomia, histologia e fitoquímica no escurecimento enzimático do inhame minimamente processado / Vanessa dos Santos Santana Souza; orientador Marcelo Augusto Gutierrez Carnelossi. – São Cristóvão, SE, 2024.  
43 f.: il.

Dissertação (mestrado em Agricultura e Biodiversidade) –  
Universidade Federal de Sergipe, 2024.

1. Agrobiodiversidade. 2. Dioscoreácea. 3. Fenóis. 4. Inhame. 5. Estresse oxidativo. I. Gutierrez Carnelossi, Marcelo Augusto, orient. II. Silva Mann, Renata

CDU 633.496

**VANESSA DOS SANTOS SANTANA SOUZA**

**ANATOMIA, HISTOLOGIA E FITOQUÍMICA NO ESCURECIMENTO  
ENZIMÁTICO DO INHAME MINIMAMENTE PROCESSADO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Sergipe, como parte das exigências do Curso de Mestrado em Agricultura e Biodiversidade, área de concentração em Agricultura e Biodiversidade, para obtenção do título de “Mestre em Ciências”.

APROVADA em 30 de julho de 2024.

Dr. Adriano do Nascimento Simões  
(UFRPE/UAST)

Dra. Renata Silva Mann  
(UFS)

Prof. Dr. Marcelo Augusto Gutierrez Carnellosi  
(Orientador)

SÃO CRISTÓVÃO  
SERGIPE – BRASIL

*Dedico primeiramente a Deus, Ele sabe de tudo (Jeremias 29,11), à minha mãe e a todos aqueles que não desistem de mim*  
**Dedico**

## SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS .....	i
LISTA DE TABELAS .....	ii
LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS .....	iii
RESUMO .....	iv
ABSTRACT .....	v
1. INTRODUÇÃO GERAL .....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA .....	2
3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	5
4. ARTIGO 1: ESTUDO HISTOQUÍMICO-ESTRUTURAL, FITOQUÍMICO E ENZIMAS DE ESCURECIMENTO EM INHAME MINIMAMENTE PROCESSADO.....	11
Resumo .....	11
4.1. Introdução .....	11
4.2. Material e Métodos .....	12
4.3. Resultados e Discussão .....	17
4.4. Conclusões .....	26
4.5. Referências Bibliográficas .....	26
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	31

## LISTA DE FIGURAS

## ARTIGO 1

Figura	Página
1 Fluxograma do processamento mínimo do inhame (Brito <i>et al.</i> , 2011), com adaptações.....	13
2 Delimitação da rodela do inhame minimamente processado ( <i>Dioscorea cayanensis</i> ) em regiões periférica, intermediária e central.....	14
3 Análise de imagem da rodela do inhame minimamente processado ( <i>Dioscorea cayanensis</i> ) em regiões periférica, intermediária e central. Fonte: Imagem capturada no equipamento de análise de imagem GroundEye®.....	15
4 Visão geral com diversas estruturas na rodela - (a) Corte transversal de feixe vascular - (b) Cristal de ráfide - (c) Amido - (d) Taninos - (e) Câmbio vascular - (e) Pontos de coloração marrom visualizados macroscopicamente na rodela - (f) Feixes vasculares - (g) Microfotos de secção transversal da rodela do inhame ( <i>Dioscorea cayanensis</i> ) no estágio inicial das regiões periférica, intermediária e central da rodela de inhame minimamente processado. As imagens de (a - c; e; g) foram coradas com azul de toluidina (0,05%) e a imagem (d) foi corada com lugol para mostrar o conteúdo de amido. A barra corresponde a 0,5µm.....	19
5 Acidez (a), pH (b), Teor de sólidos solúveis (°Brix) (c) e Firmeza (N) (d), Perda de massa (e). Análises físico-químicas em diferentes regiões da rodela de inhame minimamente processado. As barras representam o erro padrão da média.....	21
6 Índice de escurecimento (a), Índice de esbranquiçamento (b), Teores fenólicos totais (mg de ácido gálico 100 g <sup>-1</sup> MF) (c), Atividade da peroxidase – POD (µmol de Guaiacol gMF <sup>-1</sup> min <sup>-1</sup> ) (d), Atividade da fenilalanina amônia-liase (U.A min <sup>-1</sup> g <sup>-1</sup> MF) (e) e Atividade da polifenoloxidase –PPO (µmol de catecol. g <sup>-1</sup> MF <sup>-1</sup> min <sup>-1</sup> ) (f). Análises bioquímicas em diferentes regiões da rodela de inhame minimamente processado. As barras representam o erro padrão da média.....	22
7 Análise visual da região periférica, intermediária e central de inhame minimamente processado durante 15 dias de armazenamento. Escurecimento enzimático (a); estrias de esbranquiçamento (b). As barras representam o erro padrão da média. Rodelas de inhame minimamente processado. ....	24
8 Mecanismo para o escurecimento enzimático não homogêneo em rodelas de inhame minimamente processado em adição ao mecanismo proposto por Coelho Júnior <i>et al.</i> (2019). Durante o período de armazenamento, a rodela de inhame está vulnerável a fatores decorrentes do manuseio e/ou ambiente, como a ferida, temperatura e o tipo de embalagem. Estes fatores em combinação podem resultar na produção de sinal químico (Desconhecido) e a sua transdução, causando danos à membrana e aumento no teor de compostos fenólicos e atividade das enzimas oxidativas (PPO, POD e SOD). Esses eventos resultam na propagação do escurecimento enzimático não apenas de forma gradiente (de fora para dentro), como também escurecimento não homogêneo caracterizado por um escurecimento intenso em torno dos feixes	26

vasculares distribuídos aleatoriamente. No final do armazenamento, a região superficial apresenta pontos de coloração marrom distribuídos em toda extensão do tecido fundamental do inhame.....

## LISTA DE TABELAS

### ARTIGO 1

Tabela		Página
1	Escala tipo Likert para análise visual de inhame minimamente processado.....	16
2	Comparação histoquímica-anatômica entre as regiões periférica, intermediária e central em rodela de inhame minimamente processado ( <i>Dioscorea cayanensis</i> .....	17

**LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS**

PPO Polifenoloxidase

POD Peroxidase

PAL Fenilalanina

PVC Cloreto de vinila

FAO Organização das Nações unidas para a Alimentação e a Agricultura

g Grama

mL Mililitro

L Litro

$\mu$ L Microlitro

$\mu$ m Micrometro

mm Milímetro

IAL Instituto Adolf Lutz

## RESUMO

SOUZA, Vanessa dos Santos Santana. **Anatomia, histologia e fitoquímica no escurecimento enzimático do inhame minimamente processado**. São Cristóvão: UFS, 2024. 43p. (Dissertação – Mestrado em Agricultura e Biodiversidade)\*

O processamento mínimo do inhame causa uma série de danos celulares, que podem causar estresse oxidativo e desencadear o escurecimento enzimático dos tecidos, comprometendo assim a qualidade final do produto. O objetivo do presente trabalho foi caracterizar anatomicamente e avaliar os processos oxidativos nas regiões periférica, intermediária e central das rodela de inhame minimamente processado. Os tubérculos foram minimamente processados no formato rodela, mantidos em bandejas de poliestireno e armazenados a  $5\pm 2$  °C durante 15 dias com avaliações a cada três dias com quatro repetições. Foi realizada a caracterização anatômica e analisadas as características físico-químicas e bioquímicas, como fenóis totais, atividade da peroxidase (POD), polifenoloxidase (PPO) e fenilalanina amônia-liase (PAL) nas regiões periférica, intermediária e central. Foram identificadas diferentes estruturas nas diferentes regiões da rodela de inhame, tais como amido, cambio vascular, cristais de ráfides, parênquima com e sem amido, taninos e feixes vasculares, as quais estão distribuídas de forma irregular. O pH, a acidez, o brix e a firmeza mantiveram-se estáveis durante todo o período de armazenamento refrigerado e não foi verificada diferença significativa, desses parâmetros, entre as regiões analisadas. A atividade da PAL e teores de fenóis nos tecidos mantiveram-se estáveis, enquanto a atividade da PPO diminuiu com o tempo de armazenamento. Foi verificado também escurecimento em todas as regiões da rodela durante o período de armazenamento. Dessa forma, verificou-se que o armazenamento refrigerado regulou positivamente o metabolismo no tecido do inhame atenuando os efeitos fisiológicos induzidos pelo corte. A indução do escurecimento ocorre devido à distribuição dos feixes vasculares e da enzima PPO ao longo do tecido vegetal das rodela de inhame minimamente processado.

**Palavras-chave:** Feixe vascular, polifenoloxidase, compostos fenólicos, *Dioscorea*.

---

\* Comitê Orientador: Marcelo Augusto Gutierrez Carnelossi – UFS (Marcelo Augusto Gutierrez Carnelossi), Renata Silva Mann – UFS.

## ABSTRACT

SOUZA, Vanessa dos Santos Santana. **Anatomy, histology and phytochemistry in the enzymatic browning of minimally processed yams**. São Cristóvão: UFS, 2024. 43p. (Thesis - Master of Science in Agriculture and Biodiversity).\*

Minimally processed yams cause several types of cellular damage, which can produce oxidative stress and trigger enzymatic browning of tissues, thus compromising the final quality of the product. The aim of this study was to characterize and evaluate anatomically the oxidative processes in the peripheral, intermediate and central regions of minimally processed yam slices. The tubers were minimally processed in slice format, kept in polystyrene trays and stored at  $5\pm 2$  °C for 15 days, with evaluations occurring every three days with four repetitions. The anatomical characterization was conducted and the physicochemical and biochemical characteristics were analyzed, such as total phenols, peroxidase activity (POD), polyphenol oxidase (PPO) and phenylalanine ammonia lyase (PAL) in the peripheral, intermediate and central regions. Different structures were identified in the various regions of the yam slice, such as starch, vascular cambium, raphide crystals, parenchyma with and without starch, tannins and vascular bundles, which are irregularly distributed. The pH, acidity, brix and firmness remained stable throughout the refrigerated storage and there was no significant difference in these parameters in the analyzed regions. PAL activity and phenol content in the tissues remained stable, while PPO activity decreased with storage time. Darkening was also observed in all areas of the slice during the storage period. Thus, it was found that refrigerated storage positively regulated the metabolism in yam tissue, attenuating the physiological effects induced by cutting. The induction of browning is due to the distribution of vascular bundles and the enzyme PPO throughout the plant tissue of the minimally processed yam slices.

**Keywords:** Vascular bundle, polyphenol oxidase, phenolic compounds, Dioscorea.

---

\* Guidance Committee: Marcelo Augusto Gutierrez Carnelossi (Advisor), Renata Silva Mann (Adjunct advisor).

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

O inhame (*Dioscorea cayanensis*.) é um tubérculo amiláceo, pertence à família Dioscoreaceae (Baffour-ata *et al.*, 2023). Possui propriedades farmacológicas e nutritivas altamente valorizadas, sendo rico em vitaminas do complexo B, vitamina A, C e carboidratos, além de conter teores significativos de proteínas e compostos fenólicos (Lebot *et al.*, 2019). Além disso, os tubérculos de inhame possuem componentes funcionais específicos, como polifenóis, diosgenina, carotenoides e tocoferóis (Alamu *et al.*, 2020).

Na América, de acordo com a *Food and Agriculture Organization* (FAO) (2017), o Brasil é o segundo maior produtor de inhame, perdendo apenas para a Colômbia, com altas taxas de produtividade na região Nordeste (Paraíba, Bahia, Alagoas, Sergipe, Maranhão e Pernambuco), concentrando 70% de todo inhame produzido no Brasil (Nascimento *et al.*, 2022).

O inhame geralmente é vendido no Brasil em sua forma fresca e em temperatura ambiente (Mendes *et al.*, 2013). No entanto, há uma tendência crescente de consumo de produtos minimamente processados, incluindo o inhame, que são armazenados a 5 °C em supermercados e centros comerciais por todo o país (Simões *et al.*, 2015). Portanto, o processamento mínimo do inhame na forma de rodela, pronto para consumo, surge como uma alternativa para agregar valor e ampliar tanto o consumo quanto a comercialização (Morais *et al.*, 2021; Chang *et al.*, 2023).

As etapas de descascamento e corte do processamento mínimo podem promover o escurecimento enzimático dos tecidos superficiais devido à descompartimentalização celular ocorrida em função do corte (Zhang *et al.*, 2018), o qual favorece o contato entre as enzimas oxidativas polifenoloxidase (PPO) e peroxidase (POD) com compostos fenólicos, como também verificado em macaxeira (Xu *et al.*, 2013), mandioca de mesa (Ramos *et al.*, 2013) e batata (Zhu *et al.*, 2024).

Estudos com inhame minimamente processado indicam que as respostas fisiológicas são mais evidentes nos tecidos mais próximos ao corte, e transmitidas com menor intensidade para os tecidos mais adjacentes do que em outras regiões devido, possivelmente, à emissão de sinais químicos (Morais *et al.*, 2021; Coelho Junior *et al.*, 2019). Além da indução do escurecimento enzimático em razão a sinais químicos, o escurecimento enzimático em inhame minimamente processado pode estar relacionado ao tipo de tecido lesionado e ao tipo de corte (Morais *et al.*, 2021; Coelho Junior *et al.*, 2019). Dessa forma, fazem-se necessários estudos mais detalhados da fisiologia e anatomia para entender os mecanismos do escurecimento enzimático em inhame minimamente processado e elucidar a relação entre o corte, o tipo de célula lesionada e o escurecimento enzimático em toda extensão da rodela.

Em estudos anatômicos de inhame, Raman *et al.* (2014) exploraram os aspectos estruturais e não a relação da anatomia do tecido com os processos fisiológicos. Morais *et al.* (2021) observaram, por exemplo, que a suscetibilidade ao escurecimento enzimático em inhame minimamente processado está relacionado, principalmente, ao tipo de tecido lesionado e ao tipo de corte. No entanto, existem poucas evidências de respostas fisiológicas e bioquímicas relacionadas às estruturas anatômicas do inhame e ao escurecimento enzimático. Assim, fazem-se necessários mais estudos relacionados à anatomia de inhame para fornecer informações que auxiliem a identificar mecanismos celulares e suas consequências sob condição de estresse. O objetivo do presente estudo foi avaliar a estrutura anatômica, química e enzimas relacionadas ao escurecimento em inhame minimamente processado mantido sob refrigeração, a partir das regiões periférica, intermediária e central.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Inhame

O inhame (*Dioscorea cayenensis*) é uma planta monocotiledônea, herbácea, trepadeira, pertencente à família Dioscoreaceae e ao gênero *Dioscorea*, o ciclo ocorre anualmente e a sua propagação ocorre de forma vegetativa por túbera-semente (Coursey, 1976; Santos, 1996). Possui mais de 600 espécies com diferentes origens oriundas do continente africano, asiático e/ou americano (Coursey, 1976; Santos, 1996).

A colheita do inhame geralmente ocorre quando as folhas começam a amarelar e as ramas naturalmente morrem, o que tipicamente acontece cerca de 300 dias após o plantio (Andres *et al.*, 2017). Para otimizar o rendimento, é crucial colher o inhame quando ele atinge plena maturidade, antes que o solo fique excessivamente seco (Andres *et al.*, 2017).

Comercialmente o inhame é a quarta cultura mais utilizada dentre as raízes e tubérculos, ficando atrás apenas da batata (*Solanum tuberosum* L.), mandioca (*Manihote sculenta* Crantz) e batata-doce (*Ipomoea batatas* L.) (Obidiegwu *et al.*, 2020). O inhame é importante na seguridade alimentar, na medicina e na economia de vários países em desenvolvimento (Obidiegwu *et al.*, 2020). Em termos de produtividade na América, de acordo com a *Food and Agriculture Organization* (FAO) (2017), o Brasil é o segundo maior produtor de inhame com 70% da produção com altas taxas de produtividade na região Nordeste do país, perdendo apenas para a Colômbia (Figura 1). Em 2018, a produção de inhame foi especialmente significativa em países tropicais da África Ocidental, com a Nigéria e a Costa do Marfim liderando a produção global, juntas, essas nações respondem por 91% da produção mundial, totalizando 39.897.327 toneladas por ano, cultivadas em uma área de 4.438.362 hectares (FAO, 2018). Dados mais recentes mostram que em torno de 94% - 98% dos inhames são produzidos na África Ocidental (Faostat, 2021).

O Nordeste é o maior produtor nacional, concentrando 70% de todo inhame produzido no Brasil (Figura 1). Os estados nordestinos com maior produtividade são: Paraíba, Bahia, Alagoas, Sergipe, Maranhão e Pernambuco (Nascimento *et al.*, 2022).



**Figura 1.** Produção de inhame na região Nordeste do Brasil.

Entre as espécies de inhame, apenas algumas são utilizadas como alimento básico, destacando-se o inhame branco (*Dioscorea rotundata*), o inhame amarelo (*Dioscorea cayenensis*), o inhame d'água (*Dioscorea alata*), o inhame trifoliado (*Dioscorea dumetorum*), o inhame aéreo (*Dioscorea bulbifera*), o inhame chinês (*Dioscorea polistachya*) e o inhame menor (*Dioscorea esculenta*) (Wumbei *et al.*, 2022). Entre essas espécies economicamente importantes, a *Dioscorea rotundata*, popularmente chamada de inhame branco ou inhame branco da Guiné, é cultivada em grande escala, seguida da *Dioscorea alata*, *Dioscorea cayenensis* e *Dioscorea bulbifera* (Wumbei *et al.*, 2022).

No Brasil, o inhame pode ser comercializado principalmente de forma in natura. No entanto, também é possível encontrá-lo em supermercados em forma minimamente processado. Embora essa apresentação ofereça grande praticidade para o consumidor moderno

que busca otimizar seu tempo, o custo adicional limita o consumo a uma pequena parcela da população com renda mais elevada (Mendes *et al.*, 2013). A produção geralmente é destinada às feiras livres, supermercados e mercados atacadistas, intermediada por atravessadores que controlam o mercado (Mendes *et al.*, 2013). A colheita do inhame geralmente ocorre quando as folhas começam a amarelar e as ramas naturalmente morrem, o que tipicamente acontece cerca de 300 dias após o plantio (Andres *et al.*, 2017). Para otimizar o rendimento, é crucial colher o inhame quando ele atinge plena maturidade, antes que o solo fique excessivamente seco (Andres *et al.*, 2017).

As formas de consumo de inhame fornecem uma variedade de opções para cozinhar e garantem que os inhames continuem a ser um ingrediente valioso em uma ampla gama de produtos (Huang *et al.*, 2024). O amido de inhame pode ser utilizado como matéria-prima em filmes comestíveis, espessante para melhorar a textura de sobremesas como iogurte, creme instantâneo e pudim (Gutiérrez *et al.*, 2015; Pérez *et al.*, 2021). Nos últimos anos tem-se verificado um aumento na produção e consumo de inhame minimamente processado (Epping e Laibach, 2020), tornando os tubérculos atrativos para os consumidores, indicando uma oportuna perspectiva de mercado (Epping e Laibach, 2020).

## 2.2 Processamento mínimo

Produtos minimamente processados são frutos e hortaliças ou combinações destes que passaram por alterações físicas mínimas, como lavagem, descascamento, corte e fatiamento, embaladas e armazenadas sob refrigeração, mantendo seu estado fresco e valor nutricional (IFPA, 1999; Finger *et al.*, 2023). Os produtos minimamente processados além de saudáveis, atendem às necessidades de seus consumidores em razão às mudanças no estilo de vida, praticidade e redução do tempo de preparo de refeições (Gurler *et al.*, 2015). A expansão de redes de fast-food, restaurantes e empresas que preparam refeições contribuem para o aumento na demanda por minimamente processados (Sant'anna *et al.*, 2020). Oferecendo aos consumidores e/ou empresas a vantagem de adquirir vegetais frescos e com qualidade, conveniência e praticidade, ao mesmo tempo em que permite aos produtores agregarem valor aos seus produtos, além disso, contribuem na redução do desperdício de alimentos (Saini *et al.*, 2017).

Apesar da conveniência e praticidade de consumir produtos frescos e com qualidade (Saini *et al.*, 2017), o processamento mínimo pode desencadear alterações fisiológicas no tecido vegetal uma vez que as etapas de corte e descascamento podem causar danos mecânicos (Chitarra *et al.*, 2005). O corte ativa respostas de defesa em células vegetais que induzem a biossíntese de metabólitos secundários como fenólicos, flavonoides e outros compostos bioativos (Guan *et al.*, 2021). Todavia, quanto maior a área de corte de frutas e vegetais minimamente processados, maior a intensidade de estresse às células vegetais, resultando em uma série de alterações fisiológicas e bioquímicas (Hu *et al.*, 2022). Em batatas minimamente processadas, por exemplo, ao analisarem as mudanças fisiológicas associadas a diferentes tipos de corte, Hu *et al.* (2021) verificaram que o corte induziu a atividade da fenilalanina amônia-liase (PAL), com aumento no teor de fenóis em cubos (40,48%), tiras (74,88%) e fatias (108,86%). Além disso, em batata-doce minimamente processada verificou-se também que os índices de qualidade, como firmeza, perda de peso e teor de vitamina C (Vit C), em produtos fatiados e ralados, apresentaram diferenças significativas durante o armazenamento (Dovene *et al.*, 2019). Resultados semelhantes foram verificados em estudos realizados com brócolis, pitaya (Li *et al.*, 2017; Guan *et al.*, 2021) e batata (Hu *et al.*, 2021).

Para inhame minimamente processado, Morais *et al.* (2021) verificaram o aumento na intensidade do escurecimento enzimático em função do tipo de corte. Essas alterações resultam no aumento da velocidade das reações metabólicas, em razão ao aumento da taxa respiratória e da produção de etileno, acúmulo de compostos fenólicos propiciando também escurecimento enzimático, reduzindo a qualidade dos produtos frescos (Hu *et al.*, 2022). Simões *et al.* (2015) também verificaram que após o corte de inhame minimamente

processado, ocorre aumento no teor de compostos fenólicos e atividade enzimática da polifenoloxidase (PPO) e da peroxidase (POD) (Simões *et al.*, 2015). De acordo com Coelho Júnior *et al.* (2019), a degradação da membrana e o sistema enzimático do inhame, principalmente aqueles envolvidos na oxidação de compostos fenólicos, são responsáveis pelo escurecimento, no entanto ressaltaram que estudos mais aprofundados desses mecanismos são fundamentais para o entendimento do escurecimento do inhame minimamente processado.

### 2.3 Escurecimento enzimático

Um dos principais desafios que limitam o processamento do inhame é o rápido escurecimento após o corte (Zhang *et al.*, 2019). Os produtos minimamente processados são suscetíveis ao processo de escurecimento superficial, resultando não apenas na alteração da cor, como também na redução do prazo de validade, influenciando na decisão de compra do consumidor e, conseqüentemente, na redução do valor de mercado, gerando desperdício e perda econômica para a indústria (Liu *et al.*, 2018; Feng *et al.*, 2017). O escurecimento pode ocorrer devido a danos mecânicos causados pela remoção, por exemplo, da bainha, separação de caules e folhas durante a etapa de corte, acelerando metabolismo, incluindo a produção de compostos fenólicos alterando a cor do tecido (Fonseca *et al.*, 2023).

Para minimizar o escurecimento enzimático foram desenvolvidas tecnologias de conservação incluindo métodos pós-colheitas químicos, físicos e biológicos empregados em frutas e vegetais para manter a sua qualidade (Yijing *et al.*, 2023), por exemplo, o uso de antioxidantes e inibidores de escurecimento para inativação de enzimáticas associadas ao escurecimento (Dias *et al.*, 2023). Em pesquisa realizada em alface, o controle do escurecimento se concentra na inibição enzimática do grupo fenilalanina amônia-liase (PAL) (Huang *et al.*, 2020). Em inhame, para inibir o escurecimento enzimático durante o processamento (Chen *et al.*, 2017), tem sido aplicada: fumigação com enxofre (Jiang *et al.*, 2013), imersão em produtos químicos (Krishnan *et al.*, 2010), água eletrolisada (Jia *et al.*, 2015), ácido ascórbico (Xu *et al.*, 2013). No entanto, esses métodos são de difícil utilização em escala comercial. Um método bastante utilizado para minimizar o escurecimento de frutas e hortaliças utilizado em inhame minimamente processado é o uso da refrigeração (Simões *et al.*, 2015). Em inhame armazenado a 5 °C, por exemplo, apresentou-se um aumento da concentração de fenóis solúveis totais, no entanto as atividades de polifenoloxidase (PPO) e peroxidase (POD) foram reduzidas e, conseqüentemente, levou a um retardo no escurecimento enzimático, mantendo a qualidade do produto cortado por mais tempo (Simões *et al.*, 2015).

O escurecimento enzimático em inhame, de acordo com Coelho Júnior *et al.* (2019), ocorre de forma gradual na região superficial da rodela para células do tecido adjacente, ou seja, da região próxima do corte, e é induzida pelo ferimento, devido a reações oxidativas. Essas reações são desencadeadas a partir do tecido mais próximo da ferida induzida, estimulada pela produção de um sinal químico e da sua transdução emitida pela influência de fatores como a lesão, temperatura e embalagem (Coelho Júnior *et al.*, 2019). No entanto, Morais *et al.* (2021) propõem que o escurecimento enzimático em inhame minimamente processado é resultante não apenas do tipo lesão e da sua intensidade no tecido cortado, mas também da natureza da célula cortada. Em pupunha minimamente processada (Fonseca *et al.*, 2023), por exemplo, foi constatada existir relação entre a anatomia dos tecidos da bainha externa das regiões mediana da folha e basal do caule, a cor da superfície do tecido e as lesões que ocorreram após a colheita ou que são intensificadas durante o processamento. Em mandioca (Djabou *et al.*, 2017), por exemplo, o escurecimento ocorre devido à oxidação de células adjacentes ao feixe de xilema.

Estudos que envolvem a natureza e bioquímica dos tecidos são necessários para melhor elucidar a relação entre o corte, o tipo de célula lesionada e o metabolismo oxidativo ao longo do tecido vegetal. Além disso, existem lacunas sobre o escurecimento enzimático em toda extensão da região superficial de rodela de inhame minimamente processados

armazenadas sob refrigeração que podem ser elucidadas por investigações de suas estruturas anatômicas. Informações obtidas a partir de estudos anatômicos do inhame são importantes para melhorar a qualidade dos produtos e desenvolvimento de tecnologias mais eficazes que podem minimizar o escurecimento dos produtos.

#### **2.4 Anatomia vegetal do inhame**

A anatomia vegetal é um ramo da botânica que estuda as estruturas internas das plantas. O conhecimento desta ciência pode fornecer subsídios para resolução de problemas morfológicos e/ou taxonômicos e na compreensão do(a): desenvolvimento vegetal, ecologia, fisiologia, evolução, Filogenia, Paleontologia (Paleobotânica); com implicações agrônômicas do estudo sobre patologias vegetais (Histopatologia), na ciência forense e diversas áreas aplicadas (Lemos, 2022).

Em estudo realizado por Raman *et al.* (2014) foram caracterizadas e identificadas anatomicamente cinco espécies de inhame do gênero *Dioscorea*, a saber *D. balcânica*, *D. bulbifera*, *D. polystachya*, *D. rotundata* e *D. villosa*. Nestas espécies foram verificadas e identificadas as seguintes estruturas: camada de cortiça, células de tanino, câmbio de cortiça, tecido parenquimatoso, células preenchidas com grãos de amido, feixes vasculares colaterais distribuídos irregularmente no tecido e idioblastos contendo cristais de oxalato de cálcio. O estudo revelou ainda existirem semelhanças entre as cinco espécies estudadas se diferenciando apenas na disposição, forma e tamanho com que essas estruturas se encontram no tecido do vegetal (Raman *et al.*, 2014).

As estruturas identificadas e a forma como estas se dispõem entre as espécies de inhame verificadas por Raman *et al.* (2014), podem fornecer informações relevantes de como estas podem influenciar na qualidade de minimamente processados. Kumar *et al.* (2017), em estudo sobre a etnobotânica, valores nutricionais e farmacológicos no gênero *Dioscorea*, afirmaram que muitos tubérculos deste gênero possuem sabor amargo em razão a fatores antinutricionais e metabólitos secundários que reduzem a sua palatabilidade. A presença de taninos e oxalato de cálcio em tubérculos estão entre os principais componentes que lhe conferem sabor amargo (Kumar *et al.*, 2017).

O conhecimento sobre a anatomia e a localização dessas estruturas no tecido vegetal podem fornecer informações úteis sobre sua influência na propagação do escurecimento enzimático, contribuindo para o desenvolvimento de procedimentos ideais no processamento, armazenamento e conservação que possa minimizá-lo. Assim, fazem-se necessários mais estudos relacionados à anatomia de frutas e hortaliças para fornecer informações que auxiliem a identificar mecanismos celulares e suas consequências sob condição de estresse.

### 3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALAMU, E. O.; NUWAMANYA, D.; CORNET, K.; MEGHAR, M.; ADESOKAN, T.; TRAN, J.; BELALCAZAR, L.; DESFONTAINES, F.; DAVRIEUX, F. Near-infrared spectroscopy applications for high-throughput phenotyping for cassava and yam: a review. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 55, n. 1, p. 1-11, 2020.

ANDRES, C.; ADEOLUWA, O. O.; BHULLAR, G. S. Yam (*Dioscorea* spp.). **Encyclopedia of Applied Plant Sciences**, p.435–441, 2017.

BAFFOUR-ATA, F.; AWUGYI, M.; OFORI, N. S.; HAYFRON, E. N.; AMEKUDZI, C. E.; GHANSAH, A.; AKORLI, R. Determinants of yam farmers' adaptation practices to climate variability in the Ejura Sekyedumase municipality, Ghana. **Heliyon**, v. 9, n. 3, 2023. DOI: 10.1016/j.heliyon.2023.e14090.

CHANG, S.; CHANG, S.; GUO, Q.; GENGAN, D.; TANG, J.; LIU, B.; SHAO, K.; ZHAO, X. Probiotic-loaded edible films made from proteins, polysaccharides, and prebiotics as a quality factor for minimally processed fruits and vegetables: A review. **International Journal of Biological Macromolecules**, [s.l.], v. 253, n. Part 5, p. 127226, 2023. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2023.127226.

CHEN, X.; LU, J.; LI, X.; WANG, Y.; MIAO, J.; MAO, X.; ZHAO, C.; GAO, W. Effect of blanching and drying temperatures on starch-related physicochemical properties, bioactive components and antioxidant activities of yam flours. **LWT - Food Science and Technology**, v. 82, p. 303-310, 2017. ISSN 0023-6438. DOI:10.1016/j.lwt.2017.04.058.

CHITARRA, M.I.F.; CHITARRA, A.B. **Pós-colheita de frutas e hortaliças**. 2 ed. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2005. p. 688.

COELHO JÚNIOR, L. F.; FERREIRA-SILVA, S. L.; VIEIRA, M. R. S.; CARNELOSSI, M. A. G.; SIMÕES, A. N. Darkening, damage and oxidative protection are stimulated in tissues closer to the yam cut, attenuated or not by the environment. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, 2019. DOI: 10.1002/jsfa.9192.

COURSEY, D. G. Y. - *Dioscorea* spp. (Dioscoreaceas). In: SIMMONDS, N. W. **Evolution of crop plants**. New York: Ed. Longman, 1976. p. 70-74.

DIAS, J. V. B.; COSTA, W. K. A.; MELO, D. de S.; OLIVEIRA, K. Á. R. de.; BATISTA, U. D.; SOUZA, E. L. de.; SCHWAN, R. F.; PIMENTEL, T. C.; MAGNANI, M. Probiotic and synbiotic edible coatings: Effects on *Lactocaseibacillus casei* viability and general quality of minimally processed fruit during storage. **Food Bioscience**, v. 56, art. 103144, 2023. DOI: 10.1016/j.fbio.2023.103144

DJABOU, A. S. M.; CARVALHO, L. J.; LI, C. B.; QING, X.; NIEMENAK, N.; CHEN, S. Cassava postharvest physiological deterioration: a complex phenomenon involving calcium signaling, reactive oxygen species and programmed cell death. **Acta Physiologiae Plantarum**, 2017. DOI: 10.1007/s11738-017-2382-0.

DOVENE, A. K.; WANG, L.; BOKHARY, S. U. F.; MADEBO, M. P.; YONGHUA, Z.; JIN, P. Effect of cutting styles on quality and antioxidant activity of stored fresh-cut sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) cultivars. **Foods**, 2019. DOI: 10.3390/foods8120674.

EPPING, J.; LAIBACH, N. An underutilized orphan tuber crop - Chinese yam: a review. **Planta**, 2020. DOI: 10.1007/s00425-020-03458-3.

FAO. **Food and Agriculture Organization of the United Nations/Agricultural statistic database**. Roma: World Agricultural Information Center, 2017. Disponível em: <http://faostat3.fao.org/browse/Q/QC/S>. Acesso em: 08 out. 2022.

FAOSTAT. **Food and Agriculture Organization of the United Nations**, 2021. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>. Acesso em: 20 jul. 2024.

FAOSTAT. **Food and Agriculture Organization of the United Nations/Statistics Internet**, 2018. Disponível em: <https://www.fao.org/statistics/en>. Acesso em: 20 jun. 2023.

FENG, Y. M.; O'MAHONY, M. Comparison between American and Chinese consumers in the use of verbal and numerical 9-point hedonic scales and R-Index ranking for food and personal products. **Food Quality and Preference**, 2017. DOI: 10.1016/j.foodqual.2017.04.004.

FINGER, J. A. F. F.; SANTOS, I. M.; SILVA, G. A.; BERNARDINO, M. C.; PINTO, U. M.; MAFFEI, D. F. Vegetais minimamente processados no Brasil: uma visão geral de marketing, processamento e aspectos microbiológicos. **Alimentos**, 2023. DOI: 10.3390/foods12112259.

FONSECA, K. S.; GARCIA, R. P. O.; MELO, A. A. M.; SOUSA, A. E. D. de; PUSCHMANN, R.; RIBEIRO, D. M.; PICOLI, E. A. de T.; NUNES-NESE, A. Anatomical and metabolic changes related to the yellowing of minimally processed peach palm (*Bactris gasipaes* Kunth) during cold storage. **Food Chemistry Advances**, v. 3, 2023. DOI: 10.1016/j.focha.2023.100523.

GUAN, Y. G.; HU, W. Z.; XU, Y. P.; JI, Y. R.; YANG, X. Z.; FENG, K. Proteomic analysis validates previous findings on wounding responsive plant hormone signaling and primary metabolism contributing to the biosynthesis of secondary metabolites based on metabolomic analysis in harvested broccoli (*Brassica oleracea* L. var. *italica*). **Food Research International**, 2021. DOI: 10.1016/j.foodres.2021.110388.

GUAN, Y.; HU, W.; XU, Y.; YANG, X.; JI, Y.; FENG, K.; SARENGAOWA. Metabolomics and physiological analyses validate previous findings on the mechanism of response to wounding stress of different intensities in broccoli. **Food Research International**, v. 140, art. 110058, 2021. DOI: 10.1016/j.foodres.2020.110058.

GURLER, Z.; PAMUK, S.; YILDIRIM, Y.; ERTAS, N. The microbiological quality of ready-to-eat salads in Turkey: A focus on *Salmonella* spp. and *Listeria monocytogenes*. **International Journal of Food Microbiology**, [s.l.], v. 196, p. 79-83, 2015.

GUTIÉRREZ, T. J.; TAPIA, M. S.; PÉREZ, E.; FAMÁ, L. Structural and mechanical properties of edible films made from native and modified cush-cush yam and cassava starch. **Food Hydrocolloids**, v. 45, p. 211-217, 2015. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2014.11.017.

- HU, W. S.; GUAN, Y.; FENG, K. Biosynthesis of phenolic compounds and antioxidant activity in fresh-cut fruits and vegetables. **Frontiers in Microbiology**, 2022. DOI: 10.3389/fmicb.2022.906069.
- HU, W.; GUAN, Y.; JI, Y.; YANG, X. Effect of cutting styles on quality, antioxidant activity, membrane lipid peroxidation, and browning in fresh-cut potatoes. **Food Bioscience**, v. 44, Part B, 2021. DOI: 10.1016/j.fbio.2021.101435.
- HUANG, S.-J.; LIN, S.-Y.; WANG, T.-T.; HSU, F.-C. Combining acetic acid and ethanol as an anti-browning treatment for lettuce butt discoloration through repression of the activity and expression of phenylalanine ammonia lyase. **Postharvest Biology and Technology**, 2020.
- HUANG, P.-H.; CHIU, C.-S.; CHIANG, Y.-C.; LU, W.-C.; Yi KE, S.-.; WANG, C.-C.R.; LI, P.-H. Electrostatic effect on freshness preservation and quality evaluation of yam (*Dioscorea alata*) tuber during cold storage. *Journal of Agriculture and Food Research*, v. 17, p. 101222, 2024. DOI: 10.1016/j.jafr.2024.101222
- INSTITUTO ADOLFO LUTZ. Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz. v. 1. **Métodos químicos e físicos para análise de alimentos**. 3. ed. São Paulo: IMESP, 1985.
- INTERNATIONAL FRESH-CUT PRODUCE ASSOCIATION (IFPA); PMA (the Produce Marketing Association). **Handling guidelines for the fresh-cut produce industry**. 3rd ed. IFPA, Alexandria, VA, 1999.
- JIA, G.-L.; SHI, J.-Y.; SONG, Z.-H.; LI, F.-D. Prevention of enzymatic browning of Chinese yam (*Dioscorea* spp.) using electrolyzed oxidizing water. **Journal of Food Science**, v. 80, n. 4, p. C718–C728, 2015. DOI:10.1111/1750-3841.12820
- JIANG, X.; HUANG, L.-F.; ZHENG, Si-H.; CHEN, S.-L. Sulfur fumigation, a better or worse choice in preservation of traditional Chinese medicine. **Phytochemistry**, v. 20, n. 2, p. 97-105, 2013. ISSN 0944-7113. DOI:10.1016/j.phymed.2012.09.030.
- KUMAR, S.; DAS, G.; SHIN, H.-S.; PATRA, J. K. *Dioscorea* spp. (A wild edible tuber): A study on its ethnopharmacological potential and traditional use by the local people of Similipal Biosphere Reserve, India. **Frontiers in Pharmacology**, v. 8, art. 52, fev. 2017.
- KRISHNAN, J. G.; PADMAJA, G.; MOORTHY, S. N.; SUJA, G.; SAJEEV, M. S. Effect of pre-soaking treatments on the nutritional profile and browning index of sweet potato and yam flours. **International Food Science and Technology**, v. 11, n. 2, p. 0-393, 2010. DOI:10.1016/j.ifset.2010.01.010.
- LEBOT, V.; FALOYE, B.; OKON, E.; GUEYE, B. Simultaneous quantification of allantoin and steroidal saponins in yam (*Dioscorea* spp.) powders. **Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants**, 2019.
- LEMOS, J. R. **Morfologia e anatomia vegetal: uma abordagem prática** [recurso eletrônico] / Jesus Rodrigues Lemos, Bruno Edson-Chaves. – Teresina: EDUFPI, 2022. E-book. ISBN 978-65-5904-158-9.
- LI, X.; LONG, Q.; FAN, G.; HAN, C.; JIN, P.; ZHENG, Y. Effect of cutting styles on quality and antioxidant activity in fresh-cut pitaya fruit. **Postharvest Biology and Technology**, [s.l.], v. 124, p. 1-7, 2017. DOI: 10.1016/j.postharvbio.2016.09.009

- LIU, X.; LU, Y.; YANG, Q.; YANG, H.; LI, Y.; ZHOU, B.; LI, T.; GAO, Y.; QIAO, L. Cod peptides inhibit browning in fresh-cut potato slices: A potential anti-browning agent of random peptides for regulating food properties. **Postharvest Biology and Technology**, v. 146, p. 36–42, 2018. DOI: 10.1016/j.postharvbio.2018.08.001.
- MENDES, L. N.; SILVA, J. A.; FAVERO, L. A. Panorama da produção e comercialização do inhame no mundo e no Brasil e sua importância para o mercado pernambucano: uma análise das cinco forças competitivas. **Convibra Business**, ISSN 2179-5967, 2013.
- MORAIS, M. A. S.; FONSECA, K. S.; MEDEIROS, R. A.; ANDRADA, L. V. P.; SARAIVA, R. A.; FERREIRA-SILVA, S. L.; LIMA, A. L. A.; SIMÕES, A. N. Use of the abrasion technique in minimal processing as an alternative to increase purchase acceptability and minimize browning in yam. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, p. 1-11, 2021. DOI: 10.1002/jsfa.11338
- NASCIMENTO, E. C. do; MATOS, T. de S.; GENUNCIO, G. da C. **Posicionamento do Brasil na produção de inhame**, 2022. Disponível em: <https://revistacampoenegocios.com.br/posicionamento-do-brasil-na-producao-de-inhame/>. Acesso em: 27 maio 2022.
- OBIDIEGWU, J. E.; LYONS, J. B.; CHILAKA, C. A. The Dioscorea genus (yam) - An appraisal of nutritional and therapeutic potentials. **Foods**, v. 9, n. 9, art. 1304, 2020. DOI: 10.3390/foods9091304.
- PÉREZ, J.; ARTEAGA, M.; ANDRADE, R.; DURANGO, A.; SALCEDO, J. Effect of yam (*Dioscorea* spp.) starch on the physicochemical, rheological, and sensory properties of yogurt. **Heliyon**, 2021. DOI: 10.1016/j.heliyon.2021.e05987.
- RAMAN, V.; GALAL, A. M.; AVULA, B.; SAGI, S.; SMILLIE, T. J.; KHAN, I. A. Application of anatomy and HPTLC in characterizing species of *Dioscorea* (Dioscoreaceae). **Journal of Natural Medicines**, [s.l.], v. 68, n. 4, p. 686–698, 2014. DOI: 10.1007/s11418-014-0849-5.
- RAMOS, P. A. C.; SEDIHYAMA, T.; VIANA, A. E. S.; PEREIRA, D. M.; FINGER, F. L. Efeito de inibidores da peroxidase sobre a conservação de raízes de mandioca in natura. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 16, n. 2, p. 116-124, 2013.
- SAINI, R.K.; KO, E.Y.; KEUM, Y.S. Minimally processed ready-to-eat baby-leaf vegetables: Production, processing, storage, microbial safety, and nutritional potential. **Food Reviews International**, [s.l.], v. 33, p. 644–663, 2017.
- SANT'ANNA, P. B.; FRANCO, B. D. G. M.; MAFFEI, D. F. Segurança microbiológica de vegetais minimamente processados prontos para consumo no Brasil: uma visão geral. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, 2020.
- SANTOS, E. S. **Inhame (*Dioscorea* spp.): aspectos básicos da cultura**. João Pessoa, PB: EMEPA-PB, SEBRAE, 1996. p. 158.
- SIMÕES, A. N.; MOREIRA, S. I.; MOSQUIM, P. R.; SOARES, N. F.; PUSCHMANN, R. Effect of conservation temperature on quality and phenolic metabolism of intact and minimally processed kale leaves. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 37, p. 101-107, 2015.

WUMBEI, A.; GAUTIER, S. K. N.; KWODAGA, J. K.; JOSEPH, D. F.; GALANI, Y. J. H. State of the Art of Yam Production. *In*: KAUSHIK, P. (Ed.). **Root Vegetables**, 2022. DOI: 10.5772/intechopen.106504.

XU, J.; DUAN, X.; YANG, J.; BEECHING, J. R.; ZHANG, P. Enhanced reactive oxygen species scavenging by overproduction of superoxide dismutase and catalase delays postharvest physiological deterioration of cassava storage roots. **Plant Physiology**, v. 161, p. 1517-1528, 2013.

YIJING, P.; HAITAO, J.; YIQIN, Z.; JIANKANG, C.; WEIBO, J. Advances in propolis and propolis functionalized coatings and films for fruits and vegetables preservation. **Food Chemistry**, v. 414, 2023. DOI: 10.1016/j.foodchem.2023.135662.

ZHANG, G.; GU, L.; LU, Z.; YUAN, C.; SUN, Y. Browning control of fresh-cut Chinese yam by edible coatings enriched with an inclusion complex containing star anise essential oil. **RSC Advances**, 2019. DOI: 10.1039/c8ra08295b.

ZHANG, Y.; HUBER, D. J.; HU, M.; JIANG, G.; GAO, X.; XU, Z. Delaying post-harvest browning in lychee fruits by melatonin through the enhancement of antioxidant processes and oxidation repair. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 66, p. 7475–7484, 2018. DOI: 10.1021/acs.jafc.8b01922.

ZHU, H.; GAO, L.; LIANG, J.; ERIHEMU; LI, G.; SONG, X.; QI, W. Applications and characterization of anti-browning enzymatically modified potato starch (EPS) film associated with chitosan (CTS)/L-Cys/citric acid (CA) on fresh-cut potato slices. **Food Chemistry**, v. 452, p. 139424, 2024. ISSN 0308-8146. DOI: 10.1016/j.foodchem.2024.139424.

#### 4. ARTIGO 1

### ESTUDO HISTOQUÍMICO-ESTRUTURAL, FITOQUÍMICO E ENZIMAS DE ESCURECIMENTO EM INHAME MINIMAMENTE PROCESSADO

Artigo a ser enviado para a revista Journal of the Science of Food and Agriculture – A2

#### RESUMO

O escurecimento enzimático na região superficial do inhame pode comprometer a qualidade visual e, conseqüentemente, a sua aceitação por parte do consumidor. A propagação do escurecimento na região superficial não se restringe à emissão de sinalizadores químicos e ao tipo de corte durante o processamento mínimo, mas pode estar relacionado ao tipo de estrutura anatômica lesionada no tecido do vegetal. O objetivo do presente trabalho foi avaliar a estrutura anatômica, química e enzimas relacionadas ao escurecimento em inhame minimamente processado mantido sob refrigeração, nas regiões periférica, intermediária e central das rodela. Os tubérculos (*Dioscorea cayanensis*) foram minimamente processados e mantidos a 5 °C embalados em filme PVC durante 15 dias com avaliações a cada três dias com quatro repetições. Para as análises, foram coletadas amostras das regiões periférica, intermediária e central da rodela do inhame minimamente processados. Foi realizada a caracterização anatômica e analisadas as características físico-químicas e bioquímicas, tais como fenóis totais, atividade da peroxidase (POD), polifenoloxidase (PPO) e fenilalanina amônia-liase (PAL) nas regiões periférica, intermediária e central das rodela de inhame. Foram identificadas diferentes estruturas nas regiões, tais como amido, câmbio vascular, cristais de ráfide, parênquima com e sem amido, taninos e feixes vasculares, os quais estão distribuídos de forma irregular na rodela. O pH, a acidez, o brix e a firmeza mantiveram-se estáveis durante todo o período de armazenamento refrigerado e, não sendo verificada diferença significativa, nesses parâmetros, entre as regiões analisadas. A atividade da PAL e teores de fenóis nos tecidos mantiveram-se estáveis, enquanto a atividade da PPO diminuiu com o tempo de armazenamento. Foi verificado também que todas as regiões do tubérculo respondem de maneira similar ao escurecimento enzimático e a sua propagação ocorre devido à distribuição não homogênea dos feixes vasculares e da enzima PPO ao longo do tecido vegetal das rodela de inhame minimamente processado.

**Palavras-chave:** Feixe vascular, polifenoloxidase, composto fenólicos, *Dioscorea*.

#### 4.1. Introdução

Em razão aos seus atributos nutricionais, os tubérculos podem ser utilizados na culinária: picados, cozidos, fritos (chips de inhame), refogados ou como ingrediente para outros produtos (Honfozo *et al.*, 2020). O inhame é normalmente comercializado de forma in natura e inteiro, o processamento mínimo do inhame na forma de rodela e prontas para o consumo surge, assim, como alternativa para agregar valor e expandir o consumo e comercialização (Morais *et al.*, 2019; Chang *et al.*, 2023).

Os produtos minimamente processados, no entanto, são suscetíveis ao escurecimento superficial dos tecidos após o corte (Cenci *et al.*, 2011) resultando não apenas na alteração da cor, como também na redução na vida útil, influenciando na decisão de compra do consumidor e, conseqüentemente, na redução do valor de mercado, gerando desperdício e perda econômica para a indústria (Li *et al.*, 2017; Feng *et al.*, 2017). O corte ativa respostas de defesa em células vegetais que induzem a biossíntese de metabólitos secundários como fenólicos, flavonoides e outros compostos bioativos que promovem o escurecimento dos tecidos (Guan *et al.*, 2021). Todavia, quanto maior a área de corte de frutas e vegetais minimamente processados, maior a intensidade de estresse às células vegetais, resultando em

uma série de alterações fisiológicas e bioquímicas. (Hu *et al.*, 2022). Em batatas minimamente processadas, por exemplo, mudanças fisiológicas associadas a diferentes tipos de corte induzem a atividade da fenilalanina amônia-liase (PAL), com aumento no teor de fenóis em cubos (40,48%), tiras (74,88%) e fatias (108,86%) (Hu *et al.*, 2021). Em batata-doce minimamente processada, fatiadas e raladas, os índices de qualidade, como firmeza, perda de peso e teor de vitamina C (Vit C), apresentaram diferenças significativas durante o armazenamento (Dovene *et al.*, 2019). Resultados semelhantes também foram verificados em brócolis (Guan *et al.*, 2021), pitaya (Li *et al.*, 2017) e batata (Hu *et al.*, 2021). Para inhame minimamente processado, Morais *et al.* (2021) verificaram que após o processamento mínimo, ocorre aumento na intensidade do escurecimento enzimático em função do tipo de corte, aumento no teor de compostos fenólicos e atividade enzimática da polifenoloxidase (PPO) e da peroxidase (POD), enzimas relacionadas ao escurecimento também foram verificadas por Simões *et al.* (2015) em inhame minimamente processado.

O inhame armazenado a 5 °C, por exemplo, apresentou um aumento da concentração de fenóis solúveis totais, no entanto as atividades de polifenoloxidase (PPO) e peroxidase (POD) foram reduzidas e, conseqüentemente, levou a um retardo no escurecimento enzimático, mantendo a qualidade do produto cortado por mais tempo (Simões *et al.*, 2015).

Estudos revelaram que o escurecimento enzimático em inhame minimamente processado pode ocorrer de forma gradiente devido à produção de sinais químicos e da sua transdução de células da região próxima ao corte para células adjacentes, e que o escurecimento não é resultante apenas da emissão de sinais, como também da natureza anatômica da célula que permanecia na superfície após o corte e armazenamento do vegetal (Coelho Júnior *et al.*, 2019; Morais *et al.*, 2021). Em mandioca, por exemplo, o escurecimento ocorre pela oxidação de células adjacentes ao feixe de xilema (Djabou *et al.*, 2017). Em pupunha minimamente processada, por exemplo, foi constatada existir relação entre as estruturas anatômicas dos tecidos da bainha externa das regiões mediana da folha e basal do caule, a alteração de cor da superfície do tecido e as lesões que ocorreram após a colheita ou que são intensificadas durante o processamento (Fonseca *et al.*, 2023). Os estudos anatômicos de inhame como os realizados por Raman *et al.* (2014) trazem apenas os aspectos estruturais (Raman *et al.*, 2014), mas não exploram a relação da anatomia com os processos fisiológicos como o escurecimento dos tecidos. Morais *et al.* (2021), em seu estudo, verificaram existir correlação entre anatomia, tipo de corte com a intensidade do metabolismo oxidativo em inhame. No entanto, existem poucas evidências de tais respostas fisiológicas e bioquímicas sobre a propagação do escurecimento enzimático do ponto de vista anatômico-estrutural em inhame minimamente processado. Dessa forma, o presente estudo é, portanto, relevante para compreender a fisiologia e bioquímica da propagação do escurecimento enzimático em inhame minimamente processado em relação às estruturas anatômicas presentes no tecido vegetal. O conhecimento sobre a anatomia e a localização dessas estruturas no tecido vegetal podem fornecer informações que contribuam para o desenvolvimento de procedimentos ideais no processamento, armazenamento e conservação que possam minimizar o escurecimento mantendo a qualidade e aquisição pelos consumidores.

O presente estudo teve como objetivo avaliar a estrutura anatômica, química e enzimas relacionadas ao escurecimento em inhame minimamente processado mantido sob refrigeração, a partir das regiões periférica, intermediária e central.

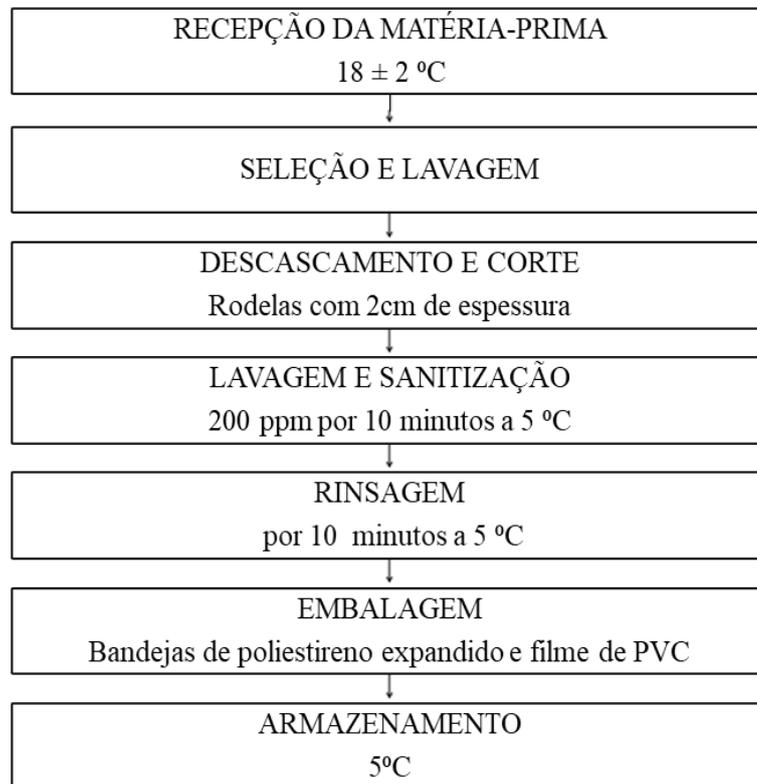
## 4.2. Material e Métodos

### 4.2.1 Colheita de inhame e processamento mínimo

Os inhames São Tomé (*Dioscorea cayanensis*) em estágio de maturação fisiológica, colhidos entre 300 dias após o plantio (Andres *et al.*, 2017), foram obtidos na Central Estadual de Abastecimento (CEASA) localizada no município de Aracaju/SE. Os inhames

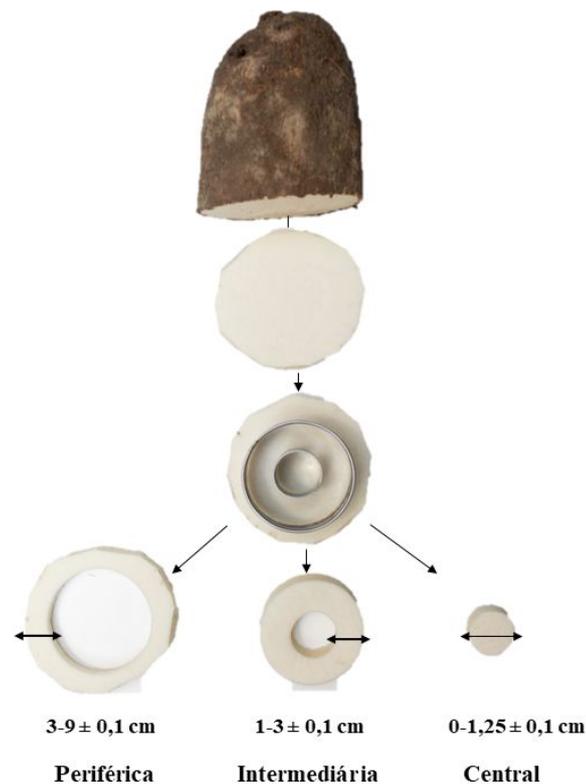
foram transportados para o Laboratório de Frutas e hortaliças (LABFRUTH), do Departamento de Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal de Sergipe (UFS) e mantidos em sala climatizada a  $18 \pm 2^\circ\text{C}$  até o processamento mínimo.

O processamento mínimo do inhame foi realizado de acordo com o proposto por Brito *et al.* (2011), com adaptações (Figura 1).



**Figura 1.** Fluxograma do processamento mínimo do inhame (Brito *et al.*, 2011), com adaptações.

Foram selecionados tubérculos com tamanho uniforme e ausência de danos mecânicos e infecções visíveis. Após a lavagem em água corrente, os tubérculos foram descascados manualmente e retiradas as extremidades (Morais *et al.*, 2019). As túberas foram cortadas em rodelas com 2 cm de espessura. Após o corte as rodelas foram sanitizadas ( $200 \text{ mg L}^{-1}$ ), acondicionadas em bandejas de polipropileno (300g), envoltas com filme PVC (cloreto de vinila) e armazenadas em expositor vertical a  $5 \pm 2^\circ\text{C}$ , durante 15 dias. Para as análises, no dia da montagem do experimento e aos 3, 6, 9, 12 e 15 dias de armazenamento foram coletadas amostras das regiões periférica, intermediária e central da rodela do inhame minimamente processado (Figura 3).



**Figura 2.** Delimitação da rodela do inhame minimamente processado (*Dioscorea cayanensis*) em regiões periférica, intermediária e central.

#### 4.2.2 Avaliações histoquímico-anatômica

Partes das três regiões periférica, intermediária e central (Figura 2) da rodela foram fixadas em FAA (etanol 70%, ácido acético glacial 5% e formaldeído 5%) por 72 horas e, em seguida, fixadas em álcool 70% (Johansen, 1940).

Logo após, o material foi submetido a uma série crescente de desidratação em etanol (70%, 80%, 90% e 100%) por duas horas cada. As amostras foram transferidas para uma solução de pré-infiltração contendo etanol a 50% e metacrilato a 100% (Historesin-Leica) por 72 horas (Titon *et al.*, 2013). Posteriormente, imersas em solução de infiltração (100% de metacrilato) por 24 horas.

O material foi emblocado em cubetas de silicone com capacidade de 250  $\mu$ L. Após o emblocamento, o material foi seccionado na espessura de 8  $\mu$ m utilizando um micrótomo semiautomático Leica RM 2235 e corado por 20 minutos com azul de toluidina (0,05%) e por 5 minutos com lugol, e montado em lâminas permanentes com Balsamo do Canadá. As seções foram fotografadas em microscópio óptico equipado com câmera LEICA DM500 e visualizadas no computador com o auxílio do programa LAS EZ<sup>®</sup>.

#### 4.2.3 Análises físico-químicas e bioquímicas

A perda de massa (%) foi determinada pela diferença entre a massa no tempo zero e a massa no final do período de armazenamento, fazendo uso de uma balança digital para pesagem. A diferença em porcentagem de massa foi calculada (% de perda de peso = [peso inicial – peso na data do exame/peso inicial]  $\times$  100) (Youssef; Roberto, 2014).

A firmeza foi determinada utilizando-se um penetrômetro Digital Fruit Firmness Test, Brand TR Modelo 53205 analógico, constituído com ponteira de 8 mm (PAF-327). As amostras de inhame foram fixadas na plataforma do equipamento. As medidas foram realizadas em pontos distintos sobre a superfície em cada região da rodela. A firmeza foi determinada de acordo com a força máxima necessária para perfurar as rodelas de inhame a uma profundidade de 8 mm. Os resultados foram expressos em Newton (N) (Zhao *et al.*, 2020).

O teor de sólidos solúveis totais (°Brix) foi determinado utilizando-se refratômetro digital modelo HI 96801 (Hanna Instruments, Romênia). O teor de sólidos solúveis totais foi determinado a partir da transferência do suco celular das amostras do inhame minimamente processado (1 mL), extraído a partir da diluição de 1g das amostras em 10 ml de água, transferido para o refratômetro. Os resultados serão expressos em °Brix (IAL, 1985).

O pH foi determinado pesando-se 5 g da amostra homogeneizada (IAL, 1985). Em seguida, foi diluída adicionando-se 50 mL de água destilada. A leitura foi realizada em peagâmetro digital.

A acidez total (AT) foi determinada por titulometria, utilizando-se 50 mL da solução utilizada para a determinação do pH, adicionando-se o indicador fenolftaleína a 1%, titulado com solução de hidróxido de sódio NaOH (0,1N) padronizado (IAL, 1985). A AT foi expressa em porcentagem (%) de ácido cítrico.

O índice de escurecimento (IE) (Pepa *et al.*, 2020) e esbranquiçamento (WI) (Bolin e Huxsoll, 1991) foram avaliados com o auxílio do equipamento de análise de imagem GroundEye®. A avaliação foi realizada de modo não destrutivo, consistindo na sobreposição de marcadores de diferentes diâmetros sobre a superfície da rodela delimitando-a nas regiões periférica, intermediária e central (Figura 2), mantendo a sua integridade física (Figura 3). Logo em seguida, as rodela foram transferidas para a bandeja do equipamento GroundEye® para fazer a captura e a análise de imagem. Antes da leitura, o fundo de coloração azul foi retirado juntamente com os marcadores, resultando na segmentação de cada rodela em três regiões. Logo após, foi realizada a análise e obtenção dos dados de cor da região periférica, intermediária e central.



**Figura 3.** Análise de imagem da rodela do inhame minimamente processado (*Dioscorea cayanensis*) em regiões periférica, intermediária e central. Fonte: Imagem capturada no equipamento de análise de imagem GroundEye®.

Para obtenção dos resultados para o índice escurecimento e esbranquiçamento foram utilizados os dados obtidos do GroundEye® referentes aos seguintes parâmetros: “L\*”, indica luminosidade (claro/escuro); “a\*”, a cromaticidade no eixo da cor verde (-) para vermelha (+); e b\*, indica a cromaticidade no eixo da cor azul (-) para amarela (+) (Pepa *et al.*, 2020). Esses parâmetros são utilizados em suas respectivas fórmulas.

Fórmula para o índice de escurecimento;

$$IE = [100 (X - 0,31)] / 0,172, \text{ onde } X = (a^* + 1,75L) / (5,645L + a^* - 3,02b^*)$$

Fórmula para o índice de esbranquiçamento;

$$IE = 100 - [(100 - L')^2 + a^2 + b^2]^{1/2}$$

A análise visual do inhame minimamente processado foi realizada utilizando uma escala do tipo Likert para as regiões analisadas (periférica, intermediária e central), considerando cinco pontos de acordo com a intensidade da área escurecida e/ou esbranquiçada (Tabela 1).

**Tabela 1.** Escala tipo Likert para análise visual de inhame minimamente processado. Foto capturada no equipamento de análise de imagem GroundEye®.

Imagens	Notas	Crítérios
	5	Rodela com superfície branca, sem nenhum indício de escurecimento. Aparência e odor característicos de inhame fresco. Excelente para o consumo e comercialização.
	4	Rodela com superfície branca, sem indício de escurecimento. Aparecimento de algumas estrias esbranquiçadas. Aparência e odor característicos de inhame fresco. Excelente para consumo e comercialização.
	3	Rodela com superfície branca, apresentando pequenos pontos de escurecimento. Apresenta aumento da área esbranquiçada. Limite de aceitação para o consumo e comercialização.
	2	Rodela com superfície branca, apresentando pequenos pontos de escurecimento distribuídos não homogeneamente em toda a rodela. Área superficial de toda a rodela preenchida com estrias esbranquiçadas. Aparência imprópria para o consumo e comercialização.
	1	Rodela com superfície intensamente esbranquiçada e/ou escurecida. Totalmente imprópria para o consumo e comercialização.

#### 4.2.3.1. Análises bioquímicas

##### Extração e ensaio das atividades da polifenoloxidase (PPO) e peroxidase (POD)

O extrato enzimático para o ensaio da PPO e POD foi obtido por homogeneização de 1,0g de tecido vegetal das amostras do inhame minimamente processado em 6,0 mL de tampão fosfato de sódio (0,2 M) pH 6,0 pré-resfriado. Em seguida, as amostras foram centrifugadas a 10.000g durante 21 min. a 4 °C (Simões *et al.*, 2015).

O ensaio da atividade da POD foi realizado adicionando 300 µL do sobrenadante a 1,0 mL de tampão de fosfato de sódio (0,2 M), pH 6,0. Posteriormente foi adicionado 100 µL de guaiacol (Sigma-Aldrich, EUA) (0,5%) e 100 µL de peróxido de hidrogênio (0,08%); a absorbância a 470 nm (Simões *et al.*, 2015). A atividade da POD foi calculada usando um coeficiente de extinção molar de 26.600 mM cm para Guaiacol. G MF<sup>-1</sup> min<sup>-1</sup> e expressa como µmol s<sup>-1</sup> Kg<sup>-1</sup> de peso fresco

A atividade da PPO foi avaliada pela adição de 30 µL do sobrenadante a um meio de reação contendo 1,5 mL de catecol em 1,3 mL de tampão fosfato (0,2M) pH 6,0. A atividade da PPO foi determinada pelo aumento da absorbância a 425 nm a 30 °C. A atividade da PPO foi calculada usando um coeficiente de extinção molar de 3.400 mM cm para catecol e expressa como µmol s<sup>-1</sup> Kg<sup>-1</sup> de peso fresco (Simões *et al.*, 2015).

Foram obtidas seis leituras com um espectrofotômetro Libra com intervalo de 30 segundos.

##### Extração e ensaio da atividade da enzima fenilalanina amônia-liase (PAL) (EC 4.3.1.5)

A atividade da fenilalanina amônia-liase (PAL) foi determinada como descrito por Ke e Saltveit (1986), com adaptações.

O extrato enzimático foi obtido por homogeneização de 2g do tecido vegetal em 5 ml de tampão Borato de Sódio 50 mM (pH 8,5), contendo 5mM de  $\beta$ -mercaptoetanol e 1,25g de Polivinil pirrolidona (PVP) pré-resfriado, centrifugado a 25.000g durante 20 minutos em centrífuga refrigerada a 4 °C.

Para o ensaio, após a centrifuga, as amostras foram filtradas, em seguida foram retirados 3 ml do sobrenadante, e em tubo de ensaio foi levado em banho termostático a 40 °C (2 minutos). Por fim, foram adicionados 330  $\mu$ L de L-fenilalanina (100mM), homogeneizado e, imediatamente, efetuado uma leitura de absorvância a 290 nm, seguido de uma outra leitura após uma hora nestas condições. E uma curva padrão foi construída com base na quantidade de ácido transcinâmico formado, os resultados foram expressos em  $\mu$ mol de ácido cinâmico  $h^{-1}.g^{-1}$  MF.

### **Determinação do teor de fenólicos totais**

O teor de fenólicos totais foi determinado utilizando o reativo de Folin-Ciocalteu de acordo com o método descrito por Boroski *et al.* (2015), com adaptações. Foi pesado 1g do material vegetal, referente às regiões periférica, intermediária e central da rodela do inhame, homogeneizadas em 10 mL de água destilada e, em seguida, filtradas com o auxílio de papel filtro. O ensaio foi realizado no escuro com 250 ml do extrato, 150 ml de Folin-Ciocalteu. A mistura foi homogeneizada e, em seguida, 300 ml de carbonato de sódio. Os ensaios foram realizados em um espectrofotômetro a 725 nm e os resultados expressos em mg equivalente a ácido gálico  $kg^{-1}$  quantificado com base na curva padrão. Os resultados foram expressos em porcentagem de massa fresca<sup>-1</sup> (MF). A absorção máxima em 725 nm foi determinada em espectrofotômetro UV-Vis.

### **Delineamento experimental e estatística**

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado (DIC) montado em esquema fatorial 3 x 6 correspondendo respectivamente a três pontos delimitados na rodela do inhame (Figura 2) e ao tempo de armazenamento sob refrigeração (0, 3, 6, 9, 12 e 15 dias) com quatro repetições. Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANAVA) e separação de médias pelo teste F e à comparação de médias pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ), expressos com a média  $\pm$  desvio padrão.

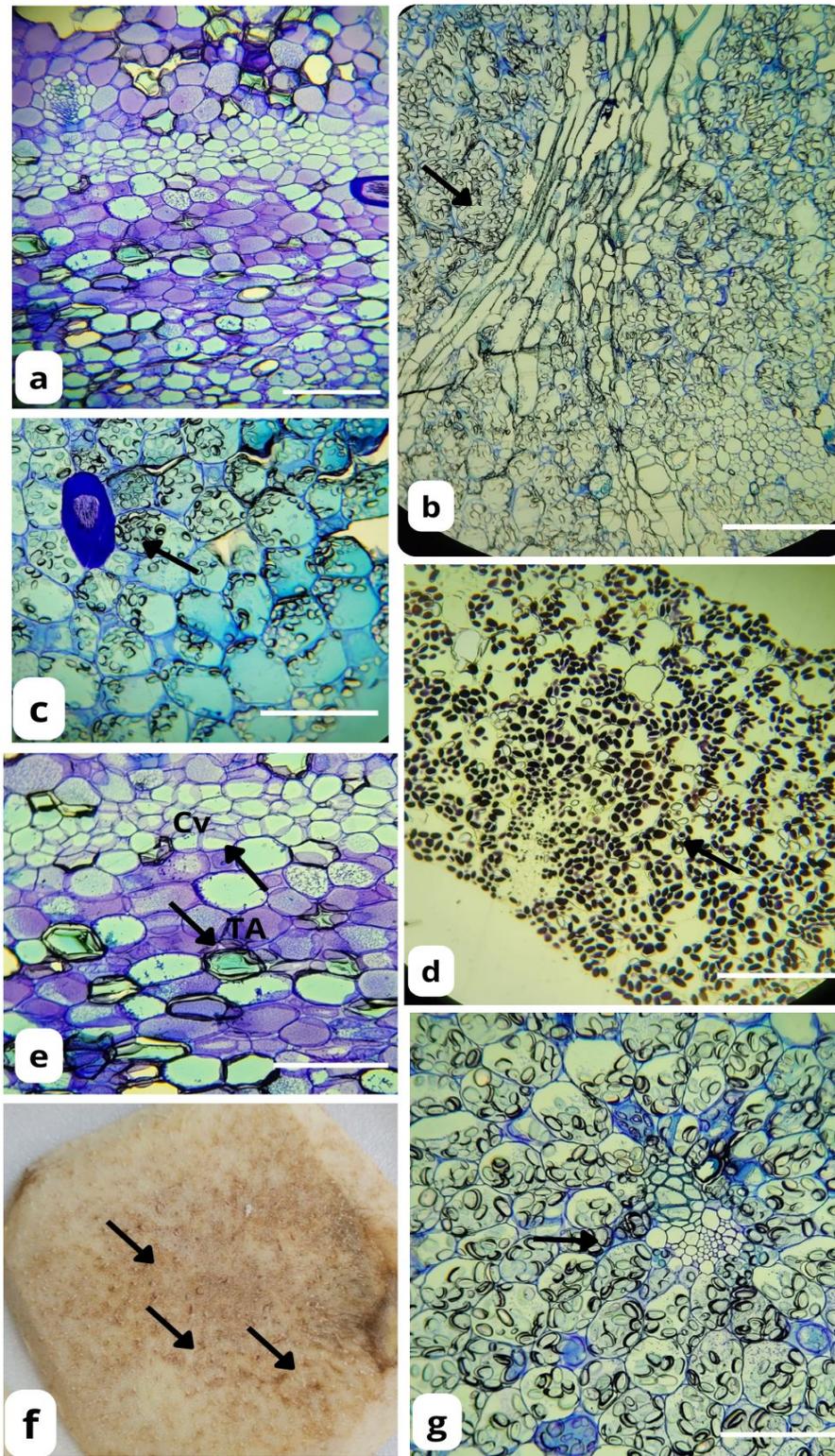
## **4.3. Resultados e discussão**

### **4.3.1 Caracterização histoquímica-anatômica do inhame**

Verificaram-se diferentes estruturas anatômicas (Tabela 2; Figura 4) nas regiões estudadas. Foram visualizados grânulos de amido (Figura 4d), taninos (Figura 4e), cristais de oxalato de cálcio, na forma de cristais de ráfides (Figura 4c) e a presença de feixes vasculares (Figura 4b; 4g). Verificou-se também a presença de câmbio vascular (Figura 4e) na região periférica.

Anatomicamente o inhame é composto essencialmente por células de parênquima e por feixes de xilema e floema (Figura 4g) distribuídos irregularmente em todo o tecido fundamental. Foram encontrados também alguns cristais de ráfide (Figura 4c) e taninos (Figura 4e) distribuídos ocasionalmente nos tecidos. A caracterização anatômica de inhame minimamente processado realizada por Morais *et al.* (2021), indicou que as rodela sem periderme possuem apenas células de parênquima amilífero e alguns câmbios adicionais que são formados com floema e xilema desorganizados diferentemente do observado no

presente trabalho, em que essas estruturas foram observadas em todas as regiões. Raman *et al.* (2014), analisando anatomicamente as diferentes espécies de inhame, observaram que em *Dioscorea rotundata* ocorre a presença de poucos feixes vasculares colaterais distribuídos irregularmente, como também de cristais de oxalato de cálcio em tecidos do córtex e em tecidos em crescimento e taninos distribuídos próximos ao feixe vascular, bem como idioblastos preenchidos com substância granular marrom, abundante no tecido fundamental, corroborando com os resultados observados no presente estudo. Assim, o entendimento da anatomia do inhame é importante para se estabelecer as relações das estruturas anatômicas com os processos químicos e bioquímicos que ocorrem no inhame minimamente processado.



**Figura 4.** Visão geral com diversas estruturas na rodela - (a) Corte transversal de feixe vascular - (b) Cristal de ráfide - (c) Amido - (d) Taninos - (e) Câmbio vascular - (e) Pontos de coloração marrom visualizados macroscopicamente na rodela - (f) Feixes vasculares - (g) Microfotografias de secção transversal da rodela do inhame (*Dioscorea cayanensis*) no estágio inicial das regiões periférica, intermediária e central da rodela de inhame minimamente processado. As imagens de (a - c; e; g) foram coradas com azul de toluidina (0,05%) e a imagem (d) foi corada com lugol para mostrar o conteúdo de amido. A barra corresponde a 0,5  $\mu\text{m}$ .

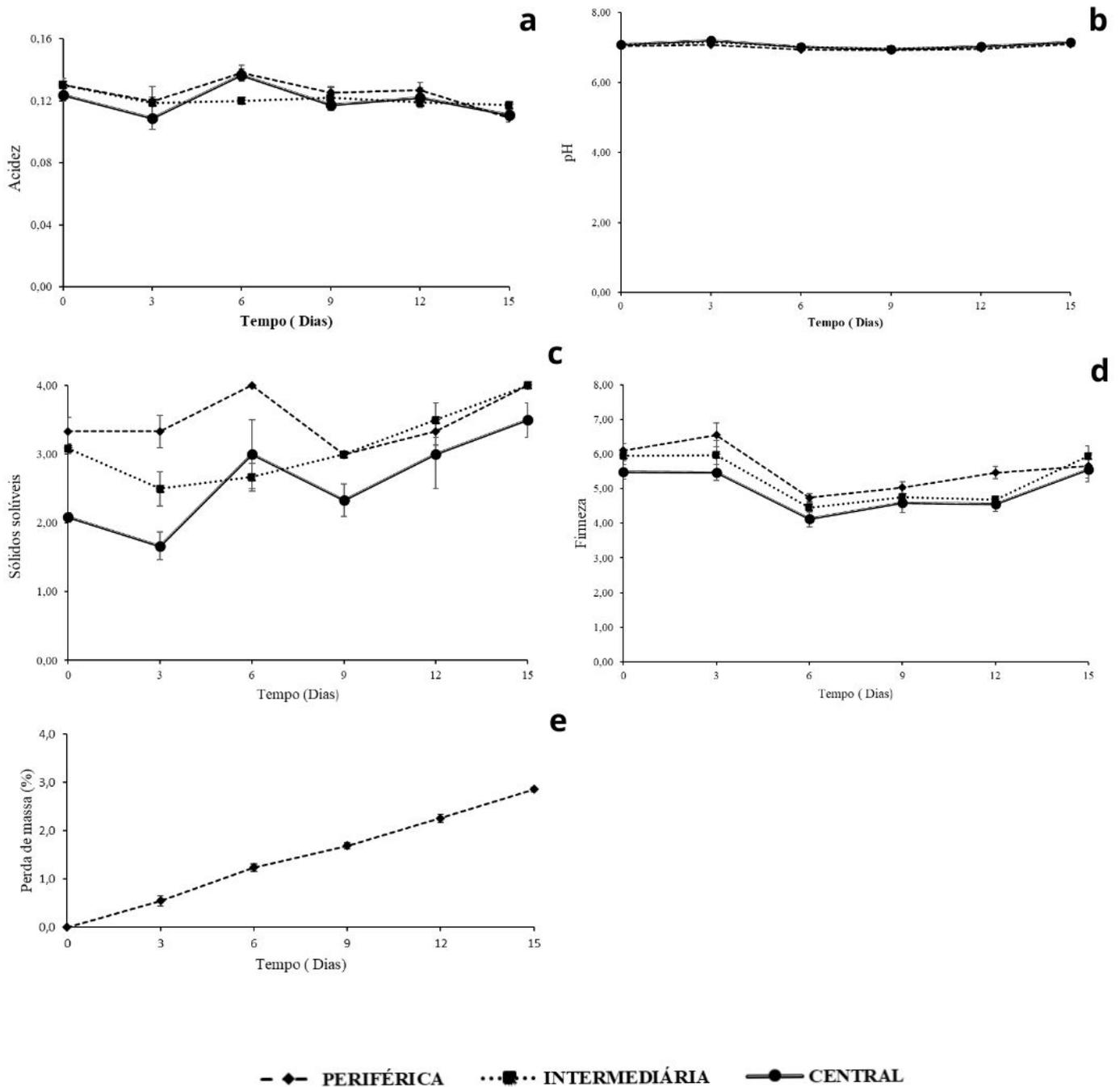
**Tabela 2.** Comparação histoquímica-anatômica entre as regiões periférica, intermediária e central em rodela de inhame minimamente processado (*Dioscorea cayanensis*).

Estrutura	Regiões da rodela do inhame		
	Periférica	Intermediária	Central
<b>Amido</b>	Muito	Razoável	Razoável
<b>Cristais de ráfide</b>	Ocasionalmente	Ocasionalmente	Ocasionalmente
<b>Feixe vascular</b>	Observado	Observado	Observado
<b>Taninos</b>	Alguns	Alguns	Alguns
<b>Câmbio vascular</b>	Observado	Nenhum	Nenhum

#### 4.3.2 Qualidade visual e distribuição não homogênea do escurecimento enzimático

A perda de massa foi constante durante o armazenamento, chegando a aproximadamente 3% (Figura 5e). Diferentemente dos resultados obtidos, Simões *et al.* (2015) verificaram uma perda de massa superior de 8% sob a mesma temperatura de armazenamento. Essa diferença pode estar relacionada ao processo de desidratação e/ou ao tipo de embalagem utilizada. O uso da embalagem de nylon multicamadas causou perda de massa de 8% em inhame minimamente processado (Simões *et al.*, 2015), enquanto inhames armazenados em embalagem de PCV, utilizada no presente estudo, apresentaram perdas de 3%. Segundo Simões *et al.* (2015), a espessura da embalagem utilizada pode influenciar as diferenças na perda de massa das rodela. A baixa perda de massa observada no inhame armazenado a 5 °C não resultou na redução da sua qualidade, provavelmente devido à barreira física formada pela deposição de amido na região superficial da rodela (Figura 4g) impedindo, assim, a desidratação das fatias, como também sugerido por Simões *et al.* (2015).

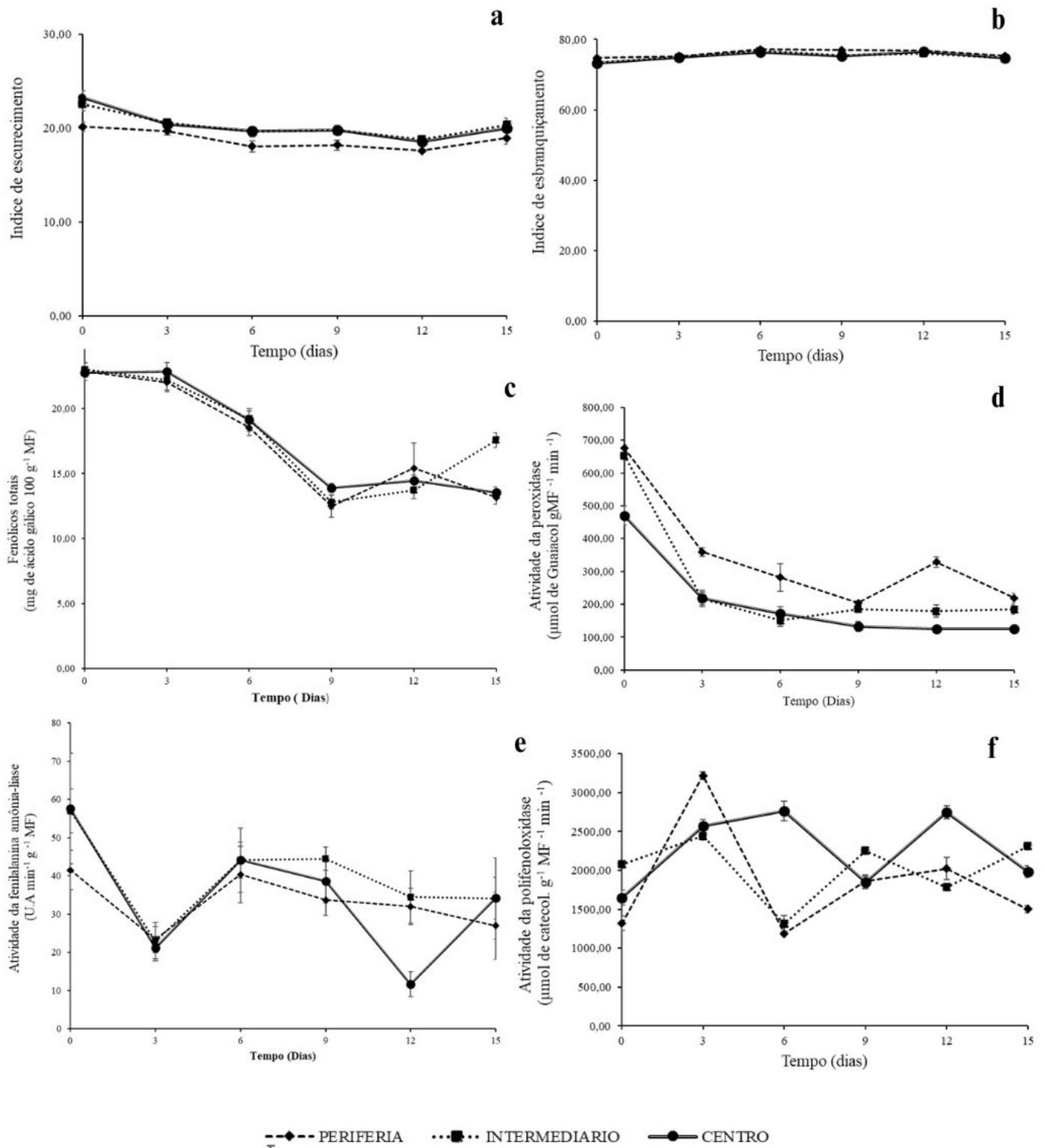
A acidez total titulável das rodela nas diferentes regiões mantiveram-se constantes durante todo período de armazenamento (Figura 5a). Os valores de acidez obtidos sugerem uma redução no processo respiratório nas regiões periférica, intermediária e central da rodela de inhame e uma resposta ao armazenamento refrigerado a 5 °C. A atenuação do metabolismo do vegetal pelo uso de baixa temperatura (Fonseca *et al.*, 2023) pode retardar o consumo dos ácidos orgânicos no processo respiratório, podendo interferir no fluxo do ciclo de Krebs mantendo, assim, os ácidos orgânicos nos tecidos, como observado em pupunha. Por consequência, além da acidez, o pH (Figura 5b) e o teor sólidos solúveis (Figura 5c) também se mantiveram constantes durante o período de armazenamento. Verificou-se também que a firmeza (Figura 5d) das rodela manteve-se constante durante todo o período de armazenamento.



**Figura 5.** Acidez (a), pH (b), Teor de sólidos solúveis (°Brix) (c) e Firmeza (N) (d), Perda de massa (e). Análises físico-químicas em diferentes regiões da rodela de inhame minimamente processado. As barras representam o erro padrão da média.

O armazenamento refrigerado a 5 °C minimizou estresses induzidos pelo corte das rodelas de inhame e manteve a qualidade das rodelas em todas as regiões estudadas, como também foi verificado por Simões *et al.* (2015), podendo, assim, ser considerado um método eficaz para manter a qualidade do inhame minimamente processado.

Não foi verificada diferença significativa no índice de escurecimento (Figura 6a) entre os tratamentos, no entanto ao longo do período de armazenamento houve uma diminuição do escurecimento até o 12º dia, o qual aumentou após esse período.



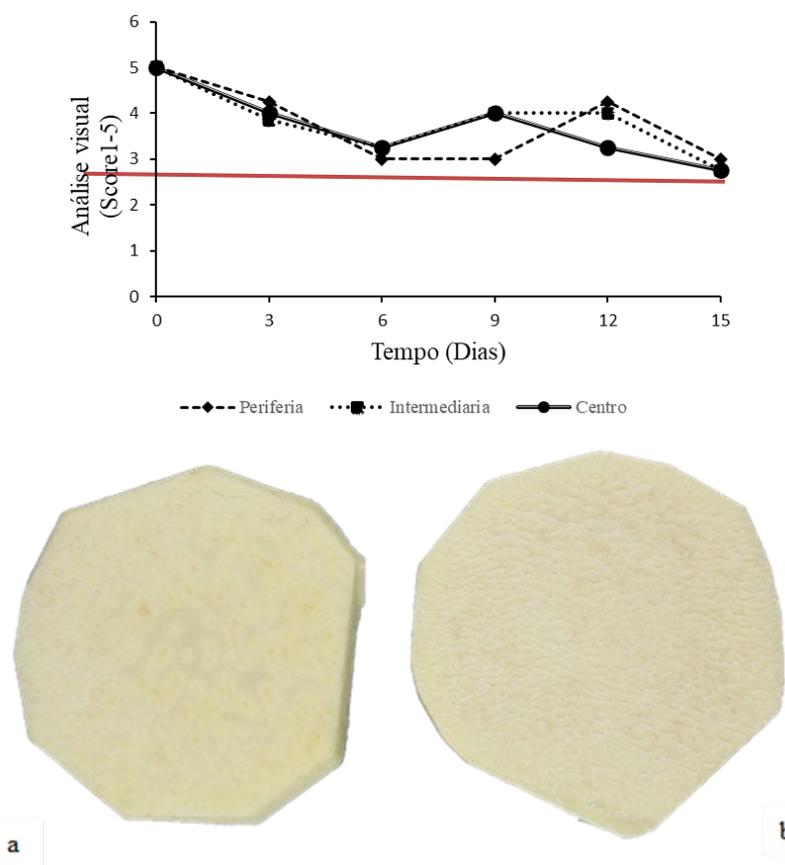
**Figura 6.** Índice de escurecimento (a), Índice de esbranquiçamento (b), Teores fenólicos totais (mg de ácido gálico 100 g<sup>-1</sup> MF) (c), Atividade da peroxidase – POD (μmol de Guaiacol gMF<sup>-1</sup> min<sup>-1</sup>) (d), Atividade da fenilalanina amônia-liase (U.A mm<sup>-2</sup> g<sup>-1</sup> MF) (e) e Atividade da polifenoloxidase –PPO (μmol de catecol. g<sup>-1</sup> MF<sup>-1</sup> min<sup>-1</sup>) (f). Análises bioquímicas em diferentes regiões da rodela de inhame minimamente processado. As barras representam o erro padrão da média.

De maneira antagônica ao escurecimento, o índice de esbranquiçamento (Figura 6b) aumentou até o 6º dia mantendo-se constante até o 12º dia, diminuindo após esse período. O esbranquiçamento na superfície da rodela pode ter ocorrido devido à deposição do amido nas rodela durante o armazenamento (Figura 4g). Morais *et al.* (2019), por exemplo, verificaram que em inhame minimamente processado também ocorre esbranquiçamento nos tecidos, corroborando com os resultados obtidos no presente estudo. O amido visualizado na superfície da rodela (Figura 4g) pode ter sido resultante do extravasamento do conteúdo celular provocado pelo corte (Donegá *et al.*, 2013). Além da deposição do amido verificada no presente estudo, Simões *et al.* (2010) verificaram que o esbranquiçamento, em mini cenouras, consiste em um processo físico, causado pela desidratação associada ao colapso das células superficiais e não está associado à deposição de lignina ou suberina, efeito este que também pode ter ocorrido nas rodela de inhame.

Com relação à análise visual (Figura 8), não foram observadas diferenças entre as regiões, tanto para o aumento do escurecimento (Figura 8a) quanto para o esbranquiçamento (Figura 8b). Até o 12º dia de armazenamento, todas as regiões da rodela permaneceram com score igual ou superior a três, nota considerada limite de aceitação para o consumo (Morais *et al.*, 2021). A partir do 12º dia foi verificado escurecimento nos tecidos resultando em diminuição do score (Figura 8). É importante destacar que, em função da cor branca do inhame, o esbranquiçamento não teve grande influência na avaliação visual do inhame (Figura 8b). Esses resultados indicam que visualmente o inhame armazenado a 5 °C apresenta-se com qualidade e aceitável até 12 dias de armazenamento, não apresentando escurecimento ou esbranquiçamento nesse período.

A atividade de POD (Figura 6d) elevou-se logo após o processamento e apresentou uma redução até o 6º dia de armazenamento. Em todos os tratamentos, a atividade de POD manteve-se constante do 6º dia até o final do armazenamento (Figura 6d). A atividade da POD logo após o processamento pode estar relacionada às operações de descascamento e corte, as quais induzem a descompartimentalização celular e quebra do equilíbrio do metabolismo intracelular, (Zhang *et al.*, 2018) acarretando a oxidação de compostos fenólicos e escurecimento dos tecidos com o tempo de armazenamento (Guan *et al.*, 2024). Em cenoura (Surjadinata *et al.*, 2021), brócolis (Guan *et al.*, 2021) e repolho roxo (Guan *et al.*, 2023), por exemplo, o ferimento pode induzir a geração de ROS, moléculas de sinalização que agem na ativação da biossíntese de fenilpropanoides, por regulação das atividades enzimáticas, resultando no escurecimento enzimático. Nesse sentido, mesmo sob refrigeração, a alta atividade da POD nos estágios iniciais de armazenamento no inhame pode ter ocorrido devido à ativação do sistema antioxidante em razão ao estresse desencadeado pelo corte (Guan *et al.*, 2023). Em repolho roxo, o corte induziu as espécies reativas de oxigênio (ROS) estimulando a atividade das enzimas antioxidantes promovendo a atividade da POD (Guan *et al.*, 2023).

A atividade da PAL (Figura 6e) não variou no tecido entre as regiões periféricas, intermediária e central do inhame minimamente processado. Ao longo do tempo de armazenamento, a sua atividade apresentou diminuição no 3º dia, porém apresentou um aumento a partir do 6º dia de armazenamento, mantendo-se estável até o final do tempo de armazenamento. O uso de baixa temperatura pode ter contribuído para a redução da atividade de PAL bem como da biossíntese de “*novo*” dessa enzima (Xu *et al.*, 2015).



**Figura 7.** Análise visual da região periférica, intermediária e central de inhame minimamente processado durante 15 dias de armazenamento. Escurecimento enzimático (a); estrias de esbranquiçamento (b). As barras representam o erro padrão da média. Rodelas de inhame minimamente processado.

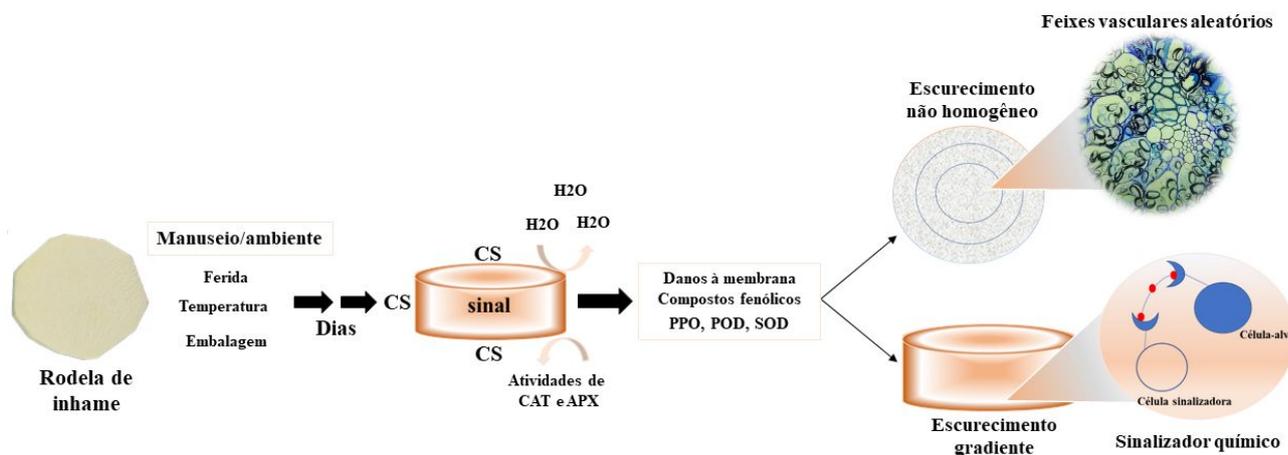
A redução da atividade da PAL no 3º dia de armazenamento refletiu diretamente nos teores de compostos fenóis (Figura 6c), os quais diminuíram até o 6º dia de armazenamento e mantiveram-se constante até o 15º dia de armazenamento. A atividade da PPO não variou entre as regiões periférica, intermediária e central do inhame minimamente processado (Figura 6f). Apesar da atividade da PPO manter-se constante durante do armazenamento (Figura 6f), o início do escurecimento das rodela de inhame somente pode ser verificado a partir do 12º dia. Esses resultados podem estar relacionados à redução da atividade da PAL, o que levou à diminuição da biossíntese dos compostos fenólicos (Figura 6c) e, por consequência, contribuiu em retardar o escurecimento. Em alface o escurecimento pode ser resultante de um processo indutivo ativo que requer a síntese de “*novo*” de PAL e o acúmulo de compostos fenólicos, ou seja, o escurecimento não ocorre pela oxidação de compostos fenólicos preexistentes, mas possivelmente em razão à criação do sinal de ferida e à síntese subsequente de PAL (Saltveit *et al.*, 2000), resultado este pode ter ocorrido nas rodela de inhame minimamente processado após o 9º dia de armazenamento quando se verificou um aumento na atividade de PAL e uma produção constante de compostos fenólicos (Figura 6c).

O escurecimento das rodela de inhame foi observado tanto através da análise do índice de escurecimento quanto da análise visual (Figura 8). Verificou-se que o início do escurecimento enzimático se concentrou principalmente ao redor dos feixes vasculares (Figura 8 a), como pontos de coloração marrom dispersos de forma não homogênea na

superfície das rodela (Figura 4f). Xu *et al.* (2015), investigando os efeitos da enzima PPO no estágio inicial do escurecimento em explantes de *Phalaenopsis*, verificaram que a PPO foi localizada principalmente nos feixes vasculares do tecido do explante. Os feixes vasculares que sofreram escurecimento são destruídos e preenchidos com tanino, e que durante o escurecimento do explante os compostos fenólicos são depositados principalmente nos feixes vasculares (Xu *et al.*, 2015). Como verificado no presente estudo, Xu *et al.* (2015) verificaram que em explantes de *Phalaenopsis*, o escurecimento está intimamente relacionado à lesão do feixe vascular.

Em inhame minimamente processado, Coelho Junior *et al.* (2019) observaram que o tipo de corte originado de regiões mais internas do tubérculo são menos suscetíveis ao escurecimento comparado com a região superficial da rodela, uma vez que as respostas fisiológicas são mais evidentes nos tecidos mais próximos da lesão e transmitidas com menor intensidade para os tecidos mais adjacentes do que em outras regiões. Morais *et al.* (2021) propõem que o tipo de corte originado de regiões mais internas do tubérculo acarretam uma menor intensidade do escurecimento comparada com a região superficial da rodela, e que esse efeito se deve em parte, ao tecido da região interna ser menos suscetível a respostas oxidativas e menor alteração no metabolismo fenólico (Morais *et al.*, 2021). No entanto, no presente estudo verificou-se que o escurecimento enzimático ocorre não apenas do tecido próximo à região do corte, e sim em torno dos feixes vasculares que estão distribuídos de forma não homogênea em toda a extensão do tecido parenquimático do inhame minimamente processado (Figura 4g). Em pupunha minimamente processada (Fonseca *et al.*, 2023), por exemplo, foi verificado que o tecido da região superficial é metabolicamente mais ativo e que a alteração de cor ocorre aleatoriamente ao longo da superfície, das regiões mediana e basal do caule. Em mandioca, a descoloração ocorre devido à oxidação de células adjacentes ao xilema como estratégia de defesa, formando a chamada faixa escura dos vasos do xilema. Este fato pode estar associado à formação de oclusões de tilose dentro dos vasos secundários na terceira camada de tecido compostas de felogênio e feloderma, câmbio e floema, e vasos secundários e células de parênquima de armazenamento (Djabou *et al.*, 2017). O escurecimento verificado na região superficial da rodela e de forma intensa próximo à epiderme e em torno dos feixes vasculares, podem ser resultantes da ação de PPO localizada em toda extensão da polpa e distribuída de forma não homogênea como ocorre, por exemplo, em maçã (Oliveira *et al.*, 2008) e pupunha (Fonseca *et al.*, 2023).

Com base nas informações da literatura e nos resultados do presente estudo, a figura 8 mostra um diagrama que propõe uma hipótese complementar ao mecanismo de respostas físicas e fisiológicas envolvidas no escurecimento enzimático do inhame minimamente processado proposto por Coelho Júnior *et al.* (2019). Assim, os resultados do presente estudo sugerem que o escurecimento da região superficial resultante de reações oxidativas, além de resultar no escurecimento gradiente iniciado no tecido mais próximo da ferida, ocorre também com intensidade em torno dos feixes vasculares, caracterizando um escurecimento enzimático não homogêneo, uma vez que sua distribuição ocorre de forma aleatória. No diagrama, o manuseio, o ambiente e o armazenamento estimulam a produção de um sinal químico (Desconhecido) e sua transdução no final, as rodela de inhame tornam-se marrons em um gradiente de fora para dentro (Coelho Júnior *et al.*, 2019). Ainda com os resultados obtidos, sugere-se que o inhame pode ser cortado em diferentes formatos, e as análises bioquímicas podem ser realizadas nas diferentes regiões do produto cortado (periférica, intermediária e central), uma vez que não apresentam diferença significativa entre as partes.



**Figura 8.** Mecanismo para o escurecimento enzimático não homogêneo em rodela de inhame minimamente processado em adição ao mecanismo proposto por Coelho Júnior *et al.* (2019). Durante o período de armazenamento, a rodela de inhame está vulnerável a fatores decorrentes do manuseio e/ou ambiente, como a ferida, temperatura e o tipo de embalagem. Estes fatores em combinação podem resultar na produção de sinal químico (Desconhecido) e a sua transdução, causando danos à membrana e aumento no teor de compostos fenólicos e atividade das enzimas oxidativas (PPO, POD e SOD). Esses eventos resultam na propagação do escurecimento enzimático não apenas de forma gradiente (de fora para dentro), como também escurecimento não homogêneo caracterizado por um escurecimento intenso em torno dos feixes vasculares distribuídos aleatoriamente. No final do armazenamento, a região superficial apresenta pontos de coloração marrom distribuídos em toda extensão do tecido fundamental do inhame.

#### 4.4. Conclusões

Existem diferentes estruturas anatômicas ao longo do tecido fundamental das rodela de inhame, incluindo cristais de ráfides, amido, taninos e feixes vasculares, com distribuição irregular entre as regiões periférica, intermediária e central.

E, a partir desse resultado, verificou-se que as respostas fisiológicas e bioquímicas relacionadas à intensidade do escurecimento na região superficial ocorrem principalmente próximos aos feixes vasculares. Uma vez que estes estão distribuídos de forma não homogênea, a propagação do escurecimento enzimático ocorre de forma simultânea em todas as regiões das rodela de inhame minimamente processado.

A atividade da polifenoloxidase (PPO) diminui ao longo do tempo de armazenamento, enquanto a atividade da fenilalanina amônia-liase (PAL) e os teores de fenóis permanecem estáveis. Todas as regiões do tubérculo respondem de maneira similar ao processamento mínimo e ao armazenamento refrigerado.

#### 4.5. Referências Bibliográficas

ANDRES, C.; ADEOLUWA, O. O.; BHULLAR, G. S. Yam (*Dioscorea* spp.). In: SIMMONDS, N. W. **Encyclopedia of Applied Plant Sciences**, 2017. p. 435–441.

BOLIN, H. R.; HUXSOLL, C. C. Effect of preparation procedures and storage parameters on quality retention of salad-cut lettuce. **Journal of Food Science**, v. 56, n. 1, p. 60-62, 1991.

BOROSKI, M.; VISENTAINER, J.V.; COTTICA, S.M.; MORAIS, D.R. **Antioxidantes: princípios e métodos analíticos**. 1 ed. Curitiba: Ed. e Livraria Appris, 2015. p. 49-55.

BRITO, T. T.; SOARES, L. S.; FURTADO, M. C.; CASTRO, A. A.; CARNELOSSI, M. A. G. Composição centesimal de inhame in natura e minimamente processado. **Revista Scientia Plena**, v. 7, n. 6, 2011.

CENCI, S. A. **Processamento mínimo de frutas e hortaliças: tecnologia, qualidade e sistemas de embalagem**. Rio de Janeiro: Embrapa Agroindústria de Alimentos, 2011. 144 p. ISBN 978-85-62158-04-9.

CHANG, S.; GUO, Q.; DU, G.; TANG, J.; LIU, B.; SHAO, K.; ZHAO, X. Probiotic-loaded edible films made from proteins, polysaccharides, and prebiotics as a quality factor for minimally processed fruits and vegetables: A review. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 253, p. 127226, 2023. ISSN 0141-8130. DOI:10.1016/j.ijbiomac.2023.127226.

COELHO JÚNIOR, L. F.; FERREIRA SILVA, S. L.; VIEIRA, M. R. S.; CARNELOSSI, M. A. G.; SIMOES, A. N. Darkening, damage and oxidative protection are stimulated in tissues closer to the yam cut, attenuated or not by the environment. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 98, p. 2223-2230, 2019.

COURSEY, D. G. Y. *Dioscorea* spp. (Dioscoreaceae). In: SIMMONDS, N. W. **Evolution of crop plants**. New York: Longman, 1976. p. 70-74.

DJABOU, A. S. M.; CARVALHO, L. J.; LI, C. B.; QING, X.; NIEMENAK, N.; CHEN, S. Cassava postharvest physiological deterioration: a complex phenomenon involving calcium signaling, reactive oxygen species and programmed cell death. **Acta Physiologiae Plantarum**, 2017. DOI: 10.1007/s11738-017-2382-0.

DONEGÁ, M. A.; TESSMER, M. A.; MOOZ, E. D.; DALL'ORTO, L. T. C.; SASAKI, F. F. C.; KLUGE, R. A. Fresh cut yam stored under different temperatures. **Horticultura Brasileira**, v. 31, p. 248-254, 2013.

DOVENE, A. K.; WANG, L.; BOKHARY, S. U. F.; MADEBO, M. P.; YONGHUA, Z.; JIN, P. Effect of Cutting Styles on Quality and Antioxidant Activity of Stored Fresh-Cut Sweet Potato (*Ipomoea batatas* L.) Cultivars. **Foods**, 2019. DOI: 10.3390/foods8120674.

FAO. **Food and Agriculture Organization of the United Nations/Agricultural statistic database**. Roma: World Agricultural Information Center, 2017. Disponível em: <http://faostat3.fao.org/browse/Q/QC/S>. Acesso em: 08 out. 2022.

FENG, Y.; O'MAHONY, M. Comparison between American and Chinese consumers in the use of verbal and numerical 9-point hedonic scales and R-Index ranking for food and personal products. **Food Quality and Preference**, 2017. DOI: 10.1016/j.foodqual.2017.04.004.

FONSECA, K. S.; GARCIA, R. P. O.; MELO, A. A. M.; SOUSA, A. E. D. de; PUSCHMANN, R.; RIBEIRO, D. M.; PICOLI, E. A. de T.; NUNES-NESE, A. Anatomical and metabolic changes related to the yellowing of minimally processed peach palm (*Bactris gasipaes* Kunth) during cold storage. **Food Chemistry Advances**, v. 3, 2023. DOI: 10.1016/j.focha.2023.100523.

GUAN, Y. G.; HU, W. Z.; XU, Y. P.; SARENGAOWA; JI, Y. R.; YANG, X. Z.; FENG, K. Proteomic analysis validates previous findings on wounding responsive plant hormone signaling and primary metabolism contributing to the biosynthesis of secondary metabolites based on metabolomic analysis in harvested broccoli (*Brassica oleracea* L. var. *italica*). **Food Research International**, 2021. DOI: 10.1016/j.foodres.2021.110388.

GUAN, Y.; HU, W.; XU, Y.; YANG, X.; JI, Y.; FENG, K.; SARENGAOWA. Metabolomics and physiological analyses validates previous findings on the mechanism of response to wounding stress of different intensities in broccoli. **Food Research International**, v. 140, 2021.

GUAN, Y.; JI, Y.; YANG, X.; PANG, L.; CHENG, J.; LU, X.; ZHENG, J.; YIN, L.; HU, W. Antioxidant activity and microbial safety of fresh-cut red cabbage stored in different packaging films. **LWT**, v. 175, 2023. DOI: 10.1016/j.lwt.2023.114478.

GUAN, Y.; LU, S.; SUN, Y.; ZHENG, X.; WANG, R.; LU, X.; PANG, L.; CHENG, J.; WANG, L. Tea polyphenols inhibit the occurrence of enzymatic browning in fresh-cut potatoes by regulating phenylpropanoid and ROS metabolism. **Plants (Basel)**, v. 13, n. 1, p. 125, 2024. DOI: 10.3390/plants13010125. PMID: 38202433; PMCID: PMC10781026.

HONFOZO, L.; ADINSI, L.; BOUNIOL, A.; ADETONAH, S.; FORSYTHE, L.; KLEIH, U.; HOUNHOUGAN, J.D.; FLIEDEL, G.; AKISSOE, N.H. Boiled yam end-user preferences and implications for trait evaluation. **Int. J. Food Sci. Technol.**, v. 56, p. 1447–145, 2020.

HU, W. S.; GUAN, Y.; FENG, K. Biosynthesis of Phenolic Compounds and Antioxidant Activity in Fresh-Cut Fruits and Vegetables. **Frontiers in Microbiology**, 2022. DOI: 10.3389/fmicb.2022.906069.

HU, W.; GUAN, Y.; JI, Y.; YANG, X. Effect of cutting styles on quality, antioxidant activity, membrane lipid peroxidation, and browning in fresh-cut potatoes. **Food Bioscience**, v. 44, Part B, 2021. DOI: 10.1016/j.fbio.2021.101435.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz. v. 1. **Métodos químicos e físicos para análise de alimentos**. 3. ed. São Paulo: IMESP, 1985.

KE, D.; SALTVEIT, M. Effects of calcium and auxin on russet spotting and phenylalanine ammonia-lyase activity in iceberg lettuce. **HortScience**, v. 21, p. 1169-1171, 1986. DOI: 10.21273/HORTSCI.22.2.1986

LI, X.; LONG, Q.; FAN, G.; HAN, C.; JIN, P.; ZHENG, Y. Effect of cutting styles on quality and antioxidant activity in fresh-cut pitaya fruit. **Postharvest Biology and Technology**, [s.l.], v. 124, p. 1-7, 2017. DOI: 10.1016/j.postharvbio.2016.09.009

MORAIS, M.A.D.; FONSECA, K.S.; VIÉGAS, E.K.D. et al. Mucilage of spineless cactus in the composition of an edible coating for minimally processed yam (*Dioscorea* spp.). **Food Measure**, v. 13, 2000–2008, 2019. <https://doi.org/10.1007/s11694-019-00120-9>

MORAIS, M. A. S.; FONSECA, K. S.; MEDEIROS, R. A.; ANDRADA, L. V. P.; SARAIVA, R. A.; FERREIRA-SILVA, S. L.; LIMA, A. L. A.; SIMOES, A. N. Use of the abrasion technique in minimal processing as an alternative to increase purchase acceptability

and minimize browning in yam. **Journal of the science of food and agriculture**, p. 1-11, 2021.

OLIVEIRA, G. A.; VASCONCELOS, L. T.; VILELA, M. R.; TEIXEIRA, A. C.; SOUSA, J. J. Evaluation of yam (*Dioscorea* spp.) tuber quality during storage. **Food Control**, v. 89, p. 318-324, 2018. DOI: 10.1016/j.foodcont.2018.02.004.

SALTVEIT, M. E. Wound induced changes in phenolic metabolism and tissue browning are altered by heat shock. **Postharvest Biology and Technology**, v. 21, p. 61-69, 2000. DOI: 10.1016/S0925-5214(00)00165-4

PEPA, L.S.; RODRÍGUEZ, S.D.; FERREIRA, C.S.; BUERA, M.D.P. Interpretation of the color due to the ubiquitous nonenzymatic browning phenomena in foods. **Color Research & Application**, 2020. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/col.22574>.

RAMAN, V.; GALAL, A. M.; AVULA, B.; SAGI, S.; SMILLIE, T. J.; KHAN, I. A. Application of anatomy and HPTLC in characterizing species of *Dioscorea* (Dioscoreaceae). **Journal of Natural Medicines**, [s.l.], v. 68, n. 4, p. 686–698, 2014. DOI: 10.1007/s11418-014-0849-5.

SIMÕES, A. N.; MOREIRA, S. I.; MOSQUIM, P. R.; SOARES, N. F.; PUSCHMANN, R. Effect of conservation temperature on quality and phenolic metabolism of intact and minimally processed kale leaves. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 37, p. 101-107, 2015.

SIMÕES, A. N.; VENTRELLA, M. C.; MORETTI, C. L.; CARNELOSSI, M. A. G.; PUSCHMANN, R. Anatomical and physiological evidence of white blush on baby carrot surfaces. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 55, p. 45-52, 2010.

SURJADINATA, B. B.; JACOBO-VELÁZQUEZ, D. A.; CISNEROS-ZEVALLOS, L. Physiological role of reactive oxygen species, ethylene, and jasmonic acid on UV light induced phenolic biosynthesis in wounded carrot tissue. **Postharvest Biology and Technology**, v. 172, p. 111388, 2021. DOI:10.1016/j.postharvbio.2020.111388  
10.1016/j.postharvbio.2020.111388

TITON, M.; XAVIER, A.; OTONI, W. C.; MOTOIKE, S. Y. Efeito dos reguladores de crescimento dicamba e picloram na embriogênese somática em *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, v.31, p.417-426, 2013.

XU, C.; RU, Z.; LI, L.; ZENG, B.; HUANG, J.; HUANG, W.; HU, O. The Effects of Polyphenol Oxidase and Cycloheximide on the Early Stage of Browning in *Phalaenopsis* Explants. **Horticultural Plant Journal**, v. 1, p. 172-180, 2015. doi.org/10.16420/j.issn.2095-9885.2015-0030.

YOUSSEF, K.; ROBERTO, S. R. Aplicações de soluções salinas antes e após a colheita afetam a qualidade e a incidência de mofo cinzento pós-colheita em uvas de mesa 'Italia'. **Pós-colheita Biologia e Tecnologia**, v. 87, p. 95-102, 2014. DOI:10.1016/j.postharvbio.2013.08.011

ZHANG, Y.; HUBER, D.J.; HU, M.; JIANG, G.; GAO, Z.; XU, X.; JIANG, Y.; ZHANG, Z. Retardo do escurecimento pós-colheita em frutas de lichia por melatonina através do aprimoramento de processos antioxidantes e reparo de oxidação. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 66, pp. 7475 – 7484, 2018. DOI: 10.1021/acs.jafc.8b01922

ZHAO, L.; WANG, D.; MA, Y.; ZHANG, Y.; ZHAO, X. Yellow pigment formation, pigment composition, and quality of fresh-cut yam (*Dioscorea opposita*) slices. **RSC Advances**, v. 10, n. 2, p. 1104–1113, 2020. DOI: 10.1039/c9ra07641

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A caracterização anatômica detalhada do inhame minimamente processado é essencial para entender os processos fisiológicos e bioquímicos que ocorrem após o processamento, contribuindo para o desenvolvimento de tecnologias que visem melhorar a qualidade e a durabilidade dos produtos minimamente processados.

Os resultados deste estudo sugerem que o corte e o armazenamento refrigerado são estratégias viáveis para manter a qualidade do inhame minimamente processado, com implicações positivas para a indústria alimentícia em termos de redução de perdas econômicas e aumento da vida útil dos produtos.

Estudos adicionais são necessários para explorar mais profundamente os mecanismos moleculares envolvidos no escurecimento enzimático e para desenvolver métodos mais eficazes de controle desse fenômeno. Além disso, a análise de diferentes variedades de inhame e a aplicação de outras tecnologias de conservação poderiam ampliar o conhecimento sobre o processamento mínimo desses tubérculos.

Estas conclusões e considerações destacam a importância da pesquisa em melhorar a qualidade do inhame minimamente processado, fornecendo uma base sólida para futuras investigações e aplicações práticas na indústria alimentícia.

## ANEXO

Tabela. Teste de Tukey a 5% de análises físico-químicas e bioquímicas.

ANÁLISE	TRATAMENTO	DIAS						cv
		0	3	6	9	12	15	
Índice de Escurecimento	PERIFERIA	20,13 aA	19,69 aAB	18,05 aAB	18,18 aAB	17,59 aB	18,94 aAB	5,81
	INTERMEDIARIO	22,53 aA	20,58 aAB	19,61 aB	19,75 aB	18,78 aB	20,36 aAB	
	CENTRO	23,22 aA	20,43 aB	19,73 aB	19,79 aB	18,55 aB	19,94 aB	
Índice de Esbranquiçamento	PERIFERIA	74,79 aB	75,25 aB	77,18 aA	76,93 aA	76,75 aA	75,27 aB	0,33
	INTERMEDIARIO	73,44 bE	74,85 aCD	76,68 bA	75,42 bC	76,03 bB	74,63 bD	
	CENTRO	73,14 bC	74,94 aB	76,4 bA	75,29 bB	76,56 bA	74,75 bB	
Firmeza	PERIFERIA	6,1 aAB	6,55 aA	4,74 aC	5,04 aBC	5,46 aABC	5,66 aABC	10,88
	INTERMEDIARIO	5,95 aAB	5,97 abA	4,46 aC	4,76 aBC	4,69 aC	5,94 aAB	
	CENTRO	5,49 aA	5,46 aB	4,13 aB	4,59 aAB	4,55 aAB	5,55 aA	
pH	PERIFERIA	7,04 aA	7,07 cA	6,93 cB	6,93 aB	6,96 bB	7,09 bA	0,44
	INTERMEDIARIO	7,08 aB	7,16 bA	7,01 aC	6,96 aC	7,01 aC	7,13 abAB	
	CENTRO	7,08 aB	7,21 aA	7,02 aB	6,95 aC	7,03 aB	7,15 aA	
Acidez	PERIFERIA	0,13 aAB	0,12 aAB	0,14 aA	0,13 aAB	0,13 aAB	0,11 aB	9,64
	INTERMEDIARIO	0,13 aA	0,12 aA	0,12 aA	0,12 aA	0,12 aA	0,12 aA	
	CENTRO	0,12 aAB	0,11 aB	0,14 aA	0,12 aAB	0,12 aAB	0,11 aB	
Brix	PERIFERIA	3,33 aA	3,33 aA	4 aA	3 aA	3,33 aA	4 aA	17,24
	INTERMEDIARIO	3,08 aAB	2,5 abB	2,67 bB	3 aAB	3,5 aAB	4 aA	
	CENTRO	2,08 bBC	1,67 bC	3 bAB	2,33 aBC	3 aAB	3,5 aA	
Fenólicos	PERIFERIA	22,86 aA	22,02 aA	18,53 aB	12,51 aC	15,42 aB	13,18 bC	7,66
	INTERMEDIARIO	23,01 aA	22,21 aA	19,22 aB	12,8 aC	13,72 bC	17,58 aB	
	CENTRO	22,78 aA	22,86 aA	19,14 aB	13,9 aC	14,45 bC	13,54 bC	
PPO	PERIFERIA	1319,91 bD	3219,03 aA	1188,36 bD	1858,64 bBC	2025,67 bB	1501,6 cCD	8,67
	INTERMEDIARIO	2076,6 aAB	2441,38 bA	1315,2 bC	2255,79 aA	1784,17 bB	2312,27 aA	
	CENTRO	1652,6 bB	2574,57 bA	2766,74 aA	1847,24 bB	2746,59 aA	1982,88 bB	
POD	PERIFERIA	676,25 bA	360,18 bB	281,65 bBC	204,62 aBC	328,77 bC	219,23 bC	15,78
	INTERMEDIARIO	653,16 aA	217,87 bB	151,26 bB	185,64 aB	178,75 bB	184,87 abB	
	CENTRO	470,35 aA	218,29 aB	172,54 aBC	132,84 aC	125,35 aB	126,09 aC	
PAL	PERIFERIA	5,16 aA	3,39 aA	7,35 aA	4 aA	4,74 aA	8,8 aA	49,05
	INTERMEDIARIO	5,76 aA	5,04 aA	8,49 aA	3,12 aA	6,85 aA	10,58 aA	
	CENTRO	14,41 aA	2,9 aA	4,66 aA	5,72 aA	3,27 aA	5,42 aA	
Análise Visual	PERIFERIA	5 aAB	4,25 aA	3 aAB	3 aAB	4,25 aAB	3 aB	16,34
	INTERMEDIARIO	5 aA	3,85 aAB	3,25 aAB	4 aAB	4 aAB	2,75 aB	
	CENTRO	5 aA	4 aAB	3,25 aB	4 aB	3,25 aAB	2,75 aB	