

PAULA CRISTINA CARVALHO LIMA

**AVALIAÇÃO DA DETERIORAÇÃO PÓS-COLHEITA DE BATATA-DOCE *IN*  
NATURA E PROCESSADA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fisiologia Vegetal, para a obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2018

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade  
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T  
L732a  
2018

Lima, Paula Cristina Carvalho, 1991-  
Avaliação da deterioração pós-colheita de batata-doce *in natura* e processada / Paula Cristina Carvalho Lima. – Viçosa, MG, 2018.  
xi, 103 f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador: Fernando Luiz Finger.  
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.  
Inclui bibliografia.

1. *Ipomoea batatas*. 2. Brotação. 3. Cinética enzimática.  
4. Batata-doce - Armazenamento. I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Biologia Vegetal. Programa de Pós-Graduação em Fisiologia Vegetal. II. Título.

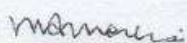
CDD 22. ed. 635.226

PAULA CRISTINA CARVALHO LIMA

**AVALIAÇÃO DA DETERIORAÇÃO PÓS-COLHEITA DE BATATA-DOCE *IN*  
NATURA E PROCESSADA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fisiologia Vegetal, para a obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

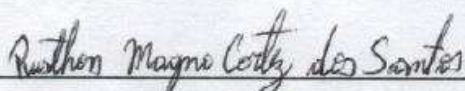
APROVADA: 27 de julho de 2018.



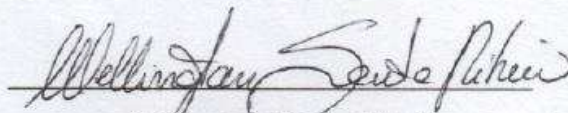
Marialva Alvarenga Moreira



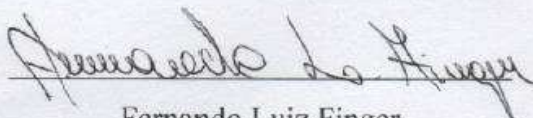
Fernanda Cristina Silva Ribeiro



Rusthon Magno Cortez dos Santos



Wellington Souto Ribeiro



Fernando Luiz Finger

(Orientador)

## AGRADECIMENTOS

Em um pedaço de História, onde as palavras e atitudes tomam-se em seus respectivos significados, há com certeza algo ou alguém que mereça tais agradecimentos. Não há efetivamente palavras para tal gesto, porém gostaria de agradecer a todos não especificamente, mas de maneira abrangente, prezando todos àqueles que colaboraram direta ou indiretamente para a minha formação devido a um conjunto de atitudes e ensinamentos que pude assimilar não somente para o meio acadêmico, como também para a minha vida em vários setores.

De maneira geral agradeço primeiramente a Deus por me conceder o dom da vida, em que a fé na sua existência me motiva a ser cada vez uma pessoa melhor.

Também agradeço à minha família, principalmente a minha irmã e meu pai por sempre me apoiarem, e ao meu namorado Vitor que esteve presente ao meu lado em todo período de realização do doutorado.

À Universidade Federal de Viçosa, em especial ao Departamento de Biologia Vegetal e ao programa de Pós-Graduação em Fisiologia Vegetal, pela oportunidade da realização deste curso. A Capes e ao Cnpq, pela concessão de bolsa para realização das atividades do doutorado.

Agradeço também, indiscriminadamente, aos técnicos e todo pessoal do laboratório de pós-colheita do departamento de Fitotecnia, além de todos que sempre me auxiliaram durante o período de estudos e desenvolvimento de experimentos. E ao professor Fernando Finger pela orientação.

## **BIOGRAFIA**

PAULA CRISTINA CARVALHO LIMA, filha de Joel de Lima e Janice Aparecida Carvalho Lima, nasceu em Carmo do Rio Claro - Minas Gerais, em 30 de abril de 1991. Concluiu o ensino fundamental na Escola Estadual Geraldo de Andrade Vilela, Carmo do Rio Claro/MG, e o ensino médio na Escola Estadual Monsenhor Mário Araújo Guimarães, Carmo do Rio Claro/MG, em 2008. Em 2007 ingressou no curso de técnico em informática no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas – campus Muzambinho, o qual foi finalizado concomitante ao ensino médio. Em 2009 no mesmo Instituto citado anteriormente ingressou no curso de Licenciatura em Ciências Biológicas no qual veio a se graduar no primeiro semestre de 2012. Entre o segundo semestre de 2012 e início de 2013 trabalhou como auxiliar pedagógica e professora do técnico em meio ambiente (PRONATEC) no IFSULDEMINAS – campus Muzambinho. Em março de 2013 ingressou no curso de Mestrado em Fisiologia Vegetal, concluindo-o em fevereiro de 2015, na Universidade Federal de Viçosa-MG (UFV). Em março de 2015 ingressou no curso de Doutorado em Fisiologia Vegetal, no qual se submeteu à defesa de tese para obtenção do título de “Doutora”, na Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, em 27 de julho de 2018.

## SUMÁRIO

|                                                                                                                         |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| LISTA DE TABELAS.....                                                                                                   | vi  |
| LISTA DE FIGURAS.....                                                                                                   | vii |
| RESUMO.....                                                                                                             | x   |
| ABSTRACT.....                                                                                                           | xi  |
| INTRODUÇÃO GERAL.....                                                                                                   | 01  |
| OBJETIVOS.....                                                                                                          | 04  |
| Objetivo Geral.....                                                                                                     | 04  |
| Objetivos específicos.....                                                                                              | 04  |
| REFERÊNCIAS.....                                                                                                        | 05  |
| ARTIGO 1 - Brotação e metabolismo de raízes de batata-doce cv. BRS Rubissol durante armazenamento.....                  | 08  |
| Resumo.....                                                                                                             | 08  |
| Abstract.....                                                                                                           | 08  |
| Introdução.....                                                                                                         | 09  |
| Material e Métodos.....                                                                                                 | 10  |
| Resultados e Discussão.....                                                                                             | 13  |
| Conclusões.....                                                                                                         | 19  |
| Referências.....                                                                                                        | 19  |
| ARTIGO 2 - Ação do etileno e de inibidores no potencial de processamento de raízes de batata-doce cv. BRS Rubissol..... | 25  |
| Resumo.....                                                                                                             | 25  |
| Abstract.....                                                                                                           | 25  |
| Introdução.....                                                                                                         | 26  |
| Material e Métodos.....                                                                                                 | 27  |
| Resultados e Discussão.....                                                                                             | 30  |
| Conclusões.....                                                                                                         | 35  |
| Referências.....                                                                                                        | 35  |
| ARTIGO 3 - Caracterização da peroxidase e polifenoloxidase em casca e polpa de cultivares de batata-doce.....           | 40  |
| Resumo.....                                                                                                             | 40  |
| Abstract.....                                                                                                           | 40  |
| Introdução.....                                                                                                         | 41  |

|                                                                                                                                                                    |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Material e Métodos.....                                                                                                                                            | 43  |
| Resultados e Discussão.....                                                                                                                                        | 45  |
| Conclusões.....                                                                                                                                                    | 53  |
| Referências.....                                                                                                                                                   | 53  |
| ARTIGO 4 - Efeito de conservantes químicos na redução do escurecimento de batata-doce cv. BRS Cuia minimamente processada e armazenada a 5 °C.....                 | 60  |
| Resumo.....                                                                                                                                                        | 60  |
| Abstract.....                                                                                                                                                      | 60  |
| Introdução.....                                                                                                                                                    | 61  |
| Material e Métodos.....                                                                                                                                            | 62  |
| Resultados e Discussão.....                                                                                                                                        | 65  |
| Conclusões.....                                                                                                                                                    | 72  |
| Referências.....                                                                                                                                                   | 73  |
| ARTIGO 5 - Influência da temperatura e dano mecânico em características metabólicas e morfo-anatômicas durante a cura de raízes de batata-doce cv. BRS Amélia..... | 78  |
| Resumo.....                                                                                                                                                        | 78  |
| Abstract.....                                                                                                                                                      | 79  |
| Introdução.....                                                                                                                                                    | 79  |
| Material e Métodos.....                                                                                                                                            | 80  |
| Resultados e Discussão.....                                                                                                                                        | 84  |
| Conclusões.....                                                                                                                                                    | 98  |
| Referências.....                                                                                                                                                   | 98  |
| CONCLUSÃO GERAL.....                                                                                                                                               | 103 |

## LISTA DE TABELAS

### ARTIGO 1

---

**Tabela 1.** Médias de perda de massa fresca (%), número de brotações (nº brotos/raiz), comprimento de brotações (mm/raiz), atividade da peroxidase - POD (UA min<sup>-1</sup> mg<sup>-1</sup> proteína), atividade da polifenoloxidase - PPO (UA min<sup>-1</sup> mg<sup>-1</sup> proteína), açúcares solúveis totais (%), amido (%), antocianinas (µg.g<sup>-1</sup> MF), flavonóis (µg.g<sup>-1</sup> MF), teor de malonaldeído – MDA (nmol.g<sup>-1</sup> MF) e proteínas totais (g.100g<sup>-1</sup> MF) em raízes de batata-doce (BRS Rubissol) armazenadas a 25 °C, em função do tratamento aplicado.....13

### ARTIGO 2

---

**Tabela 1.** Número de brotos (nº brotos/raiz), teor de massa seca (%), sólidos solúveis (°Brix), pH, acidez titulável (mg ácido cítrico.100g<sup>-1</sup> MF) e fração de fenóis solúveis (mg ácido gálico.g<sup>-1</sup> MF) em raízes de batata-doce (BRS Rubissol) armazenadas a 25 °C, em função do tratamento aplicado.....31

### ARTIGO 3

---

**Tabela 1.** Efeito de inibidores sobre a atividade da peroxidase de polpa de raízes de batata-doce.....51

**Tabela 2.** Efeito de inibidores sobre a atividade da peroxidase de casca de raízes de batata-doce.....51

**Tabela 3.** Efeito de inibidores sobre a atividade da polifenoloxidase de polpa de raízes de batata-doce.....52

**Tabela 4.** Efeito de inibidores sobre a atividade polifenoloxidase de casca de raízes de batata-doce.....52

### ARTIGO 5

---

**Tabela 1.** Açúcares solúveis totais – AST (%), açúcares não redutores – ANR (%), açúcares redutores – AR (%) e amido (%) em raízes de batata-doce (BRS Amélia) com ou sem dano mecânico armazenadas nas temperaturas 25, 28 e 30 °C por 14 dias.....88

**Tabela 2.** Atividade da peroxidase - POD (UA min<sup>-1</sup> mg proteína), atividade da polifenoloxidase - PPO (UA min<sup>-1</sup> mg proteína), fração de fenóis solúveis (mg ácido gálico.g<sup>-1</sup> MF), atividade da poligalacturonase – PG (UA min<sup>-1</sup> mg proteína) e atividade da pectina metil esterase – PME (UA min<sup>-1</sup> mg proteína) em raízes de batata-doce (BRS Amélia) com ou sem dano mecânico armazenadas nas temperaturas 25, 28 e 30 °C por 14 dias.....91

## LISTA DE FIGURAS

### INTRODUÇÃO GERAL

---

**Figura 1.** Mecanismo de ação da enzima polifenoloxidase - PPO (A) e mecanismo de ação da enzima peroxidase – POD (B).....02

**Figura 2.** Consequências de ferimentos ou cortes provocados nos tubérculos, nas fases de pós-colheita e processamento mínimo.....03

### ARTIGO 1

---

**Figura 1.** Perda de massa fresca (A), número de brotos por raiz (B) e comprimento de brotos (C) em raízes de batata-doce (BRS Rubissol) durante armazenamento de cinco semanas a 25 °C.....14

**Figura 2.** Aparência de raízes de batata-doce (BRS Rubissol) antes e após armazenamento de cinco semanas a 25 °C, em função dos tratamentos aplicados (Controle, 1-MCP, AOA e etileno).....15

**Figura 3.** Atividade da peroxidase (A) e atividade da polifenoloxidase (B) em raízes de batata-doce (BRS Rubissol) durante armazenamento de cinco semanas a 25 °C .....16

**Figura 4.** Açúcares solúveis totais (A) e amido (B) em raízes de batata-doce (BRS Rubissol) durante armazenamento de cinco semanas a 25 °C.....17

**Figura 5.** Antocianinas (A), flavonóis (B), teor de malondialdeído (C) e proteínas totais (D) em raízes de batata-doce (BRS Rubissol) durante armazenamento de cinco semanas a 25 °C.....19

### ARTIGO 2

---

**Figura 1.** Notas da análise visual da coloração durante a fritura de *chips* de batata-doce.....29

**Figura 2.** Açúcares redutores (A) e aminoácidos totais (B) em raízes de batata-doce (BRS Rubissol) durante armazenamento de cinco semanas a 25 °C.....33

**Figura 3.** Médias das notas de coloração de fritura em *chips* de batata-doce (BRS Rubissol) em função do tempo de armazenamento e tratamentos aplicados.....34

**Figura 4.** Análise visual da coloração de fritura em *chips* de batata-doce (BRS Rubissol) em função do tempo de armazenamento e tratamentos aplicados.....35

### ARTIGO 3

---

**Figura 1.** Efeito da temperatura na atividade da peroxidase – POD em polpa (A) e casca (C), e na atividade da polifenoloxidase – PPO em polpa (B) e casca (D) de raízes de batata-doce.....46

**Figura 2.** Efeito do pH sobre a atividade da peroxidase na polpa (A) e casca (B) de raízes de batata-doce.....47

**Figura 3.** Efeito concomitante de pH e substratos ótimos sobre a atividade da polifenoloxidase em raízes de batata-doce. Polpa e casca BRS Rubissol (A e B), polpa e casca BRS Amélia (C e D) e polpa e casca de BRS Cuia (E e F).....49

### ARTIGO 4

---

**Figura 1.** Porcentagem de perda de massa fresca acumulada em fatias de batata-doce (BRS Cuia) minimamente processadas e armazenadas a 5 °C por 12 dias.....66

**Figura 2.** Textura em fatias de batata-doce (BRS Cuia) minimamente processadas e armazenadas a 5 °C por 12 dias.....67

**Figura 3.** Sólidos solúveis (A), acidez titulável (B), pH (C) e fração de fenóis solúveis (D) em fatias de batata-doce (BRS Cuia) minimamente processadas e armazenadas a 5 °C por 12 dias.....69

**Figura 4.** Atividade da peroxidase (A), atividade da polifenoloxidase (B) e índice de escurecimento (C) em fatias de batata-doce (BRS Cuia) minimamente processadas e armazenadas a 5 °C por 12 dias.....71

**Figura 5.** Aparência das fatias de batata-doce (BRS Cuia) durante o período de armazenamento a 5 °C.....72

### ARTIGO 5

---

**Figura 1.** Taxa de perda de massa fresca em raízes de batata-doce (BRS Amélia) armazenadas a 25 (A), 28 (B) e 30 °C (C), submetidas ou não ao dano mecânico, armazenadas por 14 dias.....85

**Figura 2.** Produção de CO<sub>2</sub> em raízes de batata-doce (BRS Amélia) controle (A) e submetidas ao dano mecânico (B), em armazenamento nas temperaturas 25, 28 e 30 °C por 14 dias.....86

**Figura 3.** Teor de carotenoides em raízes de batata-doce (BRS Amélia) controle (A) e submetidas ao dano mecânico (B), em armazenamento nas temperaturas 25, 28 e 30 °C por 14 dias.....87

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 4.</b> Aparência de raízes de batata-doce (BRS Amélia). Controle inicial a 25, 28 e 30 °C (A, E, I) e após armazenamento por 14 dias a 25, 28 e 30 °C (B, F, J), e raízes feridas antes do armazenamento a 25, 28 e 30 °C (C, G, K) e após armazenamento por 14 dias a 25, 28 e 30 °C (D, H, L)..... | 92 |
| <b>Figura 5.</b> Número de camadas de súber (A) e número de camadas de súber e células corticais regeneradas (B) em secções transversais da periderme de raízes de batata-doce (BRS Amélia).....                                                                                                               | 93 |
| <b>Figura 6.</b> Fotomicrografias em aumento de 4X mostrando secções transversais da periderme de raízes de batata-doce (BRS Amélia) coradas com azul de toluidina e contra-coloração com lugol em microscopia de luz.....                                                                                     | 95 |
| <b>Figura 7.</b> Fotomicrografias em aumento de 10X mostrando secções transversais da periderme de raízes de batata-doce (BRS Amélia) coradas com azul de toluidina e contra-coloração com lugol em microscopia de luz.....                                                                                    | 96 |
| <b>Figura 8.</b> Fotomicrografias em aumento de 20X mostrando secções transversais da periderme de raízes de batata-doce (BRS Amélia) coradas com vermelho neutro sob luz UV .....                                                                                                                             | 97 |

## RESUMO

LIMA, Paula Cristina Carvalho, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2018. **Avaliação da deterioração pós-colheita de batata-doce *in natura* e processada.** Orientador: Fernando Luiz Finger.

O cultivo batata-doce é amplamente distribuído em todo o mundo, em que as raízes tuberosas são muito utilizadas na alimentação humana e na industrialização. O manuseio inadequado e a brotação alteram o metabolismo e deterioram as raízes tuberosas durante o armazenamento, porém estas alterações são pouco estudadas. Os principais objetivos deste estudo foram: avaliar o controle da brotação e alterações metabólicas em raízes tuberosas de batata-doce cv. BRS Rubissol tratadas com etileno, AOA e 1-MCP; avaliar o processamento na forma de *chips* fritos em raízes tuberosas de batata-doce cv. BRS Rubissol tratadas com etileno, AOA e 1-MCP e armazenadas à temperatura ambiente; caracterizar cineticamente as enzimas peroxidase e polifenoloxidase em extratos brutos em polpa e casca de três cultivares de batatas-doces (BRS Amélia, BRS Rubissol e BRS Cuia) submetidas a dano mecânico; avaliar o uso de conservantes químicos na redução do escurecimento em batata-doce cv. BRS Cuia minimamente processada e armazenada a 5 °C e avaliar as alterações morfo-anatômicas e metabólicas na periderme de batata-doce cv. BRS Amélia em diferentes temperaturas e intensidades de dano. A brotação das raízes tuberosas de batata-doce cv. BRS Rubissol foi controlada pelo uso AOA e 1-MCP, e essa cultivar mostrou bom potencial para o processamento na forma de *chips* fritos. A atividade das enzimas peroxidase e polifenoloxidase foi maior na casca das raízes tuberosas, devido a maior quantidade de compostos fenólicos presentes nesse tecido. As reações enzimáticas relacionadas ao escurecimento enzimático foram mais expressivas na cv. BRS Rubissol e menores na cv. BRS Cuia. Os conservantes químicos aumentaram o tempo de armazenamento da batata-doce cv. BRS Cuia minimamente processada, em que o ácido cítrico 5% foi mais eficiente na redução do escurecimento enzimático. Nos processos de cura, a perda de massa fresca foi estabilizada a partir do 7º dia de armazenamento em raízes tuberosas feridas, mostrando que ocorreu maturação da periderme de cura. As raízes com dano mecânico mostraram melhor manutenção metabólica e cicatrização de ferimentos quando armazenadas a 30 °C.

## ABSTRACT

LIMA, Paula Cristina Carvalho, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, July, 2018. **Evaluation of postharvest deterioration of *in natura* and processed sweet potatoes.** Adviser: Fernando Luiz Finger.

The cultivation of sweet potatoes is widely distributed throughout the world, in which tuberous roots are widely used in human nutrition and industrialization. Improper handling and sprouting alter metabolism and deteriorate tuberous roots during storage, but these changes are poorly studied. The main objectives of this study were: evaluate the control of sprouting and metabolic changes in tuberous roots of sweet potato cv. BRS Rubissol treated with ethylene, AOA and 1-MCP; evaluate the processing in the form of fried *chips* in tuberous roots of sweet potato cv. BRS Rubisol treated with ethylene, AOA and 1-MCP and stored at room temperature; characterize kinetically the peroxidase and polyphenoloxidase enzymes in flesh and skin crude extracts of three cultivars of sweet potatoes (BRS Amelia, BRS Rubissol and BRS Cuia) subjected to mechanical damage; evaluate the use of chemical preservatives in reducing browning in sweet potato cv. BRS Cuia minimally processed and stored at 5 °C and evaluate the morpho-anatomical and metabolic changes in the periderm of sweet potato cv. BRS Amelia at different temperatures and intensities of damage. The sprouting of the tuberous roots of sweet potato cv. BRS Rubissol was controlled by AOA and 1-MCP use, and this cultivar showed good potential for processing in the form of fried *chips*. The activity of the enzymes peroxidase and polyphenoloxidase was higher in the skin of the tuberous roots, due to the higher amount of phenolic compounds present in this tissue. The enzymatic reactions related to enzymatic browning were more expressive in cv. BRS Rubissol and lower in the cv. BRS Cuia. Chemical preservatives increased the shelf life of sweet potato cv. BRS Cuia minimally processed, in which 5% citric acid was more efficient in reducing enzymatic browning. In the healing process, the loss of fresh mass was stabilized from the 7<sup>th</sup> day of storage in wounds tuberous roots, showing that maturation of the healing periderm occurred. The roots with mechanical damage showed better metabolic maintenance and wound healing when stored at 30 °C.

## INTRODUÇÃO GERAL

A batata-doce [*Ipomoea batatas* (L.) Lam.], originária da América do Sul, é a espécie da família convolvulaceae de maior valor comercial no Brasil (Thompson et al., 1997; Roullier et al., 2013). É uma cultura de porte herbáceo perene, adaptada a condições climáticas diversas em todo o mundo (Sheth et al., 2017).

As raízes tuberosas de batata-doce constituem uma boa fonte de energia com baixo índice glicêmico (Cordeiro et al., 2013), além de serem possuírem em sua composição minerais, vitaminas, antioxidantes, fibra dietética, carotenoides e antocianinas (Musilová et al., 2017). É avaliada como um alimento promotor da saúde, devido ao seu alto teor de nutrientes no equilíbrio e componentes funcionais, que possuem atividades antioxidantes entre outras (Tanaka et al., 2017).

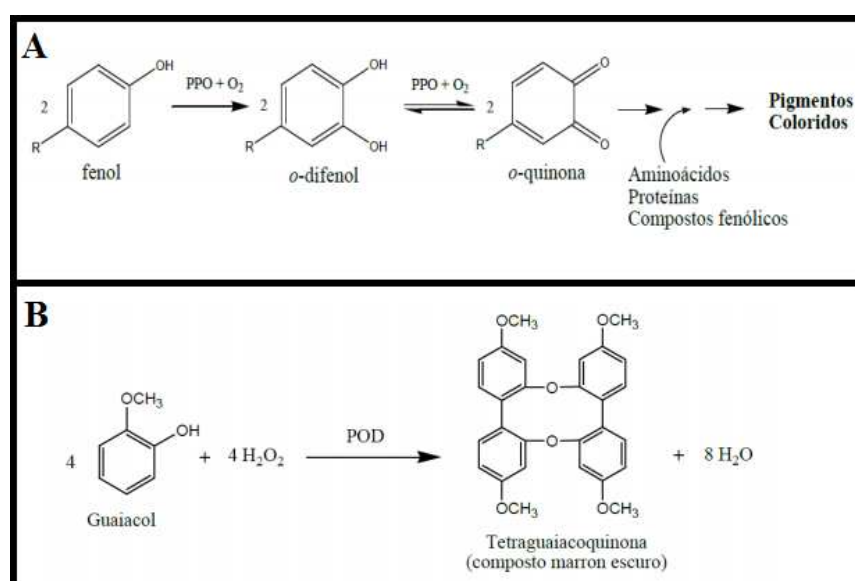
Apesar de ser uma cultura importante para o país, ainda é muito negligenciada pelo setor agrícola tanto na pesquisa pública quanto na iniciativa privada, embora esse cenário venha mudando nos últimos anos devido ao aumento do consumo e consequentemente o interesse em estudar essa cultura (Vargas et al., 2017). Se faz necessário identificar os principais problemas relacionados à pós-colheita das raízes tuberosas de batata-doce, buscando soluções viáveis para minimizar os processos de deterioração e aumentar o potencial de armazenamento e processamento.

Atualmente, vale destacar que novas cultivares como BRS Amélia, BRS Cuia e BRS Rubissol são bem mais produtivas que o material crioulo tradicionalmente usado pelos agricultores (Santos et al., 2015), que apresenta produção média em torno de 3,9 tonaledas por hectare (Da Silva et al., 2016). A cultivar BRS Amélia mostra raízes de formato elíptico longo, com casca e polpa de coloração alaranjada, com produtividade média de 32 toneladas por hectare (Castro & Becker, 2011a). A cultivar BRS Cuia mostra plantas vigorosas, as raízes apresentam casca e polpa creme, com produtividade média 40 t/ha<sup>-1</sup>, podendo alcançar 60 t/ha<sup>-1</sup> (Castro & Becker, 2011b). A cultivar BRS Rubissol apresenta raízes com forma redondo-elíptica, com casca cor púrpura intensa e polpa cor creme, com produtividade média de 40 t/ha<sup>-1</sup> (Castro & Becker, 2011c).

Uma vez colhidas e armazenadas em condição ambiente, as raízes tuberosas têm vida de prateleira que varia entre duas a quatro semanas, com surgimento de brotos e perda de massa (murcha), e informações sobre controle da brotação são bastante limitadas (Cheema et al., 2013). Sabe-se que durante a brotação existe um

“cross talk” hormonal altamente dinâmico, relacionado à ação do etileno, que pode ser afetado por fatores relacionados ao desenvolvimento e especificidade celular e tecidual (Van de Poel et al., 2015). Portanto, para aperfeiçoar as condições de armazenamento é necessário identificar substâncias inibitórias que possam controlar o processo de brotação, mantendo o metabolismo energético e viabilizando o processamento industrial. De acordo com Araújo (2014) o desenvolvimento de novos produtos é muito importante para indústria de alimentos, e a fabricação da batata-doce frita em “chips” e palito mostra grande potencial de sucesso no mercado.

A dificuldade em manter raízes frescas por alguns dias após a colheita é um dos maiores problemas da comercialização *in natura* e de raízes processadas. Estas tuberosas são susceptíveis a diversos estresses, como danos mecânicos causados pela colheita, pelo transporte e pelo armazenamento (Cereda & Vilpoux, 2003). As enzimas têm grande participação no processo de escurecimento de alguns vegetais e frutas depois de minimamente processados. Duas enzimas são importantes na degradação oxidativa dos compostos fenólicos por promoverem reações que produzem polímeros de cor amarronzada, sendo elas a polifenoloxidase (PPO) e a peroxidase (POD), estas reações podem ser observadas na Figura 1. A atividade de POD pode ter uma ação sinérgica com PPO, quanto maior a oxidação de alguns compostos fenólicos solúveis por meio de PPO, maior a produção de peróxido de hidrogênio que é um substrato para POD (Terefe et al., 2014).



**Figura 1.** Mecanismo de ação da enzima polifenoloxidase - PPO (A) e mecanismo de ação da enzima peroxidase – POD (B) (Fonte: Clerici et al., 2014).

O controle do escurecimento enzimático pode ser feito através de métodos físicos e/ou químicos. Métodos físicos incluem redução de temperatura ou inativação térmica da enzima, proteção do produto contra oxigênio, desidratação, uso de atmosfera modificada, embalagens ativas e outros. Métodos químicos envolvem o uso de compostos antioxidantes que inibem a ação da enzima (Oliveira et al., 2008).

Durante o processo de manuseio durante a colheita e a comercialização ocorrem danos físicos resultantes da fricção das raízes entre si, abrasões, cortes e rachaduras (Mercado-Silva & Cantwell, 1998; Mercado-Silva et al., 1998). As lesões resultantes de danos físicos não reduzem apenas o potencial de comercialização devido à perda da qualidade visual, mas também tornam as raízes altamente vulneráveis a infecções patológicas e perda de massa durante o armazenamento (Parmar et al., 2017). O diagrama das consequências relacionadas a danos físicos pode ser observado na Figura 2.



**Figura 2.** Consequências de ferimentos ou cortes provocados nos tubérculos, nas fases de pós-colheita e processamento mínimo (Fonte: Siddiqui & Rahman, 2014).

Para reduzir a deterioração, os ferimentos ocasionados na colheita precisam ser cicatrizados num processo denominado cura, que induz a tenacidade da casca. O processo de cicatrização do ferimento envolve suberização e lignificação das camadas celulares subjacentes, formando a periderme de cura (Van Oirschot et al., 2006). Os mecanismos e a regulação desse processo são de importância significativa para manter e aumentar a vida de prateleira e a capacidade de armazenamento de vegetais no mundo (Lulai et al., 2016).

Tendo em vista a importância econômica e social do cultivo de batata-doce e a carência de trabalhos relacionados à pós-colheita, este trabalho teve como objetivo avaliar os fatores que afetam a qualidade pós-colheita de cultivares de batata-doce.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo geral**

Avaliar os fatores que afetam a qualidade pós-colheita de cultivares de batata-doce [*Ipomoea batatas* (L.) Lam.].

### **Objetivos específicos**

- Avaliar o controle da brotação e alterações metabólicas em raízes tuberosas de batata-doce cv. BRS Rubissol tratadas com etileno, AOA e 1-MCP;
- Avaliar o processamento na forma de *chips* fritos em raízes tuberosas de batata-doce cv. BRS Rubissol tratadas com etileno, AOA e 1-MCP e armazenadas à temperatura ambiente;
- Caracterizar cineticamente as enzimas peroxidase e polifenoloxidase em extratos brutos em polpa e casca de três cultivares de batatas-doces (BRS Amélia, BRS Rubissol e BRS Cuia) submetidas a dano mecânico;
- Avaliar o uso de conservantes químicos na redução do escurecimento em batata-doce cv. BRS Cuia minimamente processada e armazenada a 5 °C;
- Avaliar as alterações morfo-anatômicas e metabólicas na periderme de batata-doce cv. BRS Amélia em diferentes temperaturas e intensidades de dano.

## REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, J.S.F; COSTA, J.S.; SILVA, G.M.S.; CAVALCANTI, M.T. Avaliação sensorial de batata-doce roxa “chips” e palito. Caderno Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, v.4, n.1, p.1-5, 2014.
- CASTRO, L.A.S.; BECKER, A. Batata-doce BRS Amélia. Pelotas, RS: EBRAPA Clima Temperado, 2011a. 2p.
- CASTRO, L.A.S.; BECKER, A. Batata-doce BRS Cuia. Pelotas, RS: EBRAPA Clima Temperado, 2011b. 2p.
- CASTRO, L.A.S.; BECKER, A. Batata-doce BRS Rubissol. Pelotas, RS: EBRAPA Clima Temperado, 2011c. 2p.
- CEREDA, M.P.; VILPOUX, O.F. Conservação de raízes. In: CEREDA, M. P.; VILPOUX, O. F. Tecnologia, usos e potencialidades de tuberosas amiláceas sul americanas. 3.ed., cap.1, p.13-29. São Paulo: Fundação Cargill, 2003.
- CHEEMA, M.U.A.; REESA, D.; COLGANA, R.J.; TAYLOR, M.; WESTBYA, A. The effects of ethylene, 1-MCP and AVG on sprouting in sweetpotato roots. Postharvest Biology and Technology, v.85, p. 89–93, 2013. <http://dx.doi.org/10.1016/j.postharvbio.2013.05.001>
- CLERICI, M.T.P.S.; SEBASTIÃO, R.H.; OLIVEIRA, L.C.; SANTOS, M.S.; MORAES, A.N.L.; CLARETO, S.S. Escurecimento enzimático: uma aula prática. Revista de Ensino de Bioquímica, v.2, n.2, p.71-90, 2014.
- CORDEIRO, N.; FREITAS, N.; FARIA, M.; GOUVEIA, M. *Ipomoea batatas* (L.) Lam.: a rich source of lipophilic phytochemicals. Journal of Agricultural and Food Chemistry, v.61, p.12.380-12.384, 2013. <http://dx.doi.org/10.1021/jf404230z>
- DA SILVA, D.; WRITZL, T.; SIMON, N.; FINKEN, E.; CANEPELLE, E.; KORB, V.; REDIN, M. Produtividade de batata-doce e milho de pipoca crioulo em sistema solteiro e consorciado. In: VI Salão Integrado Ensino, Pesquisa e Extensão, II Jornada de Pós-Graduação e I Seminário Estadual sobre Territorialidade. 2016, 4p. Disponível em: <<http://conferencia.uergs.edu.br/index.php/SIEPEX/visiepex/paper/view/1372/265>> Acesso: 13 de agosto de 2018.
- LULAI, E.C.; CAMPBELL, L.G.; FUGATE, K.K.; McCUE, K.F. Biological differences that distinguish the 2 major stages of wound healing in potato tubers. Plant signaling & behavior, v.11, n.12, p.e1256531, 2016. <http://dx.doi.org/10.1080/15592324.2016.1256531>
- MERCADO-SILVA, E.; CANTWELL, M. Quality changes in jicama roots stored at chilling and non chilling temperatures. Journal of Food Quality, v.21, p.211–221, 1998.

- MERCADO-SILVA, E.; GARCIA, R.; HEREDIA-ZEPEDA, A.; CANTWEEL, M. Development of chilling injury in five jicama cultivars. *Postharvest Biology and Technology*, v.13, n.1, p.37-43, 1998. [https://doi.org/10.1016/S0925-5214\(97\)00071-9](https://doi.org/10.1016/S0925-5214(97)00071-9)
- MUSILOVÁ, J.; BYSTRICKÁ, J.; ÁRVAY, J.; HARANGÓZO, L. Poliphenols and phenolic acids in sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) roots. *Potravinárstvo Slovak Journal of Food Sciences*, v.11, n.1, p.82-87, 2017. <https://dx.doi.org/10.5219/705>
- OLIVEIRA, T.M.; SOARES, N.F.F.; PAULA, C.D.; VIANA, G.A. Uso da embalagem ativa na inibição do escurecimento enzimático de maçãs. *Semina: Ciências Agrárias*, v.29, n.1, p.117-128, 2008.
- PARMAR, A.; KIRCHNER, S.M.; STURM, B.; HENSEL, O. Pre-harvest curing: effects on skin adhesion, chemical composition and shelf-life of sweet potato roots under tropical conditions. *East African Agricultural and Forestry*, latest articles, 14p., 2017. <http://dx.doi.org/10.1080/00128325.2017.1340141>
- ROULLIER, C.; KAMBOUO, R.; PAOFA, J.; McKEY, D.; LEBOT, V. On the origin of sweet potato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.) genetic diversity in New Guinea, a secondary centre of diversity. *Heredity*, v.110, n.6, p.594-604, 2013. <https://doi.org/10.1038/hdy.2013.14>
- SANTOS, C.E.; KIST, B.B.; CARVALHO, C.; REETZ, E.R.; MÜLLER, I.; BELING, R.R.; POLL, H. Anuário brasileiro de hortaliças. Santa Cruz do Sul: Editora Gazeta Santa Cruz, 2015. 68p.
- SHETH, S.G.; DESAI, K.D.; PATIL, S.J.; NAVYA, K.; CHAUDHARI VIBHUTI, L. Effect of integrated nutrient management on growth, yield and quality of sweet potato [*Ipomoea batatas* (L.) Lam]. *International Journal of Chemical Studies*, v.5, n.4, p.346-349, 2017.
- SIDDIQUI, M.W.; RAHMAN, M.S. Minimally processed foods: Technologies for Safety, Quality, and Convenience. Londres: Springer, 2014. 306p.
- TANAKA, M.; ISHIGURO, K.; OKI, T.; OKUNO, S. Functional components in sweetpotato and their genetic improvement. *Breeding Science*, v.67, n.1, p.52–61, 2017. <https://doi.org/10.1270/jsbbs.16125>
- TEREFE, N.S.; BUCKOW, R.; VERSTEEG, C. Quality-related enzymes in fruit and vegetable products: effects of novel food processing technologies, part 1: high-pressure processing. *Critical reviews in food science and nutrition*, v.54, n.1, p.24- 63, 2014. <http://dx.doi.org/10.1080/10408398.2011.566946>
- THOMPSON, P.G.; HONG, L. L.; UKOSKIT, K.; ZHU, Z. Genetic linkage of random amplified polymorphic DNA (RAPD) markers in sweet potato. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, v.122, p.79-82, 1997.

- VAN DE POEL, B.; SMET, D.; VAN DER STRAETEN, D. Ethylene and hormonal cross talk in vegetative growth and development. *Plant Physiology*, v.169, n.1, p.61–72, 2015. <https://doi.org/10.1104/pp.15.00724>
- VAN OIRSCHOT, Q.E.A.; REES, D.; AKED, J.; KIHURANI, A. Sweetpotato cultivars differ in efficiency of wound healing. *Postharvest Biology and Technology*, v.42, n.1, p.65–74, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2006.05.013>
- VARGAS, P.F.; GODOY, D.R.Z.; DE ALMEIDA, L.C.F.; CASTOLDI, R. Agronomic characterization of sweet potato accessions. *Communicata Scientiae*, v.8, n.1, p.116-125, 2017. <https://doi.org/10.14295/cs.v8i1.1864>

## **Brotação e metabolismo de raízes de batata-doce cv. BRS Rubissol durante armazenamento**

### **RESUMO**

A brotação e perda de massa em raízes tuberosas de batata-doce armazenadas à temperatura ambiente comprometem a comercialização, e métodos de controle de brotação são muito limitados. O objetivo foi avaliar o controle da brotação e alterações metabólicas em raízes tuberosas de batata-doce cv. BRS Rubissol tratadas com etileno, AOA e 1-MCP durante o armazenamento à temperatura ambiente. Foram avaliadas as variáveis: perda de massa, número e comprimento de brotações, atividade das enzimas peroxidase e polifenoloxidase, açúcares solúveis totais, amido, antocianinas, flavonóis, teor de malonaldeído e proteínas totais. Durante o armazenamento a perda de massa, número e comprimento de brotações foram menores em raízes tratadas com AOA e 1-MCP. A atividade das enzimas peroxidase e polifenoloxidase foi maior em raízes tratadas com etileno. Os açúcares solúveis totais aumentaram e os teores de amido reduziram em todos os tratamentos. Os níveis de antocianinas e proteínas totais reduziram e os de flavonóis e malondialdeído aumentaram durante o armazenamento. A brotação foi controlada em raízes tratadas com AOA e 1-MCP, prolongando a vida útil e melhorando o potencial de comercialização.

**Palavras-chave:** armazenamento; carboidratos; controle da brotação; etileno; *Ipomoea batatas*.

## **Sprouting and metabolism of sweet potatoes roots cv. BRS Rubissol during storage**

### **ABSTRACT**

Sprouting and mass loss in sweet potato tuberous roots stored at room temperature compromise commercialization marketing, and sprouting control methods are very limited. The objective was to evaluate the control of sprouting and metabolic changes in tuberous roots of sweet potato cv. BRS Rubissol treated with ethylene, AOA and 1-MCP during storage at room temperature. The following variables were evaluated:

mass loss, number and length of sprouts, activity of peroxidase and polyphenoloxidase enzymes, total soluble sugars, starch, anthocyanins, flavonols, malonaldehyde content and total proteins. During storage the mass loss, number and length of sprouts were lower in roots treated with AOA and 1-MCP. The activity of peroxidase and polyphenoloxidase enzymes was higher in roots treated with ethylene. Total soluble sugars increased and starch contents reduced in all treatments. Levels of anthocyanins and total proteins reduced, and flavonoids and malondialdehyde increased during storage. Sprouting was controlled in roots treated with AOA and 1-MCP, extending shelf life and improving marketing potential.

**Keywords:** storage; carbohydrates; sprout control; ethylene; *Ipomoea batatas*.

## INTRODUÇÃO

A batata-doce apresenta ampla adaptabilidade ao ambiente tropical, com destaque na alimentação humana, industrialização, alimentação animal e fabricação de álcool combustível (Foloni et al., 2013). Seu consumo se deve principalmente a composição das raízes, ricas em carboidratos, minerais, vitaminas e antioxidantes, fibra dietética, carotenoides e antocianinas (Musilová et al., 2017).

Raízes tuberosas de batata-doce, colhidas e armazenadas à temperatura ambiente, têm vida útil de duas a quatro semanas devido à brotação e perda de massa, porém informações sobre controle da brotação são bastante limitadas (Cheema et al., 2013). Durante a brotação existe um “cross talk” hormonal altamente dinâmico, afetado por fatores endógenos relacionados ao desenvolvimento e especificidade celular e tecidual (Van de Poel et al., 2015).

O fito-hormônio etileno parece regular muitos mecanismos fisiológicos e bioquímicos em tecidos vegetais que afetam a qualidade do produto hortícola, como o controle da taxa de diferenciação celular (Etchells et al., 2012). A suplementação contínua de etileno pode ser uma alternativa para o controle da brotação em batata e batata-doce. Porém, até o momento, não há uma explicação conclusiva sobre o mecanismo pelo qual o etileno exógeno retarda o crescimento de brotos (Cheema et al., 2013; Amoah et al., 2016; Foukaraki et al., 2016a, 2016b).

O 1-Metilciclopropeno (1-MCP) bloqueia a ação e as respostas dependentes do etileno (Serek et al., 2006; Watkins, 2006). Os efeitos do 1-MCP em frutas e hortaliças incluem prolongar a vida de prateleira, bem como prevenir distúrbios fisiológicos, como o desenvolvimento de escaldaduras superficiais em pêras

‘d’Anjou’ (Yuab et al., 2017), controle da senescência inibindo a produção de etileno em frutos de durian - *Durio zibethinus* (Amornputtia et al., 2016), além de que a aplicação de 1-MCP pode controlar a brotação em batata e batata-doce (Cheema et al., 2013; Foukaraki et al., 2016b).

O ácido amino-oxiacético (AOA) inibe a sintase do ácido 1-carboxílico-1-aminociclopropano (ACC sintase) considerada a enzima limitante na biossíntese de etileno, devido à competição pela ligação com o 5'-fosfato de piridoxamina no sítio ativo da enzima (Mathooko et al., 2001). O AOA inibe a produção de etileno, aumenta a atividade antioxidante em pétalas de cravos (Karimi et al., 2012), aumentam o acúmulo de antocianinas e poliaminas em hipocótilos e cotilédones de trigo sarraceno, indicando várias funções fisiológicas (Horbowicz et al., 2011).

A brotação é um problema considerável na pós-colheita que compromete a comercialização de raízes. Portanto, o objetivo foi avaliar o controle da brotação e alterações metabólicas em raízes tuberosas de batata-doce cv. BRS Rubissol tratadas com etileno, AOA e 1-MCP, durante o armazenamento à temperatura ambiente.

## MATERIAL E MÉTODOS

**Obtenção das mudas e caracterização da área experimental:** as mudas de batata-doce cv. BRS Rubissol foram adquiridas da empresa Frutplan (Pelotas, Rio Grande do Sul, Brasil). As mesmas foram cultivadas seguindo um padrão de práticas comerciais (calagem para o plantio com 100 g/m<sup>2</sup> de calcário; adubação de plantio com 100 g/m<sup>2</sup> de NPK 8-28-16; adubação com 50 g/m<sup>2</sup> de NPK 8-28-16 cada 30 dias e irrigação contínua com uso de aspersores) durante seis meses em campo experimental da Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, Minas Gerais, Brasil (20° 45' 20" S e 42° 52' 40" W, 651 m de altitude).

**Colheita das raízes e cura:** a colheita foi manual e raízes foram selecionadas (raízes isentas de doença e dano aparente) e padronizadas (massa entre 300-700 g). A cura das raízes foi feita em incubadoras B.O.D a 30 °C e 90% de umidade relativa por 7 dias (Amoah et al., 2016).

**Procedimento experimental:** as raízes foram submetidas aos seguintes tratamentos: controle (ar); fumigação com 1 mg.L<sup>-1</sup> de 1-MCP SmartFresh® (Rohm and Haas, Pensilvânia, EUA) em câmara selada de 90 L por 24 horas; imersão das

raízes em solução de  $1 \text{ mg.L}^{-1}$  de AOA (Sigma-Aldrich, Missouri, EUA) por 1 hora e posterior secagem com papel absorvente; injeção de  $10 \text{ }\mu\text{L.L}^{-1}$  de etileno gasoso em câmara selada por 48 horas. Posteriormente as raízes foram armazenadas em incubadoras B.O.D a  $25 \text{ }^{\circ}\text{C}$  e 90% de umidade relativa. Foram realizadas as análises descritas a seguir:

**Análises físicas:** perda de massa fresca acumulada foi determinada em balança analítica de 1200g com precisão de 0,1g (Bel Engineering M1003), os resultados foram expressos em porcentagem. Número de brotações foi determinado considerando brotos com tamanho superiores a 1 mm, os resultados foram expressos em nº brotos/raiz. Comprimento de brotações foi determinado com paquímetro digital, os resultados foram expressos em mm/raiz.

**Atividades enzimáticas da polpa:** a atividade da peroxidase foi baseada em método descrito por Khan e Robinson (1991) adaptado por Ramos et al. (2013), em que 0,1 mL de extrato enzimático foi adicionado ao meio de reação contendo 0,5 mL de peróxido de hidrogênio (1,80%), 0,5 mL de guaiacol (1,68%), 0,4 mL de água deionizada e 1,5 mL de tampão fosfato 0,1 M (pH 6,0). A atividade da polifenoloxidase foi baseada em método descrito por Benjamin & Montgomery (1973) adaptado por Karsten et al. (2013), em que 0,1 mL de extrato enzimático foi adicionado ao meio de reação contendo 0,5 mL de catequina (5 mM), 0,9 mL de água deionizada e 1,5 mL de tampão fosfato 0,1 M (pH 4,5). As reações foram quantificadas com base na alteração da absorbância em espectrofotômetro UV-1601 (Shimadzu, Quioto, Japão), em comprimento de onda 470 nm (peroxidase) e 420 nm (polifenoloxidase) a  $25 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , por 3 minutos. A atividade foi expressa em unidades de absorbância (UA)  $\text{min}^{-1} \text{ mg}^{-1}$  de proteína. A concentração de proteínas totais foi determinada no extrato bruto utilizando albumina soro bovino como padrão (Bradford, 1976).

**Carboidratos da polpa:** a extração dos carboidratos foi baseada na metodologia de McCready et al. (1950). A quantificação dos açúcares solúveis totais (AST) foi realizada pelo método fenol-sulfúrico (Dubois et al., 1956) usando sacarose 0,02% como solução padrão e a leitura foi feita em 490 nm e os resultados expressos em porcentagem de massa fresca. Os resíduos obtidos durante a extração

foram secos a 70 °C e utilizados para quantificar o teor de amido pelo método fenol-sulfúrico (Dubois et al., 1956) em que o valor da concentração obtida foi multiplicado pelo fator de correção 0,9 e os resultados foram expressos em porcentagem de massa seca, as leituras foram feitas em espectrofotômetro Genesys 10S UV-VIS (Thermo Scientific, Massachusetts, EUA).

**Antocianinas e flavonois da casca:** a extração de antocianinas e flavonois foi feita em ambiente escuro com etanol 95% e ácido clorídrico 1,5 M na proporção 85:15. A quantificação foi em espectrofotômetro Genesys 10S UV-VIS nos comprimentos de onda 532 nm (antocianinas), 374 nm (flavonois) e 653 nm (absorbância máxima da clorofila). Os resultados foram expressos em  $\mu\text{g}$  antocianinas/flavonois. $\text{g}^{-1}$  MF pelas equações (Murray & Hackett 1991):

$$\text{Teor de antocianinas } (\mu\text{g.mL}^{-1}): A_{532}-0,24*A_{653}$$

$$\text{Teor de flavonois } (\mu\text{g.mL}^{-1}): A_{374}-0,24*A_{653}$$

**Teor de malondialdeído (MDA) da polpa:** foi determinado utilizando método de ácido tiobarbitúrico (Horie et al., 2005). As leituras foram feitas em espectrofotômetro Genesys 10S UV-VIS em 520 nm para a absorbância específica e 600 nm para a absorbância inespecífica. A concentração de MDA foi baseada na fórmula proposta por Hodges et al. (1999). Os resultados foram expressos em  $\text{nmol g}^{-1}$  MF:  $\{[(\text{Abs}_{532}+\text{TBA})-(\text{Abs}_{600}+\text{TBA})]-[(\text{Abs}_{532}-\text{TBA})-(\text{Abs}_{600}-\text{TBA})]\}=\text{ABS}$

$$\text{Teor de MDA} = \{ \{[(\text{ABS}/155)*2]*(\text{VC}/\text{VA})\} / \text{MF} \} * 1000 = \text{nmol g}^{-1} \text{ MF}$$

Em que: TBA= ácido tiobarbitúrico;  $155 \text{ mM}^{-1} \text{ cm}^{-1}$  = coeficiente de extinção do MDA-TBA a 532 nm; VC= volume centrifugado (mL); VA= volume da amostra (mL); MF= massa fresca (g).

**Delineamento experimental e análise dos dados:** os dados foram analisados em esquema de parcela dividida, em que as parcelas correspondem aos tratamentos e as sub-parcelas aos tempos de armazenamento (0, 1, 2, 3, 4 e 5 semanas), em delineamento de blocos ao acaso, com cinco repetições, a unidade experimental foi composta por uma raiz. As médias dos tratamentos foram comparadas com o controle pelo teste de Dunnett em nível de 5% probabilidade. Os resultados foram submetidos à análise de regressão, em que os modelos foram escolhidos com base na significância dos coeficientes de regressão e o fenômeno biológico. As análises

estatísticas foram realizadas com o software estatístico Sisvar (Ferreira, 2011) e os gráficos foram elaborados utilizando o software SigmaPlot 10.0.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 são mostrados os resultados das variáveis analisadas, comparando os tratamentos aplicados ao nível de referência (controle). Variações significativas foram observadas na perda de massa fresca, número e comprimento de brotações e atividade da peroxidase. Os tratamentos com 1-MCP e AOA mostraram as menores perdas de massa fresca, número e comprimento de brotações. Os tratamentos com etileno e 1-MCP mostraram a maior e menor atividade da peroxidase, respectivamente.

**Tabela 1.** Médias de perda de massa fresca (%), número de brotações (nº brotos/raiz), comprimento de brotações (mm/raiz), atividade da peroxidase - POD (UA min<sup>-1</sup> mg<sup>-1</sup> proteína), atividade da polifenoloxidase - PPO (UA min<sup>-1</sup> mg<sup>-1</sup> proteína), açúcares solúveis totais (%), amido (%), antocianinas (µg.g<sup>-1</sup> MF), flavonóis (µg.g<sup>-1</sup> MF), teor de malonaldeído – MDA (nmol.g<sup>-1</sup> MF) e proteínas totais (g.100g<sup>-1</sup> MF) em raízes de batata-doce (BRS Rubissol) armazenadas a 25 °C, em função do tratamento aplicado.

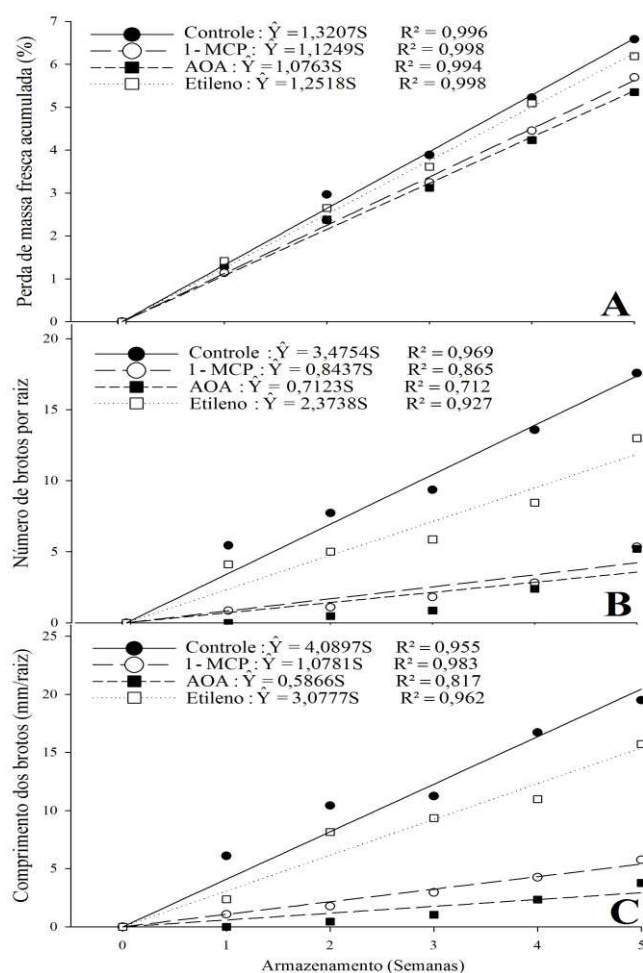
| Análises                        | Controle | 1-MCP  | AOA    | Etileno |
|---------------------------------|----------|--------|--------|---------|
| <b>Perda de massa fresca</b>    | 3,19     | 2,64** | 2,59** | 3,00    |
| <b>Número de brotações</b>      | 8,86     | 1,68*  | 0,91*  | 5,76*   |
| <b>Comprimento de brotações</b> | 10,72    | 2,67*  | 0,92*  | 7,22*   |
| <b>Atividade POD</b>            | 3,49     | 2,70*  | 3,14   | 3,99**  |
| <b>Atividade PPO</b>            | 1,27     | 1,12   | 1,30   | 1,49    |
| <b>Açúcares solúveis totais</b> | 3,65     | 3,67   | 3,90   | 3,93    |
| <b>Amido</b>                    | 18,46    | 18,91  | 19,42  | 19,90   |
| <b>Antocianinas</b>             | 3,84     | 3,54   | 3,88   | 3,59    |
| <b>Flavonóis</b>                | 2,35     | 2,41   | 2,46   | 2,32    |
| <b>Teor de MDA</b>              | 2,59     | 2,21   | 2,33   | 2,50    |
| <b>Proteínas totais</b>         | 0,97     | 0,94   | 0,94   | 0,95    |

Médias apresentando asteriscos diferem significativamente do controle na mesma linha pelo teste de Dunnett em nível de 5% de probabilidade (\*\*p<0,05; \*p<0,01).

A perda de massa fresca acumulada, número e comprimentos de brotos aumentaram durante o armazenamento em todos os tratamentos avaliados (Figuras 1A, 1B e 1C). Na quinta semana de armazenamento, os menores valores foram obtidos nos tratamentos com 1-MCP e AOA, que comparados ao controle,

mostraram reduções de 13 e 18%; 69 e 70%; e 70 e 81% na perda de massa fresca acumulada, número de brotos e comprimentos de brotos, respectivamente.

A perda de massa acumulada foi relacionada à incidência de brotação, pois a respiração e a evaporação aumentam rapidamente com o início da brotação e crescimento contínuo de brotos, resultando em aumento rápido na perda de massa de raízes armazenadas e prejudicando o estado nutricional e aspectos de qualidade dos produtos (Mani et al., 2014). Cheema et al. (2013) também observaram relações entre a perda de massa e presença de brotação ao avaliarem raízes de batata-doce das cultivares ‘Bushbuck’ e ‘Ibees’, obtendo maiores perdas de massa fresca e número de brotações no controle e menores no tratamento com 1-MCP.

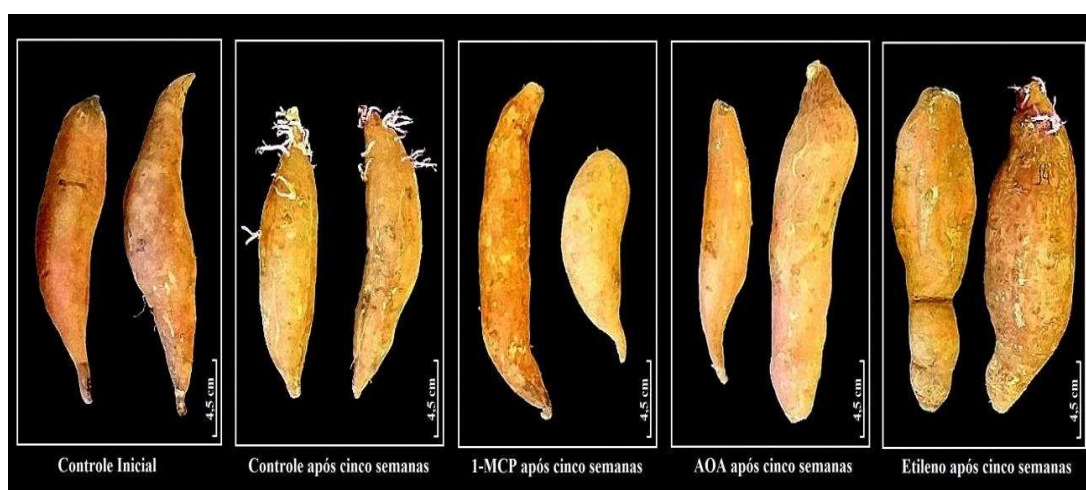


**Figura 1.** Perda de massa fresca (A), número de brotos por raiz (B) e comprimento de brotos (C) em raízes de batata-doce (BRS Rubissol) durante armazenamento de cinco semanas a 25 °C.

Os resultados indicam que o uso de inibidores de etileno é eficiente em inibir a brotação (Figura 2), pois o etileno regula alguns processos relacionados ao alongamento celular, como rearranjo do citoesqueleto, relaxamento da parede celular

e a captação de água para estabelecer pressão de turgor (Van de Poel et al., 2015), além de estimular a divisão celular durante o desenvolvimento do meristema apical, atuando em cooperação com as auxinas (Raz & Koornneef, 2001) e promover a quebra de dormência em tubérculos de batata (Prange et al., 2005).

Porém foi demonstrado que a exposição contínua ao etileno inibe o alongamento do broto em batata-doce (Cheema et al., 2013; Amoah et al., 2016). A aplicação de etileno em batata cv. ‘Marfona’ mostrou aumento na concentração endógena de ácido abscísico (ABA), sugerindo uma explicação para inibição do crescimento do broto (Foukaraki et al., 2016a). Em batata-doce cv. ‘Covington’, a suplementação contínua de etileno reduziu níveis endógenos de ABA e aumentos os níveis de citocininas (zeatina ribosídeo), não havendo crescimento de brotos. Os autores sugeriram a presença de uma substância sequestradora de citocinina (citocinina ribosídeo fosforilase) durante a exposição ao etileno, ao passo que uma única aplicação de etileno favoreceu a brotação (Amoah et al., 2016).

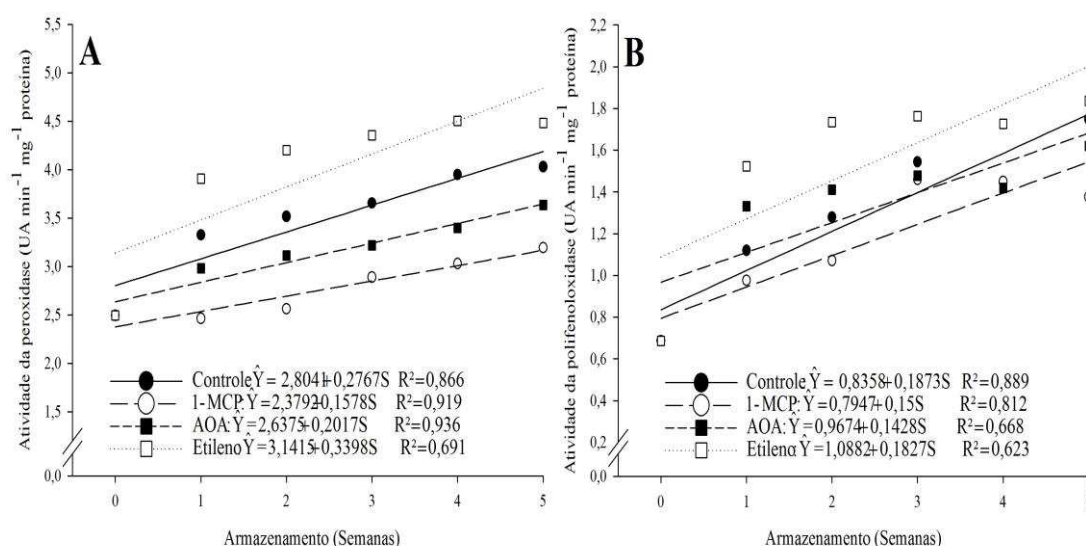


**Figura 2.** Aparência de raízes de batata-doce (BRS Rubissol) antes e após armazenamento de cinco semanas a 25 °C, em função dos tratamentos aplicados (Controle, 1-MCP, AOA e etileno).

As atividades da peroxidase (POD) e polifenoloxidase (PPO) mostraram aumentos lineares durante o armazenamento em todos os tratamentos avaliados (Figuras 3A e 3B). Os maiores valores foram obtidos em raízes tratadas com etileno durante o armazenamento, devido ao aumento da atividade da POD e PPO que ocorre em resposta a hormônios relacionados ao estresse, como o etileno (Bleecker et al., 1988). Em raízes de batata-doce das cultivares Beauregard (B-14) a

suplementação de etileno aumentou o processo de deterioração das raízes durante o armazenamento a 18,3 °C (Arancibia et al., 2013).

Os aumentos nas atividades enzimáticas podem se devem a reações de biodegradação relacionadas a processos de deterioração e senescência das raízes armazenadas. As polifenoloxidas participam de muitas reações oxidativas e de biodegradação, como mudança de cor, degradação da clorofila ou auxinas, oxidação de fenóis, oxidação do ácido indol acético e biossíntese de lignina (Valderrama et al, 2001). E as peroxidases desempenham vários papéis fisiológicos, como biossíntese de etileno, degradação da clorofila, metabolismo das auxinas, defesa a estresses bióticos e abióticos (Kaspera et al., 2001), balanceamento hormonal, integridade das membranas, controle dos processos de respiração celular, senescência e degradação fisiológica de frutas e vegetais (Haard & Tobin, 1971).



**Figura 3.** Atividade da peroxidase (A) e atividade da polifenoloxidase (B) em raízes de batata-doce (BRS Rubissol) durante armazenamento de cinco semanas a 25 °C.

Os açúcares solúveis totais (AST) aumentaram até a 4<sup>a</sup> semana, seguidos de decréscimo até a 5<sup>a</sup> semana de armazenamento em todos os tratamentos avaliados (Figuras 4A). Os valores de AST são inferiores aos encontrados por Picha (1985), que obteve variações entre 4,6-5,5% na matéria fresca. As variações podem ser atribuídas a cultivar analisada, métodos de cultivo ou práticas pós-colheita.

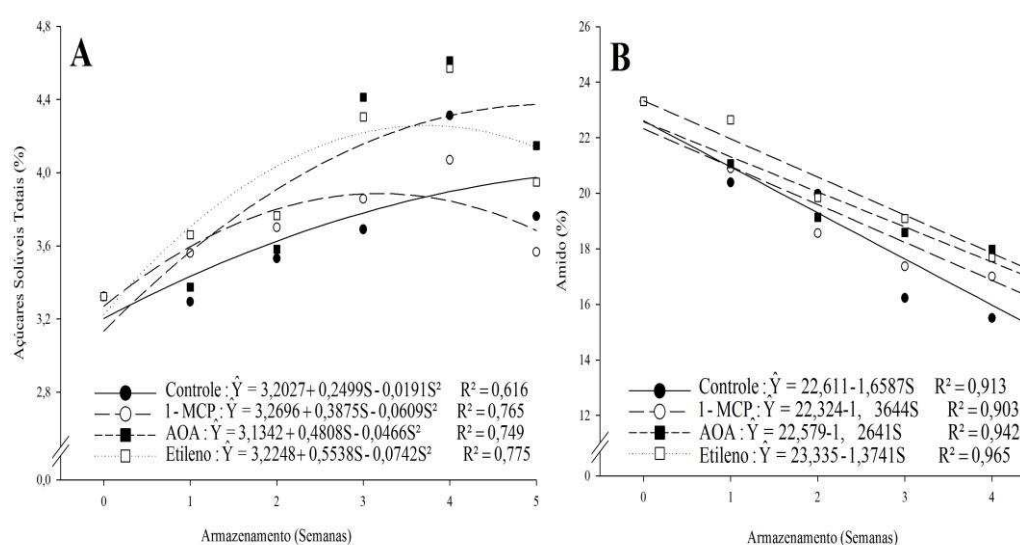
Os aumentos em AST até a 4<sup>a</sup> semana de armazenamento podem ser devidos à menor hidrólise e maior síntese da sacarose, a partir de UDP-glicose e frutose-6-fosfato, associadas à maior síntese da enzima sacarose-fosfato sintase (Hayashi &

Kawashima, 1985). O decréscimo mostrado na 5ª semana de armazenamento pode estar associado à maior atividade de enzimas que clivam a sacarose como invertases e sacarose sintase, que promovem maior hidrólise de sacarose a monossacarídeos que são metabolizados para gerar energia para expansão celular e processos biossintéticos (Winter & Uber, 2000).

ABA e sacarose desempenham importantes papéis no controle da brotação, mas fatores bioquímicos e moleculares também estão envolvidos. A sacarose atua como uma molécula de sinalização prévia para o controle da dormência hormonal e aumentos na mobilização de sacarose para o meristema ocorrem antes da interrupção da dormência (Foukaraki et al., 2016a).

O teor de amido reduziu durante o armazenamento em todos os tratamentos avaliados (Figura 4B). Os teores obtidos estão situados dentro dos valores de referência para a espécie, que está entre 13,4-29,2% (Silva et al., 1995).

O aumento da demanda de sacarose no desenvolvimento de brotos e processo respiratório causa reduções nos níveis de açúcares solúveis nas células do parênquima, que podem atuar como sinal para desencadear a degradação do amido para fornecimento de assimilados (Hajirezaei et al., 2003). Sendo assim, as reduções nos teores de amido estão relacionadas a processos de biodegradação, como brotação, deterioração e senescência, que provocam estresse e aumentam o metabolismo do amido, que é hidrolisado em compostos de menor peso molecular, como os açúcares solúveis, redundando no aumento de AST (Kaynas et al., 1995).



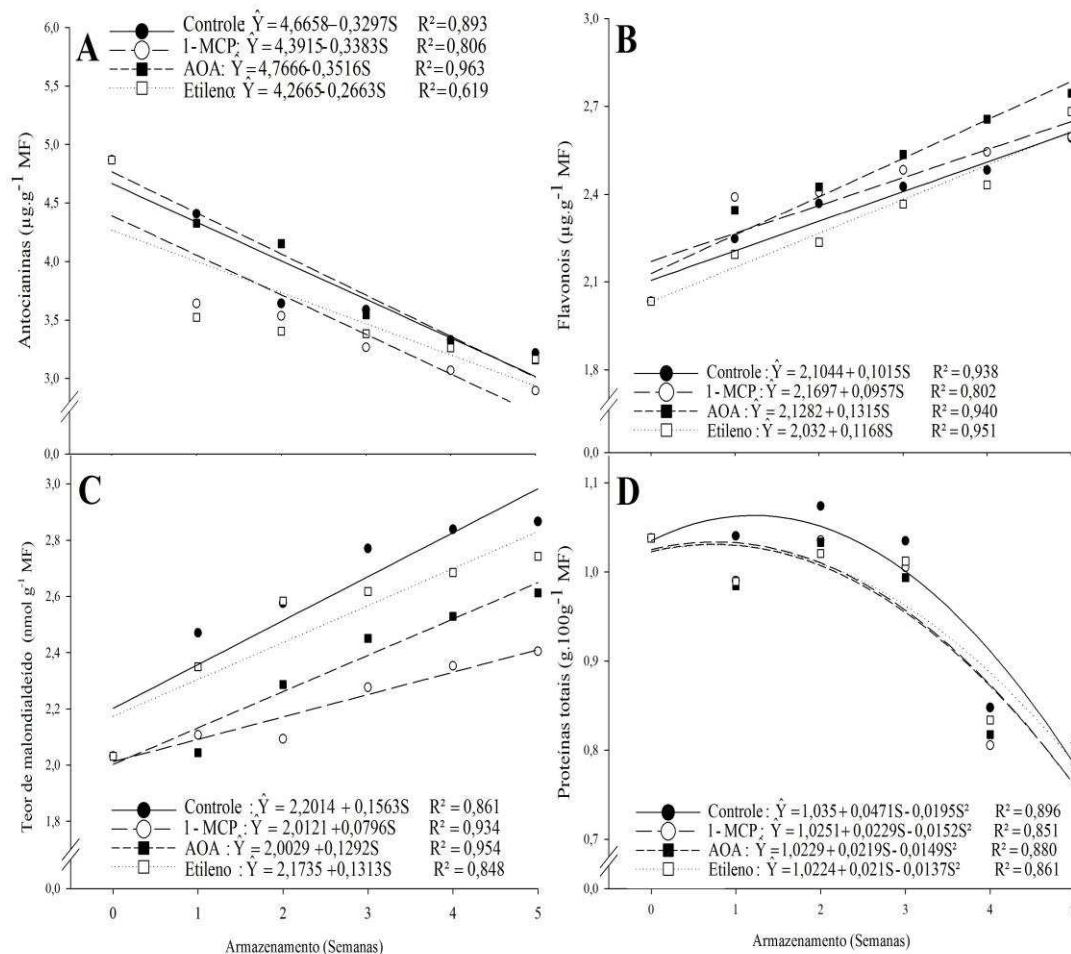
**Figura 4.** Açúcares solúveis totais (A) e amido (B) em raízes de batata-doce (BRS Rubissol) durante armazenamento de cinco semanas a 25 °C.

Os conteúdos de antocianinas reduziram e os conteúdos de flavonóis aumentaram durante o armazenamento em todos os tratamentos avaliados (Figuras 5A e 5B). Este resultado se deve aos processos de deterioração durante o armazenamento, em que as antocianinas alteram sua coloração, podendo tornar-se gradativamente menos intensas pela perda de saturação e/ou mudar de tonalidade pela formação de compostos de degradação (Silva et al., 2010). De acordo com Lopes et al. (2007) a estabilidade da cor de antocianinas é dependente da estrutura e da concentração dos pigmentos, além de fatores como pH, temperatura e presença de oxigênio, e durante o processo degradativo pode ocorrer o surgimento de coloração amarelada característica de flavonóis.

Os teores de malondialdeído (MDA) aumentaram durante o armazenamento em todos os tratamentos avaliados (Figura 5C). Os maiores valores foram obtidos no controle e em raízes tratadas com etileno devido ao maior índice de brotação durante o armazenamento, que ocasiona menor estabilidade de membranas, levando a maiores taxas de extravasamento de solutos (Kumar et al., 2014).

A geração excessiva de espécies reativas de oxigênio induz a peroxidação lipídica, promovendo extravasamento de eletrólitos e acúmulo de MDA, que são indicadores de estresse oxidativo (Li et al., 2018). O metabolismo lipídico, como biossíntese de ácidos graxos insaturados e metabolismo de glicerofosfolipídios, é muito importante para diminuir danos nas membranas celulares e melhorar a capacidade de armazenamento de raízes de batata-doce (Ji et al., 2017).

As proteínas totais aumentaram até a 2ª semana e depois decresceram em todos os tratamentos avaliados (Figura 2A). As reduções são relacionadas com a degradação de esporaminas, que são proteínas de armazenamento com atividade inibitória da tripsina na batata-doce e representam 85% das proteínas solúveis das raízes de armazenamento, em que sua degradação fornece recursos nutricionais para o crescimento de brotos (Liu, 2017).



**Figura 5.** Antocianinas (A), flavonóis (B), teor de malondialdeído (C) e proteínas totas (D) em raízes de batata-doce (BRS Rubissol) durante armazenamento de cinco semanas a 25 °C.

## CONCLUSÕES

Os tratamentos com 1-MCP e AOA reduziram brotação e a perda de massa fresca durante o armazenamento, mantendo a qualidade fisiológica, e prolongando a vida útil e potencial de comercialização de raízes tuberosas de batata-doce.

## REFERÊNCIAS

- AMOAHA, R.S.; LANDAHL, S.; TERRY, L.A. The timing of exogenous ethylene supplementation differentially affects stored sweet potato. *Postharvest Biology and Technology*, v.120, p.92-102, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2016.05.013>
- AMORNPOTIA, S.; KETSAA, S.; VAN DOORNC, W.G. 1-Methylcyclopropene (1-MCP) inhibits ethylene production of durian fruit which is correlated with a decrease in ACC oxidase activity in the peel. *Postharvest Biology and Technology*, v.114, p.69-75, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.11.020>

- ARANCIBIA, R.A.; MAIN, L.J.; CLARK, C.A. Sweet potato tip rot incidence is increased by preharvest applications of ethephon and reduced by curing. HortTechnology, v.23, n.3, p.288-293, 2013. <http://horttech.ashspublications.org/content/23/3/288.full.pdf+html>
- BENJAMIN, N.D; MONTGOMERY, M.W. Polyphenol oxidase of royal ann cherries: purification and characterization. Journal of Food Science, v.38, p.799-806, 1973. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1973.tb02079.x>
- BLEECKER, A.B.; ESTELLE, M.A.; SOMERVILLE, C.; KENDE, H. Insensitivity to ethylene conferred by a dominant mutation in *Arabidopsis thaliana*. Science, v.241, n.4869, p.1086-1089, 1988. <https://doi.org/10.1126/science.241.4869.1086>
- BRADFORD, M.M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. Analytical Biochemistry, v.72, n.1-2, p.248-254, 1976. [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(76\)90527-3](https://doi.org/10.1016/0003-2697(76)90527-3)
- CHEEMA, M.U.A.; REESA, D.; COLGANA, R.J.; TAYLOR, M.; WESTBY, A. The effects of ethylene, 1-MCP and AVG on sprouting in sweetpotato roots. Postharvest Biology and Technology, v.85, p. 89–93, 2013. <http://dx.doi.org/10.1016/j.postharvbio.2013.05.001>
- DUBOIS, M.; GILLES, K.A.; HAMILTON, J.K.; REBERS, P.A.; SMITH, F. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. Analytical Biochemistry, v.28, n.3, p.350-356, 1956. <https://doi.org/10.1021/ac60111a017>
- ETCHELLS, J.P.; PROVOST, C.M.; TURNER, S.R. Plant vascular cell division is maintained by an interaction between PXY and ethylene signalling. Plos Genetics, v.8, n.11, p.1-14, 2012. <https://doi.org/10.1371/journal.pgen.1002997>
- FERREIRA, D.F. Sisvar: a computer statistical analysis system. Ciência e Agrotecnologia, v.35, n.6, p.1039-1042, 2011. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542011000600001>
- FOLONI, J.S.S.; CORTE, A.J.; CORTE, J.R.N.; ECHER, F.R.; TIRITAN, C.S. Adubação de cobertura na batata-doce com doses combinadas de nitrogênio e potássio. Semina: Ciências Agrárias, v.34, p.117-126, 2013. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2013v34n117>
- FOUKARAKI, S.G.; COOLS, K.; TERRY, L.A. Differential effect of ethylene supplementation and inhibition on abscisic acid metabolism of potato (*Solanum tuberosum* L.) tubers during storage. Postharvest Biology and Technology, v.112, p.87-94, 2016a. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.10.002>
- FOUKARAKI, S.G.; COOLS, K.; CHOPE, G.A.; TERRY, L.A. Impact of ethylene and 1-MCP on sprouting and sugar accumulation in stored potatoes.

- Postharvest Biology and Technology, v.114, p.95-103, 2016b. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.11.013>
- HAARD, N.F.; TOBIN, L. Patterns of soluble peroxidase in ripening banana fruit. Journal of Food Science, v.36, n.6, p.854-857, 1971. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1971.tb15543.x>
- HAJIREZAEI, M.R.; BÖRNKE, F.; PEISKER, M.; TAKAHATA, Y.; LERCHL, J.; KIRAKOSYAN, A.; SONNEWALD, U. Decreased sucrose content triggers starch breakdown and respiration in stored potato tubers (*Solanum tuberosum*). Journal of Experimental Botany, v.54, n.382, p.477-488, 2003. <http://dx.doi.org/10.1093/jxb/erg040>
- HAYASHI, T.; KAWASHIMA, K. Effect of irradiation on the carbohydrate metabolism responsible for sucrose accumulation in potatoes. Journal of Agricultural and Food Chemistry, v.33, n.1, p. 14-17, 1985. <https://doi.org/10.1021/jf00061a004>
- HODGES, D. M.; DELONG, J. M.; FORNEY, C. F.; PRANGE, R. K. Improving the thiobarbituric acid-reactive-substances assay for estimating lipid peroxidation in plant tissues containing anthocyanin and other interfering compounds. Planta, v.207, n.4, p.604-611, 1999.
- HORBOWICZ, M.; KOSSON, R.; KOCZKODAJ, D.; LAHUTA, L.B. Effects of  $\alpha$ -aminooxyacetic acid on the level of polyamines, anthocyanins and photosynthetic pigments in seedlings of common buckwheat (*Fagopyrum esculentum* MOENCH). Acta Societatis Botanicorum Poloniae, v.80, n.2, p.99-104, 2011. <https://doi.org/10.5586/asbp.2011.029>
- HORIE, T.; MOTODA, J.; KUBO, M.; YANG, H.; YODA, K.; HORIE, R.; CHAN, W.Y.; LEUNG, H.Y.; HATTORI, K.; KONOMI, M.; OSUMI, M. Enhanced salt tolerance mediated by AtHKT1 transporter-induced Na<sup>+</sup> unloading from xylem vessels to xylem parenchyma cells. Plant Journal, v.44, n.6, p.928-938, 2005. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-313X.2005.02595.x>
- JI, C.Y.; GHUNG, W-H.; KIM, H.S.; JUNG, W.Y.; KANG, L.; JEONG, J.C.; KWAK, S-S. Transcriptome profiling of sweetpotato tuberous roots during low temperature storage. Plant Physiology and Biochemistry, v.112, p.97-108, 2017. <http://dx.doi.org/10.1016/j.plaphy.2016.12.021>
- KARIMI, M.; HASSANPOUR, A.; ZAKIZADEH, H. Increasing plant longevity and associated metabolic events in potted carnation (*Dianthus caryophyllus* L. Clove Pink). Brazilian Journal of Plant Physiology, v.24, n.4, p.247-252, 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/S1677-04202012000400003>
- KARSTEN, J.; CHAVES, D.V.; FINGER, F.L.; BARBOSA, J.G. Papel e caracterização da polifenoloxidase em hastes de ave-do-paráiso (*Strelitzia reginae* Ait.). Ornamental Horticulture, v.19, n.2, p.161-171, 2013. <http://dx.doi.org/10.14295/rbho.v19i2.462>

- KASPERA, R.; McCUE, P.; SHETTY, K. Partial purification of a basic guaiacol peroxidase from fava bean (*Vicia faba* L.): characterization of enzyme stability following elicitor treatment. *Food Biotechnology*, v.15, n.2, p.99-111, 2001. <https://doi.org/10.1081/FBT-100106831>
- KAYNAS, K.; ÖZELKÖK, S.; SÜMELİ, N.; ABAK, K. Controlled and modified atmosphere storage of eggplant [*Solanum melongena* L.] fruits. *Acta Horticulturae*, v.412, p.143-151, 1995. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1995.412.16>
- KHAN, A.A.; ROBINSON, D.S. Hydrogen donor specificity of mango isoperoxidases. *Food Chemistry*, v.49, n.4, p.407-410, 1994.
- KUMAR, M.; SINGH, V. P.; ARORA, A.; SINGH, N. The role of abscisic acid (ABA) in ethylene insensitive gladiolus (*Gladiolus grandiflora* Hort.) flower senescence. *Acta Plant Physiology*, v.36, p.151-159, 2014. <http://dx.doi.org/10.1007/s11738-013-1395-6>.
- LI, X.; YANG, H.; LU, G. Low-temperature conditioning combined with cold storage inducing rapid sweetening of sweetpotato tuberous roots (*Ipomoea batatas* (L.) Lam) while inhibiting chilling injury. *Postharvest Biology and Technology*, v.142, p.1-9, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2018.04.002>
- LIU, Q. Improvement for agronomically important traits by gene engineering in sweetpotato. *Breeding Science*, v.67, p.15-26, 2017. <https://doi.org/10.1270/jsbbs.16126>
- LOPES, T.J.; XAVIER, M.F.; QUADRI, M.G.N.; QUADRI, M.B. Antocianinas: uma breve revisão das características estruturais e da estabilidade. *Current Agricultural Science and Technology*, v.13, n.3, p.291-297, 2007. <https://doi.org/10.18539/CAST.V13I3.1375>
- MANI, F.; BETTAIEB, T.; DOUDECH, N.; HANNACHI, C. Physiological mechanisms for potato dormancy release and sprouting: a review. *African Crop Science Journal*, v.22, n.2, p.155-174, 2014. <https://www.ajol.info/index.php/acsj/article/viewFile/104945/94994>
- MATHOOKO, F.M.; TSUNASHIMA, Y.; OWINO, W.Z.O.; KUBO, Y.; INABA, A. Regulation of genes encoding ethylene biosynthesis enzymes in peach (*Prunus persica* L.) fruit by carbon dioxide and 1-methylcyclopropene. *Postharvest Biology and Technology*, v.21, n.3, p.265-281, 2001. [https://doi.org/10.1016/S0925-5214\(00\)00158-7](https://doi.org/10.1016/S0925-5214(00)00158-7)
- McCREADY, R. M.; GUGGOLZ, J.; SILVEIRA, V.; OWENS, H.S. Determination of starch and amylase in vegetables. *Analytic Chemistry*, v.22, n.9, p.1156-1158, 1950. <https://doi.org/10.1021/ac60045a016>
- MURRAY, J.R.; HACKETT, W.P. Dihydroflavonol reductase activity in relation to differential anthocyanin accumulation in juvenile and mature phase *Hedera*

- helix* L. Plant Physiology, v.97, n.1, p.343-351, 1991.  
<https://doi.org/10.1104/pp.97.1.343>
- MUSILOVÁ, J.; BYSTRICKÁ, J.; ÁRVAY, J.; HARANGÓZO, L. Polyphenols and phenolic acids in sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) roots. Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences, v.11, n.1, p.82-87, 2017.  
<https://dx.doi.org/10.5219/705>
- PICHA, D.H. HPLC determination of sugars in raw and baked sweet potatoes. Journal of Food Science, v.50, n.4, p.1189-1190, 1985.  
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1985.tb13045.x>
- PRANGE, R.K.; DANIELS-LAKE, B.J.; JEONG, J.C.; BINNS, M. Effects of ethylene and 1-methylcyclopropene on potato tuber sprout control and fry colour. American Journal of Potato Research, v.82, n.2, p.123-128, 2005.  
<https://doi.org/10.1007/BF02853649>
- RAZ, V.; KOORNNEEF, M. Cell division activity during apical hook development. Plant Physiology, v.125, p.219-226, 2001.  
<https://doi.org/10.1104/pp.125.1.219>
- RAMOS, P.A.S.; SEDIYAMA, 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.  
<http://dx.doi.org/10.1590/S1981-67232013005000018>
- SEREK, M.; WOLTERING, E.J.; SISLER, E.C.; FRELLO, S.; SRISKANDARAJAH, S. Controlling ethylene responses in flowers at the receptor level. Biotechnology Advances, v.24, n.4, p.368-381, 2006.  
<https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2006.01.007>
- SILVA, J.B.C.; LOPES, C.A.; MIRANDA, J.E.C.; FRANCA, F.H.; CARRIJO, O.A.; SOUZA, A.F.; PEREIRA, W. Cultivo da batata-doce (*Ipomoea batatas* (L.) Lam). 3. ed. Brasília: EMBRAPA-CNPq, 1995. 18p. (Instruções técnicas, 7).
- SILVA, G.J.F.; CONSTANT, P.B.L.; FIGUEIREDO, R.W.; MOURA, S.M. Formulação e estabilidade de corantes de antocianinas extraídas das cascas de jabuticaba (*Myrciaria ssp.*). Alimentos e Nutrição, v.21, n.3, p.429-436, 2010.
- VALDERRAMA, P.; MARANGONI, F.; CLEMENTE, E. Efeito do tratamento térmico sobre a atividade de peroxidase (POD) e polifenoloxidase (PPO) em maçã (*Mallus comunis*). Ciência e Tecnologia de Alimentos, v.21, n.3, p.321-325, 2001. <http://dx.doi.org/10.1590/S0101-20612001000300012>
- VAN DE POEL, B.; SMET, D.; VAN DER STRAETEN, D. Ethylene and hormonal cross talk in vegetative growth and development. Plant Physiology, v.169, n.1, p.61-72, 2015. <https://doi.org/10.1104/pp.15.00724>

- WATKINS, C.B. The use of 1-methylcyclopropene (1-MCP) on fruits and vegetables. *Biotechnology Advances*, v.24, n.4, p.389-409, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2006.01.005>
- WINTER, H.; HUBER, S.C. Regulation of sucrose metabolism in higher plants: localization and regulation of activity of key enzymes. *Critical Reviews in Biochemistry and Molecular Biology*, v.35, n.4, p.253-289, 2000. <http://dx.doi.org/10.1080/10409230008984165>
- YUAB, J.; WANGA, Y. The combination of ethoxyquin, 1-methylcyclopropene and ethylene treatments controls superficial scald of 'd'Anjou' pears with recovery of ripening capacity after long-term controlled atmosphere storage. *Postharvest Biology and Technology*, v.127, p.53-59, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2017.01.012>

## **Ação do etileno e de inibidores no potencial de processamento de raízes de batata-doce cv. BRS Rubissol**

### **RESUMO**

O processamento de batata-doce na forma de *chips* fritos possui grande aceitação e valor de mercado. A brotação e perda de massa fresca das raízes tuberosas durante o armazenamento comprometem a qualidade do produto processado. O objetivo foi avaliar o processamento na forma de *chips* fritos em raízes tuberosas de batata-doce cv. BRS Rubissol tratadas com etileno, AOA e 1-MCP e armazenadas à temperatura ambiente. Foram avaliadas as variáveis: número de brotações, teor de massa seca, sólidos solúveis, pH, acidez titulável, fração de fenóis solúveis, açúcares redutores, aminoácidos totais e notas de coloração dos *chips* fritos. O número de brotações foi menor nas raízes tratadas com AOA e 1-MCP. Os teores de massa seca, sólidos solúveis, pH, acidez titulável e fração de fenóis solúveis não diferiram entre os tratamentos. Os açúcares redutores, aminoácidos totais e as notas de coloração dos *chips* fritos de batata-doce reduziram durante o armazenamento. A cultivar BRS Rubissol mostrou bom potencial de fritura quando armazenada à temperatura ambiente, e os tratamentos com AOA e 1-MCP foram eficientes no controle da brotação, prolongando a vida útil das raízes.

**Palavras-chave:** aminoácidos; armazenamento; carboidratos; *Ipomoea batatas*; produtos fritos.

## **Effect of ethylene and inhibitors on the root processing potential of sweet potato cv. BRS Rubissol**

### **ABSTRACT**

The sweet potato processing in the form of fried *chips* has great acceptance and market value. Sprouting and fresh mass loss of tuberous roots during storage compromise the quality of the processed product. The objective was to evaluate the processing in the form of fried *chips* in tuberous roots of sweet potato cv. BRS Rubissol treated with ethylene, AOA and 1-MCP and stored at room temperature. The following variables were evaluated: number of sprouts, dry mass content,

soluble solids, pH, titratable acidity, soluble phenols fraction, reducing sugars, total amino acids and coloring notes of fried *chips*. Number of sprouts was lower in the roots treated with AOA and 1-MCP. Dry mass content, soluble solids, pH, titratable acidity and soluble phenols fraction did not differ between treatments. Reducing sugars, total amino acids and coloring notes of sweet potato fried *chips* reduced during storage. The cultivar BRS Rubissol showed good frying potential when stored at room temperature and the treatments with AOA and 1-MCP were effective in sprouting control, extending the useful life of the roots.

**Keywords:** amino acids; storage; carbohydrates; *Ipomoea batatas*; fried foods.

## INTRODUÇÃO

A batata-doce cv. BRS Rubissol produz em média 40 t ha<sup>-1</sup> e possui características para consumo de mesa e processamento industrial (Castro & Becker, 2011). Porém, as raízes quando colhidas e armazenadas em condição ambiente, têm vida útil de duas a quatro semanas, e a brotação das raízes resulta em perda de qualidade. Informações sobre o controle da brotação são limitadas (Cheema et al., 2013). Melhorar a produtividade desenvolvendo cultivares com maior concentração de amido, sistemas de cultivo mais eficientes e melhores práticas de pós-colheita poderá expandir o uso industrial (Baafi et al., 2016; Low et al., 2017).

Durante a brotação existe um “cross talk” hormonal altamente dinâmico, afetado por fatores endógenos relacionados ao desenvolvimento e especificidade celular e tecidual (Van de Poel et al., 2015). O etileno parece regular muitos mecanismos fisiológicos e bioquímicos que afetam a qualidade do produto hortícola (Etchells et al., 2012). A suplementação contínua de etileno pode ser uma alternativa para o controle da brotação em batata e batata-doce. Porém, não há uma explicação conclusiva sobre o mecanismo pelo qual o etileno exógeno retarda o crescimento de brotos (Cheema et al., 2013; Amoah et al., 2016; Foukaraki et al., 2016).

O 1-Metilciclopropeno (1-MCP) compete pelos sítios de ligação com o etileno, inibindo a ação e retardando as respostas etileno dependentes, como o amadurecimento, senescência e outros distúrbios fisiológicos (Serek et al., 2006; Watkins, 2006). A aplicação de 1-MCP pode controlar a brotação em batata e batata-doce (Cheema et al., 2013; Foukaraki et al., 2016).

O ácido amino-oxiacético (AOA) inibe a sintase do ácido 1-carboxílico-1-aminociclopropano (ACC sintase) que é uma a enzima limitante na biossíntese de

etileno, devido à competição pela ligação com o 5'-fosfato de piridoxamina no sítio ativo da enzima (Mathooko et al., 2001). O amino etoxivinil glicina (AVG) pode controlar a brotação em batata-doce (Cheema et al. 2013), uma vez que AOA possui mecanismo de ação similar ao AVG, poderia também exercer esse efeito.

O desenvolvimento de novos produtos é importante na indústria de alimentos, e a fabricação da batata-doce frita em *chips* e palito apresenta grande potencial de sucesso no mercado (Araújo, 2014). A fritura desenvolve características de odor, sabor, cor e textura que tornam os alimentos mais atraentes para o consumo (Cella et al., 2002; Oreopoulou et al., 2006). Os principais caracteres avaliados para determinar a qualidade de processamento são: massa seca, coloração de *chips* e o teor de açúcares redutores. Que podem variar de acordo com a cultivar, condições de cultivo, maturidade e condições de armazenamento (Pastorini et al., 2003)

Resíduos contaminantes em alimentos são preocupantes para os consumidores e a indústria. A acrilamida é um contaminante formado durante a fritura, é um dos problemas da indústria alimentícia (Muttucumaru et al., 2017), pois reduz a qualidade de produtos fritos e é um problema potencial para a saúde (Truong et al., 2014).

O objetivo foi avaliar o efeito do tratamento com etileno, AOA e 1-MCP no processamento na forma de *chips* fritos em raízes tuberosas de batata-doce cv. BRS Rubissol armazenadas à temperatura ambiente.

## MATERIAL E MÉTODOS

**Obtenção das mudas e caracterização da área experimental:** as mudas de batata-doce cv. BRS Rubissol foram adquiridas da empresa Frutplan (Pelotas, Rio Grande do Sul, Brasil). As mesmas foram cultivadas seguindo um padrão de práticas comerciais (calagem para o plantio com 100 g/m<sup>2</sup> de calcário; adubação de plantio com 100 g/m<sup>2</sup> de NPK 8-28-16; adubação com 50 g/m<sup>2</sup> de NPK 8-28-16 cada 30 dias e irrigação contínua com uso de aspersores) durante seis meses em campo experimental da Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, Minas Gerais, Brasil (20° 45' 20'' S e 42° 52' 40'' W, 651 m de altitude).

**Colheita das raízes e cura:** a colheita foi manual e raízes foram selecionadas (raízes isentas de doença e dano aparente) e padronizadas (massa entre 300-700 g).

Acumulação das raízes foi feita em incubadoras B.O.D a 30 °C e 90% de umidade relativa por 7 dias (Amoah et al., 2016).

**Procedimento experimental:** as raízes foram submetidas aos seguintes tratamentos: controle (ar); fumigação com 1 mg.L<sup>-1</sup> de 1-MCP SmartFresh® (Rohm and Haas, Pensilvânia, EUA) em câmara selada de 90 L por 24 horas; imersão das raízes em solução de 1 mg.L<sup>-1</sup> de AOA (Sigma-Aldrich, Missouri, EUA) por 1 hora e posterior secagem com papel absorvente; injeção de 10 µL.L<sup>-1</sup> de etileno gasoso em câmara selada por 48 horas. Posteriormente as raízes foram armazenadas em incubadoras B.O.D a 25 °C e 90% de umidade relativa. Foram realizadas as análises descritas a seguir:

**Análises físicas:** número de brotações foi determinado considerando brotos com tamanho superiores a 1 mm, os resultados foram expressos em nº brotos/raiz. O teor de massa seca foi determinado usando uma amostra de polpa previamente picada e acondicionada em estufa de fluxo de ar contínuo na temperatura de 60 °C, até atingir massa constante, os resultados foram expressos em porcentagem.

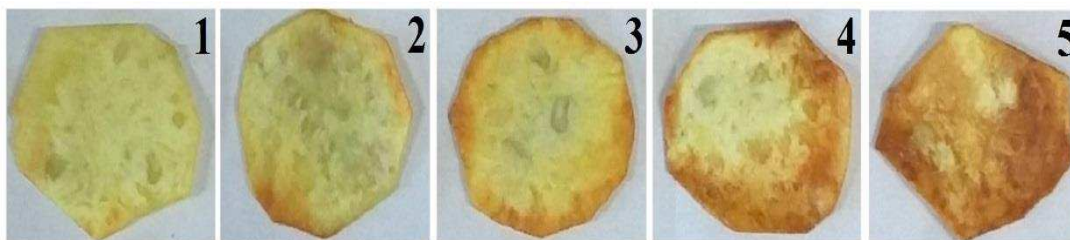
**Análises químicas da polpa:** sólidos solúveis - o extrato macerado das raízes foi analisado em refratômetro digital (Hanna Instruments HI 96801). Os resultados foram expressos em °Brix (AOAC, 2012); pH - determinado em pHmetro de bancada (Digimed DM-22) (AOAC, 2012); acidez titulável - determinada por titulação com solução padronizada de hidróxido de sódio 0,1 M até a amostra alcançar pH 8,1. Os resultados foram expressos em g ácido cítrico.100 g<sup>-1</sup> MF (AOAC, 2012). Fração de fenóis solúveis - determinada a partir do extrato etanólico utilizado na quantificação de açúcares redutores. O método de Follin-Ciocalteu foi utilizado na quantificação (Fu et al., 2010), usando ácido gálico 0,0125% como solução padrão. A leitura foi feita em espectrofotômetro Genesys 10S UV-VIS (Thermo Scientific, Massachusetts, EUA) em 760 nm e os resultados foram expressos em mg ácido gálico.g<sup>-1</sup> MF.

**Açúcares redutores da polpa:** a extração dos açúcares redutores foi baseada na metodologia de McCready et al. (1950). Na quantificação foi utilizado o método de ácido dinitrossalicílico (Gonçalves et al., 2010) usando frutose 0,2% como

solução padrão. A leitura foi feita em espectrofotômetro Genesys 10S UV-VIS em 540 nm e os resultados foram expressos em porcentagem de massa fresca.

**Aminoácidos totais da polpa:** determinado utilizando ensaio da ninhidrina (Yemm et al., 1955). Para a quantificação foi utilizado glicina 0,0075% como solução padrão. A leitura foi feita em espectrofotômetro Genesys 10S UV-VIS em 570 nm e os resultados foram expressos em mg glicina.g<sup>-1</sup> MF.

**Coloração de fritura:** as raízes foram descascadas, higienizadas, processadas na forma de *chips* de 2 mm de espessura e enxaguadas por 2 minutos em solução de bissulfito de sódio 0,2% (para evitar escurecimento enzimático). Os *chips* foram secos com papel absorvente e fritos em óleo de soja refinado por 2 minutos a 180 °C em fritadeira monitorada (Ford, Michigan, EUA). A análise da coloração foi baseada em escala de notas (Figura 1).



**Figura 1.** Notas da análise visual da coloração durante a fritura de *chips* de batata-doce. Em que: 1: *chips* com a superfície totalmente clara, 2: *chips* com até 25% da superfície escurecida, 3: *chips* que apresentam de 25 a 50% da superfície escurecida, 4: *chips* que apresentam de 50 a 75% da superfície escurecida e 5: *chips* com mais de 75% da superfície escurecida.

**Delineamento experimental e análise dos dados:** os dados foram analisados em esquema de parcela dividida, em que as parcelas correspondem aos tratamentos e as sub-parcelas aos tempos de armazenamento (0, 1, 2, 3, 4 e 5 semanas), em delineamento de blocos ao acaso, com cinco repetições, a unidade experimental foi composta por uma raiz. Na análise de coloração de fritura, foram utilizadas 6 repetições de 4 *chips* por tratamento. Os resultados de açúcares redutores e aminoácidos totais foram submetidos à análise de regressão e as demais variáveis foram submetidas à análise de variância. Na regressão, os modelos foram escolhidos com base na significância dos coeficientes de regressão e o fenômeno biológico. Na análise de variância, as médias foram agrupadas pelo critério de Scott Knott em nível

de 5% de probabilidade. As análises estatísticas foram realizadas com software estatístico Sisvar (Ferreira, 2011) e para os gráficos foi utilizado o software SigmaPlot 10.0.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O número de brotos foi menor nas raízes tuberosas tratadas com 1-MCP e AOA durante o tempo de armazenamento (Tabela 1). Cheema et al. (2013) também observaram menor brotação nos tratamentos com AVG (aminoetoxivinilglicina – ação similar ao AOA) e 1-MCP em duas cultivares de batata-doce.

O menor número de brotos nos tratamentos com inibidores de etileno deve-se ao fato que o este hormônio regula alguns processos relacionados ao alongamento celular, incluindo rearranjo do citoesqueleto, relaxamento da parede celular e captação de água para estabelecer pressão de turgor (Van de Poel et al., 2015). O etileno também estimula a divisão celular durante o desenvolvimento do meristema apical, atuando em cooperação com as auxinas (Raz & Koornneef, 2001), e promove a quebra de dormência em tubérculos de batata (Prange et al., 2005).

O teor de massa seca das raízes não diferiu entre os tratamentos aplicados ou tempos de armazenamento (Tabela 1). Essa variável seca é considerada um parâmetro de qualidade pelas indústrias de processamento (Gould, 1999). Os resultados mostram valores de teor de massa seca acima de 20%, indicando que as raízes são adequadas para fritura. O alto teor de massa seca (> 20%) reduz a absorção de gordura durante a fritura, sendo responsável pelo maior rendimento e qualidade do produto final (Bhering et al., 2009; Müller al., 2009) e relaciona-se positivamente com a textura, sabor e qualidade geral de *chips* (Zorzella et al., 2003).

Os sólidos solúveis (SS), pH, acidez titulável (AT) e a fração de fenóis solúveis não difeririam em função do tratamento aplicado. Porém o tempo de armazenamento teve influência significativa nas variáveis pH e AT. O pH diminuiu em todos os tratamentos avaliados e a AT aumentou no controle e no tratamento com 1-MCP durante o armazenamento (Tabela 1).

As reduções nos valores de pH são relacionadas a aumentos na concentração de ácidos orgânicos como produto da atividade da pectinametilesterase durante o armazenamento, que tende a diminuir o valor de pH (Costa & Balbino, 2002). Essas reduções podem ser consideradas benéficas, pois podem favorecer a estabilidade de

vitaminas, como a vitamina C, e auxiliar na redução do escurecimento enzimático e carga microbiana (Alencar & Koblit, 2008).

**Tabela 1.** Número de brotos (nº brotos/raiz), teor de massa seca (%), sólidos solúveis (°Brix), pH, acidez titulável (mg ácido cítrico.100g<sup>-1</sup> MF) e fração de fenóis solúveis (mg ácido gálico.g<sup>-1</sup> MF) em raízes de batata-doce (BRS Rubissol) armazenadas a 25 °C, em função do tratamento aplicado.

|             | Semana 0                  | Semana 1 | Semana 2 | Semana 3 | Semana 4 | Semana 5 |
|-------------|---------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Tratamentos | Número de brotos          |          |          |          |          |          |
| Controle    | 0,00 aB                   | 5,44 aB  | 7,72 aB  | 9,35 aB  | 13,58 aA | 17,57 aA |
| 1-MCP       | 0,00 aA                   | 0,85 bA  | 1,09 bA  | 1,81 bA  | 2,82 bA  | 5,33 bA  |
| AOA         | 0,00 aA                   | 0,00 bA  | 0,48 bA  | 0,87 bA  | 2,18 bA  | 5,20 bA  |
| Etileno     | 0,00 aA                   | 4,11 aA  | 5,14 aA  | 5,87 aA  | 8,45 aA  | 10,83 aA |
|             | Teor de massa seca        |          |          |          |          |          |
| Controle    | 25,58 aA                  | 28,00 aA | 28,06 aA | 27,98 aA | 28,71 aA | 27,64 aA |
| 1-MCP       | 25,58 aA                  | 28,69 aA | 26,57 aA | 28,12 aA | 27,68 aA | 27,80 aA |
| AOA         | 25,58 aA                  | 24,83 aA | 28,92 aA | 28,69 aA | 26,67 aA | 28,16 aA |
| Etileno     | 25,58 aA                  | 25,26 aA | 24,75 aA | 27,54 aA | 26,92 aA | 28,16 aA |
|             | Sólidos solúveis          |          |          |          |          |          |
| Controle    | 10,62 aA                  | 10,80 aA | 9,92 aA  | 9,94 aA  | 11,42 aA | 8,90 aA  |
| 1-MCP       | 10,62 aA                  | 10,46 aA | 9,28 aA  | 10,50 aA | 11,82 aA | 9,50 aA  |
| AOA         | 10,62 aA                  | 10,82 aA | 10,64 aA | 8,84 aA  | 10,72 aA | 9,64 aA  |
| Etileno     | 10,62 aA                  | 11,38 aA | 10,88 aA | 10,36 aA | 12,00 aA | 9,70 aA  |
|             | pH                        |          |          |          |          |          |
| Controle    | 6,70 aA                   | 6,63 aA  | 6,49 aA  | 6,18 aB  | 6,19 aB  | 6,23 aB  |
| 1-MCP       | 6,70 aA                   | 6,58 aA  | 6,61 aA  | 6,35 aB  | 6,19 aB  | 6,22 aB  |
| AOA         | 6,70 aA                   | 6,65 aA  | 6,57 aA  | 6,46 aB  | 6,23 aB  | 6,37 aB  |
| Etileno     | 6,70 aA                   | 6,59 aA  | 6,51 aA  | 6,33 aB  | 6,30 aB  | 6,34 aB  |
|             | Acidez titulável          |          |          |          |          |          |
| Controle    | 0,19 aB                   | 0,17 aB  | 0,17 aB  | 0,19 aB  | 0,22 aA  | 0,24 aA  |
| 1-MCP       | 0,19 aA                   | 0,15 aB  | 0,16 aB  | 0,18 aB  | 0,22 aA  | 0,22 aA  |
| AOA         | 0,19 aA                   | 0,18 aA  | 0,18 aA  | 0,17 aA  | 0,18 aA  | 0,20 aA  |
| Etileno     | 0,19 aA                   | 0,18 aA  | 0,19 aA  | 0,17 aA  | 0,18 aA  | 0,17 aA  |
|             | Fração de fenóis solúveis |          |          |          |          |          |
| Controle    | 0,10 aA                   | 0,11 aA  | 0,14 aA  | 0,12 aA  | 0,12 aA  | 0,10 aA  |
| 1-MCP       | 0,10 aA                   | 0,11 aA  | 0,12 aA  | 0,11 aA  | 0,11 aA  | 0,11 aA  |
| AOA         | 0,10 aA                   | 0,10 aA  | 0,12 aA  | 0,11 aA  | 0,10 aA  | 0,10 aA  |
| Etileno     | 0,10 aA                   | 0,09 aA  | 0,12 aA  | 0,11 aA  | 0,11 aA  | 0,11 aA  |

Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si na mesma coluna, e médias seguidas pela mesma letra maiúscula não diferem entre si na mesma linha. As médias foram comparadas entre si pelo agrupamento de Scott Knott, a 5% de probabilidade.

O teor de sólidos solúveis é utilizado como uma medida indireta do conteúdo de açúcares (Lima et al., 2015) e a acidez titulável quantifica os ácidos orgânicos

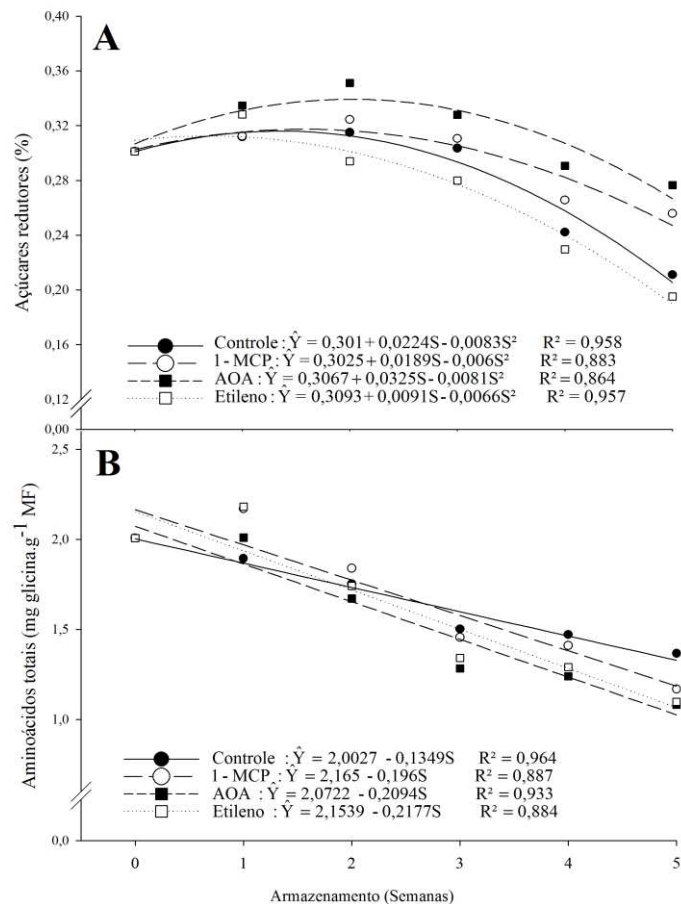
presentes nos alimentos, os quais influenciam o sabor, odor, cor, a estabilidade e a manutenção da qualidade em produtos *in natura* e processados (Feltran et al., 2004). A manutenção dessas variáveis em função dos tratamentos aplicados evidenciando bom potencial para processamento, pois a qualidade química das raízes se manteve durante o tempo de armazenamento.

Quando comparados com outros dados da literatura, as variáveis SS e AT mostraram valores superiores, porém o pH pouco ácido da batata-doce foi ratificado. Essas variações podem ser em função de aspectos pré e pós-colheita como tratamentos culturais, época de colheita, cultivares, temperatura de armazenamento, entre outros (Gouveia et al., 2014; Corrêa et al., 2016).

Os fenóis solúveis são metabólitos secundários que conferem atributos funcionais significativos para os vegetais, envolvidos em características de qualidade como sabor e aparência (Abbasi et al., 2015). A estabilidade nos valores da fração de fenóis solúveis também foi observada por Amoah et al. (2016) que obtiveram pouca variação em relação aos fenóis solúveis avaliados na região distal da polpa de raízes de batata-doce armazenadas por até 30 dias a 25 °C.

Os conteúdos de açúcares redutores aumentaram no início do armazenamento e após a 2ª semana decresceram em todos os tratamentos avaliados (Figura 2A). Os menores valores são mostrados no controle e tratamento com etileno, devido à maior incidência de brotação, que resulta em aumento na respiração e, consequentemente, maior consumo de monossacarídeos. Os dados corroboram com os de Chemma et al. (2013), em que tratamentos com AVG e 1-MCP, com ou sem etileno, apresentaram maiores concentrações de monossacarídeos que raízes de batata-doce cultivar 'Bushbuck' armazenada em temperatura ambiente tratadas apenas com etileno.

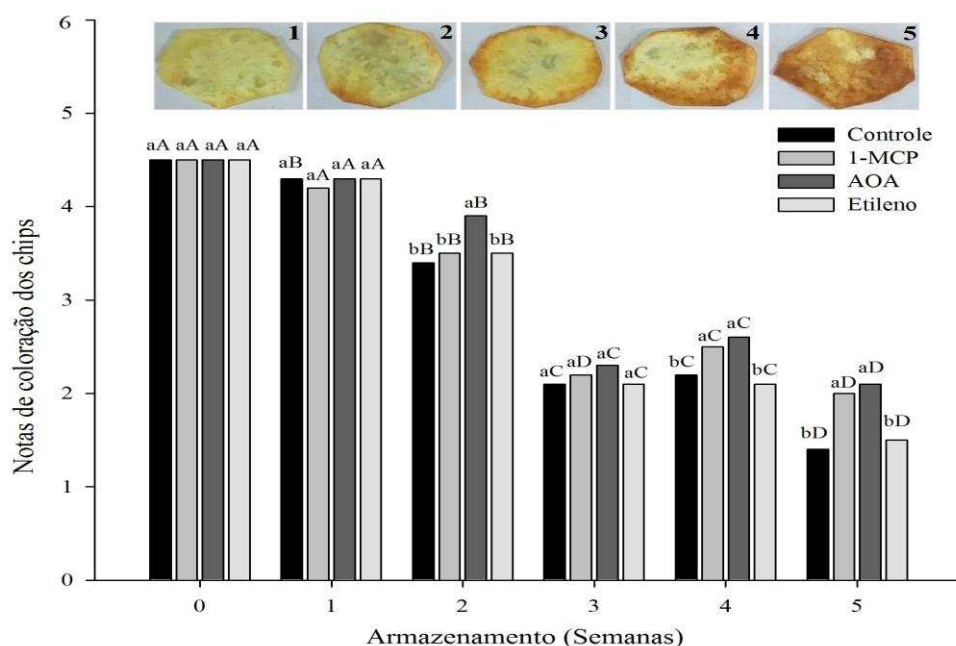
Os conteúdos de aminoácidos totais reduziram em todos os tratamentos avaliados durante o tempo de armazenamento (Figura 2B). Essas reduções podem estar relacionadas com a mobilização de reservas energéticas para o crescimento de brotos, processos biossintéticos, senescência, etc. Uma vez que existem muitos mecanismos para oxidação de proteínas e, ao mesmo tempo, substâncias passíveis de tal modificação, como aminoácidos livres e pequenos peptídeos serem rapidamente desviados da síntese proteica e entrarem na rota catabólica. A glutamato desidrogenase é responsável pela oxidação de aminoácidos, fornecendo energia para o Ciclo de Krebs e/ou redução do  $\alpha$ -cetoglutarato para a síntese de novos aminoácidos para serem utilizados como fonte energética (Santos et al., 2005).



**Figura 2.** Açúcares redutores (A) e aminoácidos totais (B) em raízes de batata-doce (BRS Rubissol) durante armazenamento de cinco semanas a 25 °C.

As notas de coloração de fritura reduziram durante o armazenamento em todos os tratamentos avaliados (Figura 3). Estas reduções indicam menor escurecimento dos *chips* em relação ao início do armazenamento, devido ao decréscimo nos conteúdos de açúcares redutores e aminoácidos totais. Os maiores valores de notas de coloração são mostrados nos tratamentos com 1-MCP e AOA, sendo relacionados aos conteúdos de açúcares redutores, que foram maiores nestes tratamentos durante o armazenamento.

Ao contrário de batatas (*Solanum tuberosum*), a batata-doce contém níveis baixos de asparagina e elevados níveis açúcares redutores, portanto, a asparagina é provavelmente um fator limitante na formação de acrilamida nos *chips* fritos de batata-doce (Truong et al., 2014). Os mesmos autores mostraram valores de acrilamida <100 ng/g<sup>-1</sup> que é muito inferior aos das batatas fritas.



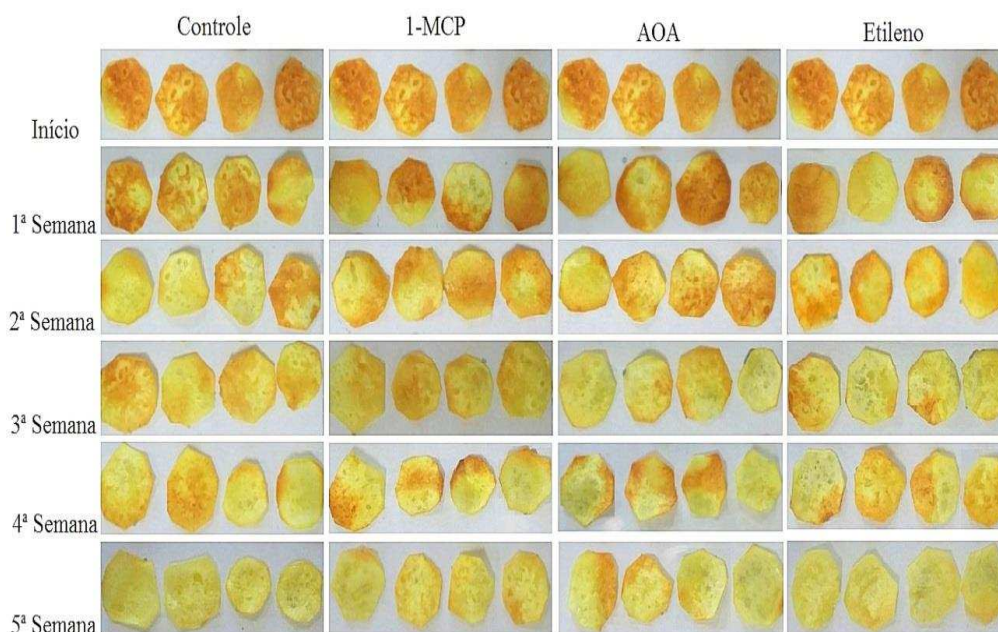
**Figura 3.** Médias das notas de coloração de fritura em *chips* de batata-doce (BRS Rubissol) em função do tempo de armazenamento e tratamentos aplicados. Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si para os tratamentos avaliados, e médias seguidas pela mesma letra maiúscula não diferem entre si para os tempos de avaliação. As médias foram comparadas entre si pelo agrupamento de Scott Knott, a 5% de probabilidade.

A cor é fundamental no julgamento da qualidade pelo consumidor, que tem como parâmetro *chips* que apresentem coloração dourada clara, com ausência de pontos ou traços escuros. No entanto, a coloração do produto final depende principalmente da composição química da matéria-prima, que é influenciada pela variedade, condições de cultivo e armazenamento (Tfouni et al., 2003). Os produtos de cor clara retornam um alto preço de mercado e, portanto, os processadores geralmente pagam um preço maior aos seus fornecedores (Daniels-Lake, 2013).

O principal componente que afeta a coloração dos *chips* é o teor de açúcares redutores presentes na matéria-prima, sendo que teores superiores a 1% podem comprometer a coloração (Tfouni et al., 2003), modificando o sabor e a qualidade da batata frita. No entanto, explica apenas 65% das causas do escurecimento (Vendrusculo & Zorzela, 2002). Durante o processo de fritura os açúcares redutores podem interagir com a asparagina livre para formar acrilamida através de um intermediário de N-glicosídeo como parte da reação de Maillard (Mottram et al., 2002), que é influenciada pela temperatura, com maior intensidade a 150 °C. Como a temperatura do óleo no processo de fritura é normalmente de 177-180 °C, provavelmente ocorre uma alta eficiência da reação (Low et al., 1989).

A formação de acrilamida resulta na coloração escura e sabor amargo do produto frito, além de ser uma potente neurotoxina carcinogênica (Mottram et al., 2002). Foi relatado que a glicidamida, um metabólito da acrilamida, se liga ao DNA e causa danos genéticos em animais e células animais cultivadas *in vitro*, provocando câncer de pele e de pulmão em camundongos (Hashimoto & Tanii, 1985).

O tempo de armazenamento teve maior influência na análise visual da coloração de *chips* de batata-doce, em que houve reduções do escurecimento da superfície dos *chips* em todos os tratamentos avaliados, desenvolvendo cor dourada clara durante o armazenamento (Figura 4).



**Figura 4.** Análise visual da coloração de fritura em *chips* de batata-doce (BRS Rubissol) em função do tempo de armazenamento e tratamentos aplicados.

## CONCLUSÕES

As raízes de batata-doce BRS Rubissol apresentam bom potencial para processamento na forma de *chips* fritos. Os tratamentos 1-MCP e AOA reduziram o índice de brotação das raízes, melhorando a qualidade de armazenamento das raízes em temperatura ambiente e prolongando a vida útil das raízes.

## REFERÊNCIAS

ABBASI, K.S.; MASUD, T.; ALI, S.; KHAN, S.U.; MAHMOOD, T.; QAYYUM, A. Sugar-Starch metabolism and antioxidant potential in potato tubers in response to different antisprouting agents during storage. *Potato Research*, v.58, p.361-375, 2015. <http://dx.doi.org/10.1007/s11540-015-9306-4>

- ALENCAR SM; KOBLITZ MGB. Oxirredutases. In: KOBLITZ MGB. (coord). Bioquímica de Alimentos. p.125-152. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2008.
- AMOA, R.S.; LANDAHL, S.; TERRY, L.A. The timing of exogenous ethylene supplementation differentially affects stored sweet potato. *Postharvest Biology and Technology*, v.120, p.92-102, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2016.05.013>
- ARAÚJO, J. S. F; COSTA, J. S.; SILVA, G. M. S.; CAVALCANTI, M. T. Avaliação sensorial de batata-doce roxa “*chips*” e palito. *Caderno Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v.4, n.1, p.1-5, 2014. <http://www.gvaa.com.br/revista/index.php/CVADS/article/view/2863/2628>
- A.O.A.C. Association of Official Analytical Chemistry. Official methods of analysis. 19 ed., Gaithersburg, MD: AOAC International, 2012. 3000p.
- BAAFI, E.; BLAY, E.T.; OFORI, K.; GRACEN, V.E.; MANU-ADUENING, J.; CAREY, E.E. Breeding superior orange-fleshed sweetpotato cultivars for West Africa. *Journal of Crop Improvement*, v.30, p.293–310, 2016. <https://doi.org/10.1080/15427528.2016.1154492>
- BHERING, L.L.; PINTO, C.A.B.P.; BENITES, F.R.G.; LEITE, M.E.; SILVA, F.L. Seleção assistida por marcadores para teor de matéria seca e açúcares redutores em tubérculos de batata. *Ciência Rural*, v.39, n.1, p.38-44, 2009. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782009000100007>
- CASTRO, L.A. S.; BECKER, A. Batata-doce BRS Rubissol. Pelotas, RS: EBRAPA Clima Temperado, 2011. 2p.
- CELLA, R.C.F.; REGINATO, D’A.; MARISA, A.B.; SPOTO, M.H.F. Comportamento do óleo de soja refinado utilizado em fritura por imersão com alimentos de origem vegetal. *Food Science and Technology*, v.22, n.2, p.111-116, 2002. <http://dx.doi.org/10.1590/S0101-20612002000200002>
- CHEEMA, M.U.A.; REESA, D.; COLGANA, R.J.; TAYLOR, M.; WESTBYA, A. The effects of ethylene, 1-MCP and AVG on sprouting in sweetpotato roots. *Postharvest Biology and Technology*, v.85, p.89–93, 2013. <http://dx.doi.org/10.1016/j.postharvbio.2013.05.001>
- CORRÊA, C.V; GOUVEIA, A.M.S.; EVANGELISTA, R.M.; CARDOSO, A.I.I. Qualidade de raízes de batata-doce em função das cultivares e do armazenamento. *Raízes e Amidos Tropicais*, v.12, n.1, p. 26-35, 2016. <http://dx.doi.org/10.17766/1808-981X.2016v12n1p26-35>
- COSTA, A.F.S.; BALBINO, J.M.S. Características da fruta para exportação e normas de qualidade. In: FOLEGATTI, M.I.S.; MATSUURA, F.C.A.U. Mamão: Pós-colheita. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2002. p.12-18. (Série Frutas do Brasil, 21).

- DANIELS-LAKE, B. The Combined Effect of CO<sub>2</sub> and Ethylene Sprout Inhibitor on the Fry Colour of Stored Potatoes (*Solanum tuberosum* L.). *Potato Research*, v.56, p.115-126, 2013. <http://dx.doi.org/10.1007/s11540-013-9234-0>
- ETCHELLS, J.P.; PROVOST, C.M.; TURNER, S.R. Plant vascular cell division is maintained by an interaction between PXY and ethylene signalling. *PLoS Genetics*, v.8, n.11, p.1-14, 2012. <https://doi.org/10.1371/journal.pgen.1002997>
- FELTRAN, J.C.; LEMOS, L.B.; VIEITES, R.L. Technological quality and utilization of potato tubers. *Science Agricultural*, v.61, n.6, p.598-603, 2004. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162004000600006>
- FERREIRA, D.F. Sisvar: a computer statistical analysis system. *Ciência e Agrotecnologia*, v.35, n.6, p.1039-1042, 2011. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542011000600001>
- FOUKARAKI, S.G.; COOLS, K.; CHOPE, G.A.; TERRY, L.A Impact of ethylene and 1-MCP on sprouting and sugar accumulation in stored potatoes. *Postharvest Biology and Technology*, v.114, p.95-103, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.11.013>
- FU, L.; XU, B.T., XU, X.R.; QIN, X.S.; GAN, R.Y.; LI, H.B. Antioxidant capacities and total phenolic contents of 56 wild fruits from South China. *Molecules*, v.15, n.12, p.8602-8617, 2010. <https://doi.org/10.3390/molecules15128602>
- GOULD, W.A. *Potato production, processing and technology*. Baltimore, Maryland: CTI Publ., 1999. 259 p.
- GONÇALVES, C.; RODRIGUES-JASSO, M.R.; GOMES, N.; TEIXEIRA, J.A.; BELO, I. Adaptation of dinitrosalicylic acid method to microtiter plates. *Analytical Methods*, v.2, n.12, p.2046-2048, 2010. <http://dx.doi.org/10.1039/C0AY00525H>
- GOUVEIA, A.M.S.; CORRÊA, C.V.; TAVARES, A.E.B.; EVANGELISTA, R.M.; CARDOSO, A.I.I. Qualidade de raízes de batata-doce em função da adubação nitrogenada e conservação. *Raízes e Amidos Tropicais*, v.10, n.1, p.57-64, 2014. <http://dx.doi.org/10.17766/1808-981X.2014v10n1p57-64>
- HASHIMOTO, K.; TANII, H. Mutagenicity of acrylamide and its analogues in *Salmonella typhimurium*. *Mutation Research - Genetic Toxicology and Environmental*, v.158, p.129-133, 1985. [http://dx.doi.org/10.1016/0165-1218\(85\)90075-8](http://dx.doi.org/10.1016/0165-1218(85)90075-8)
- LIMA, T.L.S.; CAVALCANTE, C.L.; SOUSA, D.G.; SILVA, P.H.A.; SOBRINHO, L.G.A. Avaliação da composição físico-química de polpas de frutas comercializadas em cinco cidades do Alto Sertão paraibano. *Revista Verde*, v.10, n.2, p. 49-55, 2015. <https://doi.org/10.18378/rvads.v10i2.3378>
- LOW, J.W.; MWANGA, R.O.M.; ANDRADE, M.; CAREY, E.; BALL, A-M. Tackling vitamin A deficiency with biofortified sweetpotato in sub-Saharan

- Africa. Global Food Security, v.14, p.23–30, 2017. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gfs.2017.01.004>
- LOW, N.; JIANG, B.; OORAIKUL, S.; DOKHANI, S.; PALCIC, M.M. Redution of glucose content in potatoes with glucose oxidase. Journal of Food Science, v.54, n.1, p.118-121, 1989. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1989.tb08581.x>
- MATHOOKO, F.M.; TSUNASHIMA, Y.; OWINO, W.Z.O.; KUBO, Y.; INABA, A. Regulation of genes encoding ethylene biosynthesis enzymes in peach (*Prunus persica* L.) fruit by carbon dioxide and 1-methylcyclopropene. Postharvest Biology and Technology, v.21, p.265-281, 2001. [https://doi.org/10.1016/S0925-5214\(00\)00158-7](https://doi.org/10.1016/S0925-5214(00)00158-7)
- McCREADY, R. M.; GUGGOLZ, J.; SILVEIRA, V.; OWENS, H.S. Determination of starch and amylase in vegetables. Analytic Chemistry, v.22, n.9, p.1156-1158, 1950. <https://doi.org/10.1021/ac60045a016>
- MOTTRAM, D.S.; WEDZICHA, B.L.; DODSON, A.T. Acrylamide is formed in the Maillard reaction. Nature, v.419, p.448-449, 2002. <http://dx.doi.org/10.1038/419448a>
- MÜLLER, D.R.; BSOGNIN, D.S.; ANDRIOLO, J.L.; MORIN JUNIOR, G.R.; GNOCATO, F.S. Expressão dos caracteres e seleção de clones de batata nas condições de cultivo de primavera e outono. Ciência Rural, v.39, p.1237-1334, 2009. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782009005000078>
- MUTTUCUMARU, N.; POWERS, S.J.; ELMORE, J.S.; DODSON, A.; BRIDDON, A.; MOTTRAM, D.S.; HALFORD, N.G. Acrylamide-forming potential of potatoes grown at different locations, and the ratio of free asparagine to reducing sugars at which free asparagine becomes a limiting factor for acrylamide formation. Food Chemistry, v.220, p.76-86, 2017. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.09.199>
- OREOPOULOU, V.; KROKIDA, M.; MARINOS-KOURIS, D. Frying of foods. In: MUJUMDAR, A. Handbook of industrial drying. p.1225-1244. CRC Press, 2006.
- PASTORINI, L.H.; BACARIN, M.A.; TREVIZOL, F.C.; BERALD, C.M.P.; FERNANDES, H.S. Produção e teor de carboidratos não estruturais em tubérculos de batata obtidos em duas épocas de plantio. Horticultura Brasileira, v.21, n.4, p. 660-665, 2003. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-05362003000400018>
- PRANGE, R.K.; DANIELS-LAKE, B.J.; JEONG, J.C.; BINNS, M. Effects of ethylene and 1-methylcyclopropene on potato tuber sprout control and fry colour. American Journal of Potato Research, v.82, p.123-128, 2005. <https://doi.org/10.1007/BF02853649>

- RAZ, V.; KOORNNEEF, M. Cell division activity during apical hook development. *Plant Physiology*, v.125, p.219–226, 2001. <https://doi.org/10.1104/pp.125.1.219>
- SANTOS, C.M.R.; MENEZES, N.L.; VILLELA, F.A. Modificações fisiológicas e bioquímicas em sementes de feijão no armazenamento. *Revista Brasileira de Sementes*, v.27, n.1, p.104-114, 2005. <http://dx.doi.org/10.1590/S0101-31222005000100013>
- SEREK, M.; WOLTERING, E.J.; SISLER, E.C.; FRELLO, S.; SRISKANDARAJAH, S. Controlling ethylene responses in flowers at the receptor level. *Biotechnology Advances*, v.24, p.368-381, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2006.01.007>
- TFOUNI, S.A.V.; MACHADO, R.M.D.; GARCIA, L.C.; AGUIRRE, J.M.; GASPARINO FILHO, J. *Batata chips e palha*. Campinas: ITAL, 2003. 73p. (Agronegócio, n.3)
- TRUONG, V.; DEN PASCUA, Y.T.; REYNOLDS, R.; THOMPSON, R.L.; PALAZOĞLU, T.K.; ATAC MOGOL, B.; GÖKMEN, V. Processing treatments for mitigating acrylamide formation in sweetpotato French fries. *Journal of Agricultural Food Chemistry*, v.62, p.310-316, 2014. <http://dx.doi.org/10.1021/jf404290v>
- VAN DE POEL, B.; SMET, D.; VAN DER STRAETEN, D. Ethylene and hormonal cross talk in vegetative growth and development. *Plant Physiology*, v.169, n.1, p.61–72, 2015. <https://doi.org/10.1104/pp.15.00724>
- VENDRUSCULO, J.L.S.; ZORZELA, C.A. Processamento de batata (*Solanum tuberosum* L.): Fritura. Pelotas: EMBRAPA Clima Temperado, 2002. 15p. (Documentos, 104).
- WATKINS, C.B. The use of 1-methylcyclopropene (1-MCP) on fruits and vegetables. *Biotechnology Advances*, v.24, p.389-409, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2006.01.005>
- YEMM, E.W.; COCKING, E.C.; RICKETTS, R.E. The determination of amino-acids with ninhydrin. *Analyst*, v.80, p.209-214, 1955. <http://dx.doi.org/10.1039/AN9558000209>
- ZORZELLA, C.A.; VENDRUSCOLO, J.L. ; TREPTOW, R.O. Qualidade sensorial de “chips” de diferentes genótipos de batatas (*Solanum tuberosum* L.), cultivos de primavera e outono no Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Agrociência*, v.9, n.1, p.57-63, 2003.

## **Caracterização de peroxidase e polifenoloxidase em casca e polpa de cultivares de batata-doce**

### **RESUMO**

Raízes de batata-doce são susceptíveis ao escurecimento enzimático, que ocorre devido a danos causados durante colheita, transporte ou processamento. O escurecimento é causado pela oxidação dos compostos fenólicos pelas enzimas peroxidase (POD) e polifenoloxidase (PPO). O objetivo foi caracterizar cineticamente a POD e PPO da casca e polpa de três cultivares de batatas-doces feridas (BRS Amélia, BRS Rubissol e BRS Cuia). Foram avaliadas condições ótimas de atividade em função de temperatura, pH, substrato para PPO e uso de inibidores. A temperatura ótima para atividade da POD na casca e polpa foi 30 °C e 30-40 °C, respectivamente. A temperatura ótima para atividade da PPO na casca e polpa foi 60-70 °C e 40-50 °C, respectivamente. A faixa ótima de pH para POD na casca e polpa foi de 4,5-6,0 e 6,0-7,0, respectivamente. A faixa ótima de pH para PPO na casca e polpa foi de 6,0-6,5 e 4,5-5,0, respectivamente. A catequina foi o melhor substrato para reação da PPO na casca de todas as cultivares, e na polpa a catequina foi melhor em BRS Rubissol e 4-metilcatecol foi o melhor substrato para BRS Amélia e Cuia. Ácido *L*-ascórbico e  $\beta$ -mercaptoetanol foram os melhores inibidores da POD da casca e polpa, independentemente da cultivar. Bissulfito de sódio,  $\beta$ -mercaptoetanol, ácido *L*-ascórbico e *L*-cisteína foram os melhores inibidores da PPO da casca e polpa de todas as cultivares. A atividade enzimática foi maior na casca das raízes tuberosas devido a maior quantidade de compostos fenólicos.

**Palavras-chave:** cinética enzimática; compostos fenólicos; *Ipomoea batatas*.

## **Characterization of peroxidase and polyphenoloxidase in skin and flesh of sweet potato cultivars**

### **ABSTRACT**

Sweet potato roots are susceptible to enzymatic browning, which occurs due to damage during harvest, transport or processing. The browning is caused by the oxidation of phenolic compounds by the peroxidase (POD) and polyphenol oxidase

(PPO) enzymes. The objective was to characterize kinetically the POD and PPO of the skin and flesh of three cultivars of damaged sweet potatoes (BRS Amelia, BRS Rubissol and BRS Cuia). Optimum conditions of activity were evaluated as a function of temperature, pH, substrate for PPO and inhibitor use. The optimum temperature for POD activity in the skin and flesh was 30 °C and 30-40 °C, respectively. The optimum temperature for PPO activity in the skin and flesh was 60-70 °C and 40-50 °C, respectively. The optimum pH range for POD in skin and flesh was 4.5-6.0 and 6.0-7.0, respectively. The optimum pH range for PPO in skin and flesh was 6.0-6.5 and 4.5-5.0, respectively. Catechin was the best substrate for PPO reaction in skin of all cultivars, and in flesh the catechin was better in BRS Rubissol and 4-methylcatechol was the best substrate for BRS Amelia and Cuia. *L*-ascorbic acid and  $\beta$ -mercaptoethanol were the best POD inhibitors of skin and flesh, regardless of cultivar. Sodium bisulfite,  $\beta$ -mercaptoethanol, *L*-ascorbic acid and *L*-cysteine were the best PPO inhibitors of skin and flesh of all cultivars. The enzymatic activity was higher in the skin of the tuberous roots due to the greater amount of phenolic compounds.

**Keywords:** enzyme kinetics; phenolic compounds; *Ipomoea batatas*.

## INTRODUÇÃO

A batata-doce [*Ipomoea batatas* (L.) Lam.] é originária da América do Sul e pertencente à família Convolvulaceae (Roullier et al., 2013), possui porte herbáceo perene, com habilidade de adaptação a diferentes condições climáticas, permitindo seu cultivo em todo mundo (Sheth et al., 2017). É avaliada como um alimento promotor da saúde, devido ao seu alto teor de nutrientes e componentes funcionais, que possuem atividades antioxidantes, entre outras (Tanaka et al., 2017).

Raízes tuberosas são susceptíveis a danos mecânicos causados pela colheita, transporte e armazenamento (Cereda & Vilpoux, 2003). Esses danos causam estresses oxidativos cujas alterações bioquímicas, físico-químicas e fisiológicas, imediatas e subsequentes, desestabilizam membranas biológicas, incrementando a difusão de gases, produção de moléculas indutoras de sinalização celular e aumentam a atividade enzimática que oxidam compostos fenólicos (Bartz & Brecht, 2002).

O estresse oxidativo causa o escurecimento enzimático, um dos principais problemas na indústria de alimentos. Perdas em torno de 50% são estimadas devido ao escurecimento enzimático que prejudica a aparência e propriedades organolépticas

do produto, resultando na diminuição da vida útil e do valor de mercado (Araujo, 2008). A polifenoloxidase (PPO) e a peroxidase (POD) são as principais enzimas que produzem polímeros de cor amarronzada pela oxidação dos compostos fenólicos, em que a atividade da POD pode ter uma ação sinérgica com PPO; quanto maior a oxidação de compostos fenólicos solúveis pela PPO, maior a produção de peróxido de hidrogênio que é um substrato para POD (Terefe et al., 2014).

A enzima polifenoloxidase (1,2-benzenodiol: oxigênio oxidoredutase) é uma enzima termolábil que possui dois íons cobre ( $\text{Cu}^{++}$ ) no seu centro ativo, cujos campos de ligação contêm dois resíduos de histidina cada um. São consideradas oxidases de função mista, catalisando até três reações. A primeira é a atividade monoxigenase (E.C. 1.14.18.1), em que a enzima se liga primeiro ao oxigênio e depois ao monofenol, alterando a valência dos íons cobre e formando o complexo enzima-substrato. A ligação O–O fica polarizada resultando na hidroxilação de monofenóis e formando  $\sigma$ -difenois. Na segunda, ocorre atividade difenoloxidase (E.C. 1.10.3.1), em que ocorre a oxidação de  $\sigma$ -difenois formando  $\sigma$ -quinonas. Na terceira, ocorre atividade lacase (E.C. 1.10.3.2), em que ocorre a oxidação de  $p$ -difenois formando  $p$ -quinonas. As quinonas formadas se polimerizam formando as melaninas (Silva et al., 2009; Redondo et al., 2016; Hemachandran et al., 2017; Oliveira et al., 2017). As  $\sigma$ -quinonas também podem formar complexos com aminoácidos ou proteínas; e oxidar compostos com baixo potencial de oxidorredução (Nicolas et al., 1994).

As polifenoloxidases participam de um grande número reações oxidativas e de biodegradação, tais como mudança de cor, degradação da clorofila ou auxinas, oxidação de fenóis, oxidação do ácido indol acético, biossíntese de lignina, e muitos destes fatores também podem ser associados com aroma/sabor, cor, textura e qualidade nutricional dos alimentos (Valderrama et al, 2001).

Do mesmo modo que as polifenoloxidases, as peroxidases têm atividade típica na reação de oxidação de compostos fenólicos em presença de peróxido de hidrogênio. Também são obtidas quinonas como produto, as quais são instáveis e após a oxidação não enzimática na presença de  $\text{O}_2$  polimerizam-se e formam as melaninas (Chitarra, 2000). As peroxidases contêm um grupo prostético heme (ferriprotoporfirina IX) e no processo catalítico oxida de forma transitória o íon férrico a estados de valência mais alta. O peróxido pode ser o de hidrogênio ou peróxido orgânico, como metil ou etil peróxido de hidrogênio. Na reação que

envolve a peroxidase, o doador de elétrons pode ser o ascorbato, as aminas e outros compostos orgânicos, tais como os fenóis (Richardson & Hyslop, 2000).

Vários papéis fisiológicos têm sido atribuídos às peroxidases de plantas, como biossíntese de etileno, degradação da clorofila, eliminação do peróxido de hidrogênio, proteção contra microrganismos fitopatogênicos e metabolismo das auxinas (Kaspera et al., 2001), balanceamento hormonal, integridade das membranas, controle dos processos de respiração celular, senescência e degradação fisiológica de frutas e vegetais (Haard & Tobin, 1971). A enzima também pode atuar em processos de lignificação, suberização, reticulação de compostos da parede celular e defesa a estresses bióticos e abióticos (Hiraga et al., 2001; Passardi et al., 2005).

Essas enzimas oxidativas tem heterogeneidade acerca do substrato específico, sensibilidade a inibidores, pH ótimo, latência, inativação térmica, número de isoformas e massa molecular (Mayer & Harel, 1979). Em relação à importância das enzimas PPO e POD nos processos de escurecimento enzimático de raízes tuberosas é necessário o estudo das condições ótimas de análise, a fim de utilizar destas informações para aplicações *in vivo*.

O objetivo foi caracterizar cineticamente as enzimas peroxidase e polifenoloxidase em extratos brutos em polpa e casca de três cultivares de batatas-doces (BRS Amélia, BRS Rubissol e BRS Cuia) submetidas a dano mecânico, avaliando condições ótimas de suas atividades.

## MATERIAL E MÉTODOS

**Obtenção das mudas e caracterização da área experimental:** as mudas de batata-doce cv. BRS Rubissol foram adquiridas da empresa Frutplan (Pelotas, Rio Grande do Sul, Brasil). As mesmas foram cultivadas seguindo um padrão de práticas comerciais (calagem para o plantio com 100 g/m<sup>2</sup> de calcário; adubação de plantio com 100 g/m<sup>2</sup> de NPK 8-28-16; adubação com 50 g/m<sup>2</sup> de NPK 8-28-16 cada 30 dias e irrigação contínua com uso de aspersores) durante seis meses em campo experimental da Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, Minas Gerais, Brasil (20° 45' 20'' S e 42° 52' 40'' W, 651 m de altitude).

**Colheita das raízes e preparo das amostras:** a colheita foi manual e raízes foram selecionadas (raízes isentas de doença e dano aparente) e padronizadas (massa entre 300-700 g). As raízes foram lavadas em água corrente por 2 minutos,

sanitizadas em solução de hipoclorito de sódio (200 mg.L<sup>-1</sup>) por 5 minutos, descascadas e cortadas manualmente em cubos de aproximadamente 5 mm de espessura. Os cubos foram congelados em nitrogênio líquido e armazenadas a -20 °C para posteriores análises enzimáticas. Foram realizadas as análises descritas a seguir:

**Extração e ensaio enzimático da peroxidase e polifenoloxidase:** amostras de 3,0 g de polpa e 1,5 g de casca foram imersas 15 mL de solução tampão fosfato de potássio (0,1 M, pH 6,5) na proporção 1:5 para polpa e 1:10 para casca e foram homogeneizadas em banho de gelo. Após, o material foi filtrado em 4 camadas de gaze e centrifugadas a 14.000 *g* por 30 minutos a 4 °C. A atividade da peroxidase foi baseada em método descrito por Khan e Robinson (1991) adaptado por Ramos et al. (2013), em que 0,1 mL de extrato enzimático foi adicionado ao meio de reação contendo 0,5 mL de peróxido de hidrogênio (1,80%), 0,5 mL de guaiacol (1,68%), 0,4 mL de água deionizada e 1,5 mL de tampão fosfato 0,1 M (pH 6,0). A atividade da polifenoloxidase foi baseada em método descrito por Benjamin & Montgomery (1973) adaptado por Karsten et al. (2013), em que 0,1 mL de extrato enzimático foi adicionado ao meio de reação contendo 0,5 mL de catequina (5 mM), 0,9 mL de água deionizada e 1,5 mL de tampão fosfato 0,1 M (pH 4,5). As reações foram quantificadas com base na alteração da absorbância em espectrofotômetro UV-1601 (Shimadzu, Quioto, Japão), em comprimento de onda 470 nm (peroxidase) e 420 nm (polifenoloxidase) a 25 °C, por 3 minutos. A atividade foi expressa em unidades de absorbância (UA) min<sup>-1</sup> mg<sup>-1</sup> de proteína. A concentração de proteínas totais foi determinada no extrato bruto utilizando albumina soro bovino como padrão (Bradford, 1976).

**Temperatura ótima para as atividades enzimáticas:** determinada pela incubação dos extratos enzimáticos e a solução tampão de reação por 10 minutos em temperaturas que variaram de 10 a 80 °C, em intervalos de 10 °C. Imediatamente foi efetuada a leitura da atividade em espectrofotômetro UV-1601 em comprimento de onda 470 nm (peroxidase) e 420 nm (polifenoloxidase) à mesma temperatura da incubação.

**Efeito do pH nas atividades enzimáticas:** determinado em diferentes soluções-tampão de reação à concentração de 0,1 M, sendo elas tampão citrato (pH

4,0 a 5,5), tampão fosfato (pH 6,0 a 7,5) e tampão trizma (pH 8,0 a 9,0), em intervalos de 0,5 unidades de pH. Os pHs foram corrigidos com NaOH e HCl 1 M.

**Determinação do substrato ótimo para a polifenoloxidase (Concomitante ao efeito do pH):** diferentes substratos foram testados: catecol (10 mM), 4-metilcatecol (10 mM), 4-metilbrenzcatequina (10 mM), pirogalol (10 mM) e catequina (5 mM), para todos a atividade enzimática analisada em espectrofotômetro UV-1601 por meio de variação na absorbância por 3 minutos em comprimento de onda 420 nm.

**Efeito de inibidores nas atividades enzimáticas:** determinado pela incubação dos extratos enzimáticos por 50 minutos a 4 °C, posteriormente foram incubados 10 minutos a 25 °C em tampão de reação contendo concentrações de 1 ou 5 mM dos seguintes compostos: ácido L-ascórbico, bissulfito de sódio, ditioeritol (DTT), L-cisteína, β-mercaptoetanol, ácido benzóico e azida sódica utilizados como inibidores da peroxidase, e como inibidores da polifenoloxidase foram utilizados os mesmos apenas substituindo a azida sódica por tropolone, posteriormente a atividade específica de cada enzima foi determinada, e a percentagem de inibição para cada inibidor foi calculada como na equação proposta por (Manohan & Wai, 2012):

$$\text{Inibição (\%)} = [(A_O - A_I) / A_O] * 100$$

Em que:  $A_O$  = atividade enzimática inicial (sem inibidor);  $A_I$  = atividade enzimática com o inibidor.

**Delineamento experimental e análise dos dados:** o experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições, em esquema fatorial 2 X 3 referente aos 2 tipos de tecidos avaliados (casca e polpa) e as 3 cultivares utilizadas (BRS Amélia, BRS Cuia e BRS Rubissol). Foi utilizada estatística descritiva de médias com erro padrão. Os gráficos foram elaborados utilizando o software Sigma Plot 10.0.

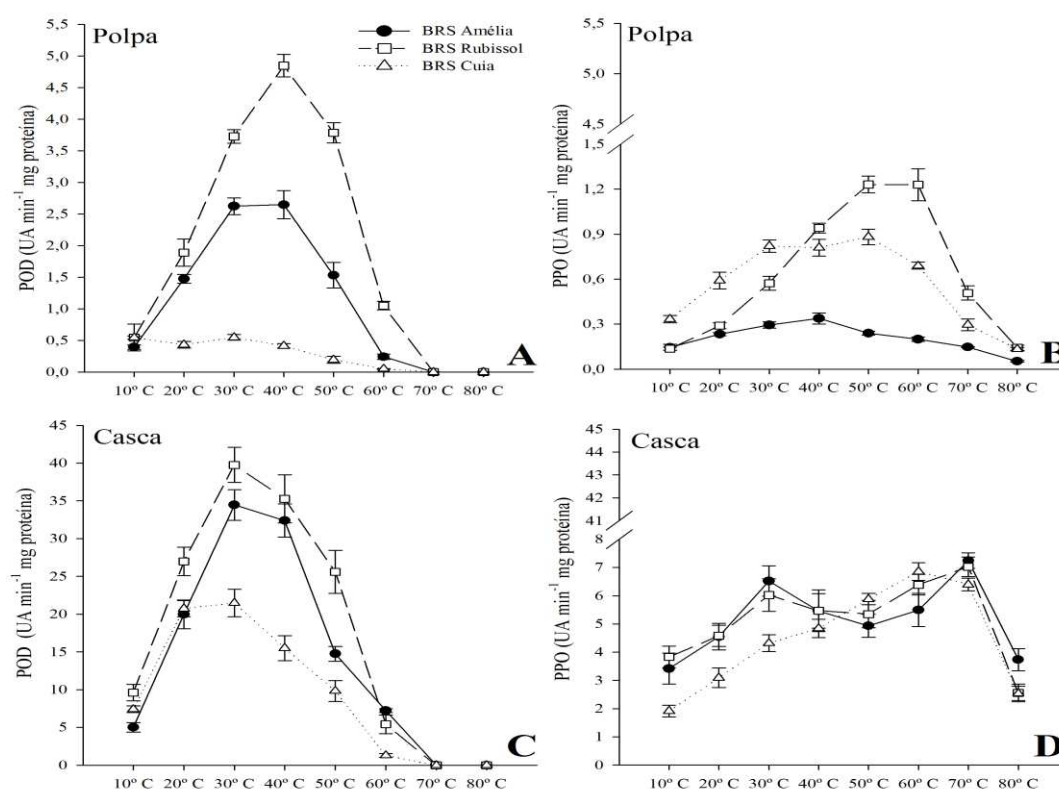
## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A temperatura ótima para atividade da POD na polpa foi 40, 40 e 30 °C para BRS Rubissol, BRS Amélia e BRS Cuia, respectivamente (Figura 1A), e na casca foi 30 °C para todas as cultivares (Figura 1C). Os resultados são semelhantes a alguns

encontrados na literatura, por exemplo, em morango a atividade da POD foi maior em 35 °C (Martínez et al., 2001), nabo em 45°C (Duarte-Vázquez et al., 2000) e batata-baroa teve sua atividade máxima em 30 °C (Menolli et al., 2008).

A temperatura ótima para atividade da PPO na polpa e casca foi 50, 40 e 50 °C e 70, 70 e 60 °C para BRS Rubissol, BRS Amélia e BRS Cuia, respectivamente (Figuras 1B e 1D). Os resultados estão próximos aos encontrados para alcachofra de Jerusalém (*Helianthus tuberosus* L.) que mostrou maior atividade da PPO em 60 °C (Zawistowski et al., 1988), morango em 50 °C (Serradell et al., 2000) e beldroega em 50 °C (Güven et al., 2017). Porém são superiores aos encontrados para batata yacon que mostrou temperatura ótima para atividade da PPO em 30 °C (Neves & Da Silva, 2007) e batata-doce em 30 °C (Manohan & Wai, 2012).

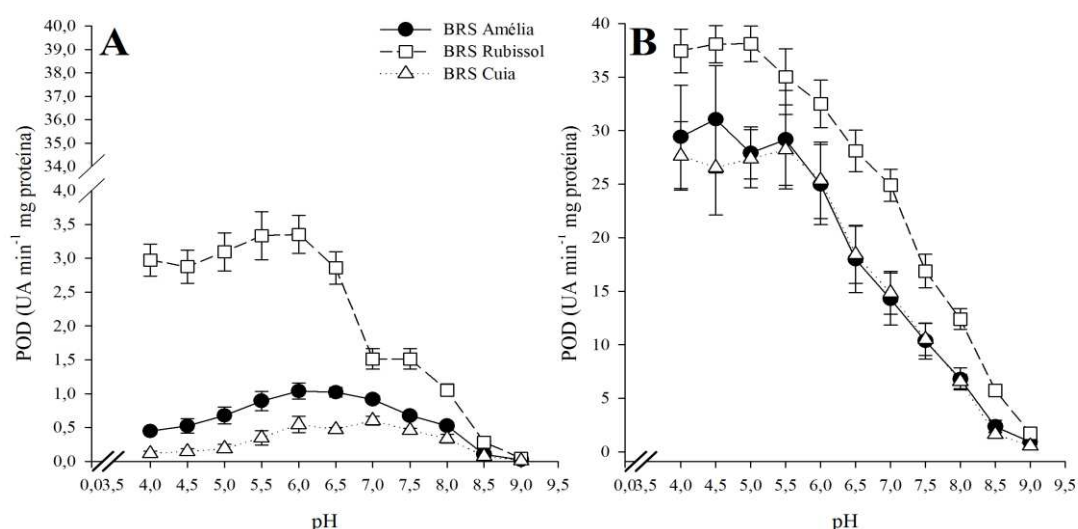
O efeito da temperatura na estabilidade de uma enzima depende de diversos fatores que incluem o pH, força iônica do meio, além da presença ou ausência de agentes ligantes, como os substratos que protegem as enzimas de desnaturação pelo calor (Sellés-Marchart et al., 2006).



**Figura 1.** Efeito da temperatura na atividade da peroxidase – POD em polpa (A) e casca (C), e na atividade da polifenoloxidase – PPO em polpa (B) e casca (D) de raízes de batata-doce. Cada valor é a média de quatro repetições  $\pm$  erro padrão.

O pH ótimo para atividade da POD na polpa e casca foi de 6,0; 6,0 e 7,0 e 5,0; 4,5 e 5,5 nas cvs. BRS Rubissol, BRS Amélia e BRS Cuia, respectivamente (Figuras 2A e 2B). Geralmente, a atividade máxima para a maioria dos vegetais são obtidas próximas a pH neutro (Sakiroglu et al., 2013), porém o pH ótimo para atividade da POD pode variar de acordo com ao tipo de substrato fenólico e solução-tampão utilizado no ensaio (Yue-Ming et al., 1997), pureza do extrato e forma da isoenzima (Tayefi-Nasrabadi et al., 2011), espécie e estágio de maturidade (Duangmal & Apenten, 1999) e localização celular (Perone et al., 2007).

Na literatura encontra-se variações relacionadas ao pH ótimo de atividade da POD, por exemplo, polpa batata-doce mostrou valores de pH ótimos entre 3,5 e 5,5 (Castillo et al., 2002), polpa de beterraba vermelha entre 5 a 6, enquanto em rabanete o pH variou entre 4 a 5 (Rudrappa et al., 2007), em POD de raízes de absorção de tomate a faixa ótima de pH foi entre 5,3 a 5,5 (Heidrich et al., 1983).



**Figura 2.** Efeito do pH sobre a atividade da peroxidase na polpa (A) e casca (B) de raízes de batata-doce. Cada valor é a média de quatro repetições  $\pm$  erro padrão.

O pH ideal na análise concomitante com o substrato ótimo para PPO, foi de 4,5; 4,5 e 5,0 para polpa e 6,0; 6,5 e 6,5 para casca de BRS Rubissol (Figuras 3A e 3B), BRS Amélia (Figuras 3C e 3D) e BRS Cuia (Figuras 3E e 3F), respectivamente. O pH ótimo para a atividade de PPO nas plantas varia de 4,0 a 7,0, dependendo da pureza da enzima e do tipo de tampão e substratos usados no o ensaio (Alyward & Haisman, 1969).

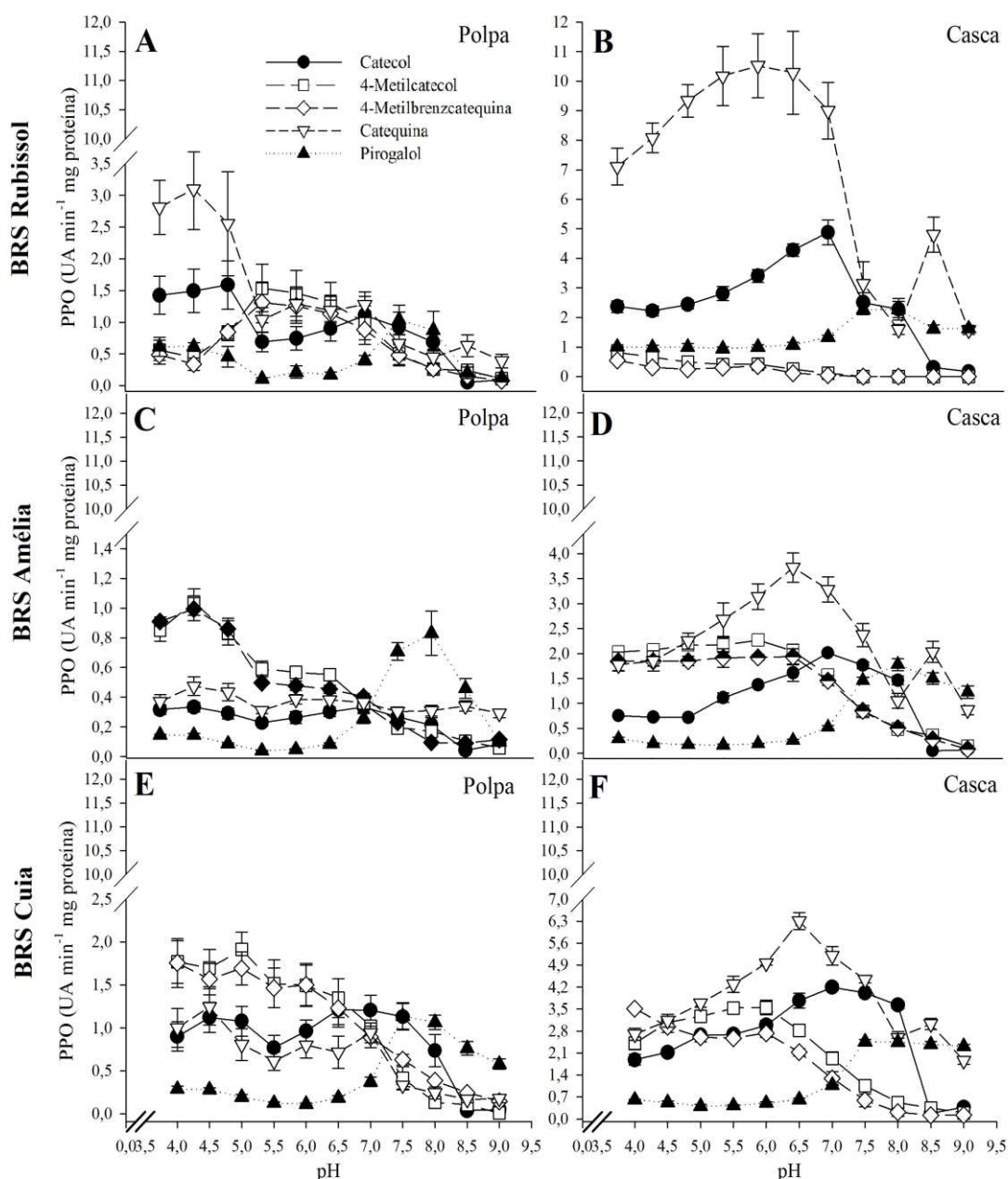
A catequina foi o substrato ótimo para a atividade da PPO na casca de todas as cultivares e na polpa da cv. BRS Rubissol (Figuras 3B, 3D, 3F e 3A). Os

substratos 4-metilcatecol, seguido por 4-metilbrenzcatequina foram ótimos para a atividade da PPO na polpa das cvs. BRS Amélia e BRS Cuia (Figuras 3C e 3E). Os substratos ótimos para atividade da PPO variam com a espécie estudada, além da afinidade e eficiência catalítica na reação enzimática (Manohan & Wai, 2012).

Na literatura, maiores atividades da PPO em polpa de batata-doce foram obtidas em pH 7,0 com o uso de 4-metilcatecolcatecol, seguido por catequina, catecol e pirogallol (Manohan & Wai, 2012), em outros trabalhos com batata-doce usando 4-metilcatecol como substrato, o pH ótimo foi 4,0 (Lourenço et al., 1992). Valores de pHs ótimos para o PPO extraída de tubérculos usando catecol como substrato foram 4,6 para tubérculos de taro e 6,8 para batata var. Romano (Kiattisak et al., 1999), 7,5 para a mandioca (Barthet, 1997) e 7,2-7,8 em batata yacon (Araújo & Figueiredo, 2018).

A cultivar BRS Rubissol mostrou maiores atividades da PPO tanto na polpa quanto na casca devido a maior presença de flavonoides, como antocianinas da casca. Os flavonoides são compostos fenólicos presentes nos vegetais, divididos em diferentes classes, sendo as principais flavonóis, flavonas, flavononas, catequinas, isoflavonas e antocianinas (Fennema et al., 2010; Angelo & Jorge, 2007).

Maiores atividades de POD e PPO foram observadas em extratos brutos de casca, independentemente da cultivar avaliada, indicando que o reservatório principal da enzima está localizado na casca. Esse fato também foi constatado por Perone et al. (2008), em que a atividade da polifenoloxidase foi elevada em extrato bruto da casca de banana nanica quando comparada com a polpa, Polesel et al. (2010) também observaram maiores atividades da PPO na casca de banana nanica e beringela.



**Figura 3.** Efeito concomitante de pH e substratos ótimos sobre a atividade da polifenoloxidase em raízes de batata-doce. Polpa e casca BRS Rubissol (A e B), polpa e casca BRS Amélia (C e D) e polpa e casca de BRS Cuia (E e F). Cada valor é a média de quatro repetições  $\pm$  erro padrão.

Muitas substâncias associam reversivelmente a enzimas, de forma a influenciar na ligação com o substrato, inibindo sua atividade (Voet et al., 2002). O ácido *L*-ascórbico e  $\beta$ -metaptoetanol foram mais eficientes em inibir a atividade da POD na polpa de todas as cultivares avaliadas, independentemente da concentração avaliada (Tabela 1). Ambas as concentrações de  $\beta$ -metaptoetanol e ácido *L*-ascórbico 5 mM, foram mais eficientes em inibir a atividade da POD na casca de todas as cultivares avaliadas (Tabela 2). Em morango, 1 mM de ácido ascórbico levou a 94,5%

de inibição da atividade da POD (Martínez et al., 2001) e em *Capsicum annum* L., 0,03 mM de ácido ascórbico proporcionou inibição total da enzima POD (Serrano-Martínez, 2008).

A maior inibição enzimática se deve ao fato de que o ácido ascórbico é um agente redutor que reduz a atividade da POD, devido à redução na concentração de peróxido de hidrogênio durante reações de oxidação (Martínez et al., 2001). O  $\beta$ -mercaptoetanol mostra mecanismo duplo de inibição, apresenta o grupo sulfidril que aumenta a tendência de ligar fortemente ao sítio ativo da enzima, e apresenta o grupo hidroxil que é capaz de causar inibição (Sariri et al., 2006).

O bissulfito de sódio,  $\beta$ -mercaptoetanol, ácido *L*-ascórbico e *L*-cisteína foram mais eficientes em inibir a atividade da PPO, tanto polpa quanto a casca de todas as cultivares, independentemente da concentração avaliada (Tabelas 3 e 4). Os resultados de inibição da PPO são semelhantes aos encontrados por Manohan & Wai (2012), que observaram que bissulfito de sódio, ácido ascórbico e *L*-cisteína foram mais efetivos em inibir a atividade da PPO em batata-doce.

Ayaz et al. (2008) mostrou que metabissulfito de sódio foi o mais efetivo inibidor da PPO em nêspera, seguido por ácido ascórbico. A incubação da PPO de banana com 17 mM de  $\beta$ -mercaptoetanol levou à completa inativação da enzima (Galeazzi & Sgarbieri, 1981). Em batata e taro, 5 e 10 mM de ácido ascórbico inibiram 100% da atividade da PPO (Duangmal & Apenten, 1999). 1 mM de *L*-cisteína inibiu 89,9% a atividade da PPO em morango (Martínez et al., 2001), e 10 mM de *L*-cisteína resultou em 98% de inibição em cereja (Kumar et al., 2008).

A maior inibição enzimática se deve ao fato de que os sulfitos serem agentes branqueadores, antioxidantes ou redutores, que previnem o escurecimento enzimático e não enzimático (Junqueira et al., 2009). O  $\beta$ -mercaptoetanol é outro agente redutor que atua reduzindo as quinonas formadas pela PPO a polifenóis (Arslan & Tozlu, 1997). O mecanismo de inibição do ácido ascórbico envolve a redução de quinonas geradas pela PPO ou pode atuar como agente quelante, reduzindo o  $\text{Cu}^{2+}$  do sítio ativo da enzima para  $\text{Cu}^{+}$  (Gómez-López, 2002; Rapeanu et al., 2006). E a inibição por *L*-cisteína é devido a complexação com produtos da reação formando complexos incolores (Richard-Forget et al., 1992) ou inibição da síntese ou ação de enzimas ligadas à oxidação dos polifenóis (Goulart et al., 2010).

**Tabela 1.** Efeito de inibidores sobre a atividade da peroxidase de polpa de batata-doce. Cada valor é a média de quatro repetições  $\pm$  erro padrão da média.

|                                          |            | Atividade da peroxidase (UA min mg <sup>-1</sup> proteína) |              |                  |              |                  |              |
|------------------------------------------|------------|------------------------------------------------------------|--------------|------------------|--------------|------------------|--------------|
|                                          |            | BRS Amélia                                                 |              | BRS Rubissol     |              | BRS Cuia         |              |
| Tratamentos                              |            | Atividade                                                  | Inibição (%) | Atividade        | Inibição (%) | Atividade        | Inibição (%) |
| <b>Controle</b>                          |            | 1,735 $\pm$ 0,07                                           | 0            | 2,822 $\pm$ 0,08 | 0            | 0,93 $\pm$ 0,16  | 0            |
| <b>Ácido L-ascórbico</b>                 | <b>1mM</b> | 0,010 $\pm$ 0,00                                           | 99,4         | 0,004 $\pm$ 0,00 | 99,8         | 0,926 $\pm$ 0,16 | 98,9         |
|                                          | <b>5mM</b> | 0,006 $\pm$ 0,00                                           | 99,6         | 0,001 $\pm$ 0,00 | 99,9         | 0,009 $\pm$ 0,00 | 99,4         |
| <b>Bissulfito de sódio</b>               | <b>1mM</b> | 1,331 $\pm$ 0,03                                           | 23,4         | 1,934 $\pm$ 0,15 | 31,4         | 0,005 $\pm$ 0,00 | 26,7         |
|                                          | <b>5mM</b> | 0,605 $\pm$ 0,09                                           | 65,1         | 1,225 $\pm$ 0,08 | 56,6         | 0,679 $\pm$ 0,12 | 66,4         |
| <b>L-Cisteína</b>                        | <b>1mM</b> | 0,156 $\pm$ 0,01                                           | 91           | 0,668 $\pm$ 0,07 | 76,3         | 0,374 $\pm$ 0,06 | 59,6         |
|                                          | <b>5mM</b> | 0,009 $\pm$ 0,00                                           | 99,4         | 0,478 $\pm$ 0,03 | 83,1         | 0,197 $\pm$ 0,03 | 78,7         |
| <b><math>\beta</math>-metapto etanol</b> | <b>1mM</b> | 0,005 $\pm$ 0,00                                           | 99,7         | 0,003 $\pm$ 0,00 | 99,8         | 0,005 $\pm$ 0,00 | 99,5         |
|                                          | <b>5mM</b> | 0,002 $\pm$ 0,00                                           | 99,9         | 0,001 $\pm$ 0,00 | 99,9         | 0,002 $\pm$ 0,00 | 99,7         |
| <b>Ácido benzóico</b>                    | <b>1mM</b> | 0,891 $\pm$ 0,12                                           | 48,7         | 1,676 $\pm$ 0,10 | 40,6         | 0,672 $\pm$ 0,09 | 27,4         |
|                                          | <b>5mM</b> | 0,718 $\pm$ 0,09                                           | 58,6         | 1,297 $\pm$ 0,13 | 54           | 0,493 $\pm$ 0,08 | 46,7         |
| <b>Azida sódica</b>                      | <b>1mM</b> | 0,102 $\pm$ 0,00                                           | 94           | 0,590 $\pm$ 0,06 | 79,1         | 0,243 $\pm$ 0,04 | 73,7         |
|                                          | <b>5mM</b> | 0,022 $\pm$ 0,00                                           | 98,7         | 0,156 $\pm$ 0,01 | 94,5         | 0,136 $\pm$ 0,03 | 85,3         |

**Tabela 2.** Efeito de inibidores sobre a atividade da peroxidase de casca de batata-doce. Cada valor é a média de quatro repetições  $\pm$  erro padrão.

|                                          |            | Atividade enzimática da peroxidase (UA min mg <sup>-1</sup> proteína) |              |                  |              |                  |              |
|------------------------------------------|------------|-----------------------------------------------------------------------|--------------|------------------|--------------|------------------|--------------|
|                                          |            | BRS Amélia                                                            |              | BRS Rubissol     |              | BRS Cuia         |              |
| Tratamentos                              |            | Atividade                                                             | Inibição (%) | Atividade        | Inibição (%) | Atividade        | Inibição (%) |
| <b>Controle</b>                          |            | 14,57 $\pm$ 0,86                                                      | 0            | 41,59 $\pm$ 2,75 | 0            | 7,827 $\pm$ 1,61 | 0            |
| <b>Ácido L-ascórbico</b>                 | <b>1mM</b> | 9,585 $\pm$ 0,91                                                      | 34,3         | 12,34 $\pm$ 1,38 | 70,3         | 0,004 $\pm$ 0,00 | 99,9         |
|                                          | <b>5mM</b> | 0,008 $\pm$ 0,00                                                      | 99,9         | 0,013 $\pm$ 0,00 | 99,9         | 0,002 $\pm$ 0,00 | 99,9         |
| <b>Bissulfito de sódio</b>               | <b>1mM</b> | 10,56 $\pm$ 0,88                                                      | 27,5         | 27,08 $\pm$ 1,31 | 34,9         | 5,687 $\pm$ 0,74 | 27,3         |
|                                          | <b>5mM</b> | 8,628 $\pm$ 0,64                                                      | 40,8         | 18,68 $\pm$ 1,28 | 55,1         | 4,807 $\pm$ 0,72 | 38,6         |
| <b>L-Cisteína</b>                        | <b>1mM</b> | 0,339 $\pm$ 0,02                                                      | 53,2         | 24,26 $\pm$ 1,92 | 41,7         | 1,208 $\pm$ 0,22 | 84,6         |
|                                          | <b>5mM</b> | 0,005 $\pm$ 0,00                                                      | 92,1         | 1,111 $\pm$ 0,04 | 97,3         | 0,066 $\pm$ 0,01 | 99,1         |
| <b><math>\beta</math>-metapto etanol</b> | <b>1mM</b> | 6,813 $\pm$ 0,71                                                      | 97,7         | 0,561 $\pm$ 0,04 | 98,6         | 0,112 $\pm$ 0,01 | 98,6         |
|                                          | <b>5mM</b> | 1,146 $\pm$ 0,08                                                      | 99,9         | 0,012 $\pm$ 0,00 | 99,9         | 0,007 $\pm$ 0,00 | 99,9         |
| <b>Ácido benzóico</b>                    | <b>1mM</b> | 8,334 $\pm$ 0,71                                                      | 42,8         | 19,86 $\pm$ 1,56 | 52,2         | 5,342 $\pm$ 0,94 | 31,7         |
|                                          | <b>5mM</b> | 6,463 $\pm$ 0,48                                                      | 55,7         | 16,96 $\pm$ 0,74 | 59,2         | 4,373 $\pm$ 0,69 | 44,1         |
| <b>Azida sódica</b>                      | <b>1mM</b> | 0,095 $\pm$ 0,02                                                      | 99,3         | 8,107 $\pm$ 0,44 | 80,5         | 0,615 $\pm$ 0,13 | 92,1         |
|                                          | <b>5mM</b> | 0,017 $\pm$ 0,00                                                      | 99,9         | 0,415 $\pm$ 0,04 | 99           | 0,202 $\pm$ 0,04 | 97,4         |

**Tabela 3.** Efeito de inibidores sobre a atividade da polifenoloxidase de polpa de batata-doce. Cada valor é a média de quatro repetições  $\pm$  erro padrão.

|                         |     | Atividade da polifenoloxidase (UA min mg <sup>-1</sup> proteína) |              |                   |              |                   |              |
|-------------------------|-----|------------------------------------------------------------------|--------------|-------------------|--------------|-------------------|--------------|
|                         |     | BRS Amélia                                                       |              | BRS Rubissol      |              | BRS Cuia          |              |
| Tratamentos             |     | Atividade                                                        | Inibição (%) | Atividade         | Inibição (%) | Atividade         | Inibição (%) |
| Controle                |     | 1,102 $\pm$ 0,034                                                | 0            | 0,673 $\pm$ 0,066 | 0            | 1,313 $\pm$ 0,157 | 0            |
| Ácido L-ascórbico       | 1mM | 0,027 $\pm$ 0,001                                                | 97,5         | 0,049 $\pm$ 0,002 | 96,1         | 0,036 $\pm$ 0,006 | 97,2         |
|                         | 5mM | 0,018 $\pm$ 0,001                                                | 98,4         | 0,044 $\pm$ 0,001 | 96,5         | 0,026 $\pm$ 0,002 | 98           |
| Bissulfito de sódio     | 1mM | 0,015 $\pm$ 0,001                                                | 98,6         | 0,025 $\pm$ 0,001 | 98           | 0,035 $\pm$ 0,008 | 97,3         |
|                         | 5mM | 0,007 $\pm$ 0,000                                                | 99,3         | 0,017 $\pm$ 0,001 | 98,6         | 0,024 $\pm$ 0,005 | 98,1         |
| L-Cisteína              | 1mM | 0,047 $\pm$ 0,004                                                | 95,7         | 0,069 $\pm$ 0,003 | 94,4         | 0,041 $\pm$ 0,007 | 96,9         |
|                         | 5mM | 0,024 $\pm$ 0,001                                                | 97,8         | 0,024 $\pm$ 0,002 | 98,1         | 0,018 $\pm$ 0,003 | 98,6         |
| $\beta$ -metapto etanol | 1mM | 0,029 $\pm$ 0,001                                                | 97,3         | 0,022 $\pm$ 0,001 | 98,2         | 0,029 $\pm$ 0,003 | 97,8         |
|                         | 5mM | 0,017 $\pm$ 0,001                                                | 98,5         | 0,018 $\pm$ 0,001 | 98,5         | 0,017 $\pm$ 0,003 | 98,6         |
| Ácido benzóico          | 1mM | 0,471 $\pm$ 0,018                                                | 57,3         | 0,243 $\pm$ 0,007 | 80,7         | 0,467 $\pm$ 0,053 | 64,4         |
|                         | 5mM | 0,238 $\pm$ 0,011                                                | 78,4         | 0,158 $\pm$ 0,002 | 87,4         | 0,290 $\pm$ 0,041 | 77,8         |
| Tropolone               | 1mM | 0,177 $\pm$ 0,006                                                | 83,9         | 0,172 $\pm$ 0,005 | 86,3         | 0,161 $\pm$ 0,028 | 87,7         |
|                         | 5mM | 0,137 $\pm$ 0,007                                                | 87,5         | 0,136 $\pm$ 0,001 | 89,1         | 0,104 $\pm$ 0,001 | 92           |

**Tabela 4.** Efeito de inibidores sobre a atividade da polifenoloxidase de casca de batata-doce. Cada valor é a média de quatro repetições  $\pm$  erro padrão.

|                         |     | Atividade da polifenoloxidase (UA min mg <sup>-1</sup> proteína) |              |                   |              |                   |              |
|-------------------------|-----|------------------------------------------------------------------|--------------|-------------------|--------------|-------------------|--------------|
|                         |     | BRS Amélia                                                       |              | BRS Rubissol      |              | BRS Cuia          |              |
| Tratamentos             |     | Atividade                                                        | Inibição (%) | Atividade         | Inibição (%) | Atividade         | Inibição (%) |
| Controle                |     | 2,403 $\pm$ 0,280                                                | 0            | 8,328 $\pm$ 0,645 | 0            | 1,621 $\pm$ 0,080 | 0            |
| Controle                | 1mM | 0,024 $\pm$ 0,003                                                | 99           | 0,032 $\pm$ 0,002 | 99,6         | 0,017 $\pm$ 0,001 | 98,9         |
| Ácido L-ascórbico       | 5mM | 0,015 $\pm$ 0,002                                                | 99,4         | 0,015 $\pm$ 0,001 | 99,8         | 0,008 $\pm$ 0,001 | 99,5         |
|                         | 1mM | 0,014 $\pm$ 0,002                                                | 99,4         | 0,024 $\pm$ 0,002 | 99,7         | 0,019 $\pm$ 0,002 | 98,8         |
| Bissulfito de sódio     | 5mM | 0,009 $\pm$ 0,000                                                | 99,6         | 0,016 $\pm$ 0,001 | 99,8         | 0,007 $\pm$ 0,001 | 99,5         |
|                         | 1mM | 0,043 $\pm$ 0,003                                                | 98,3         | 0,067 $\pm$ 0,006 | 99,2         | 0,020 $\pm$ 0,002 | 98,7         |
| L-Cisteína              | 5mM | 0,024 $\pm$ 0,002                                                | 99           | 0,030 $\pm$ 0,002 | 99,6         | 0,010 $\pm$ 0,001 | 99,3         |
|                         | 1mM | 0,039 $\pm$ 0,004                                                | 98,4         | 0,047 $\pm$ 0,004 | 99,4         | 0,017 $\pm$ 0,001 | 98,9         |
| $\beta$ -metapto etanol | 5mM | 0,020 $\pm$ 0,003                                                | 99,2         | 0,033 $\pm$ 0,001 | 99,6         | 0,011 $\pm$ 0,001 | 99,3         |
| Ácido benzóico          | 1mM | 1,707 $\pm$ 0,095                                                | 31,5         | 4,309 $\pm$ 0,172 | 48,2         | 1,427 $\pm$ 0,062 | 11,9         |
|                         | 5mM | 1,199 $\pm$ 0,070                                                | 51,9         | 3,023 $\pm$ 0,233 | 63,7         | 1,213 $\pm$ 0,025 | 25,1         |
|                         | 1mM | 1,272 $\pm$ 0,082                                                | 49           | 1,610 $\pm$ 0,082 | 80,6         | 0,989 $\pm$ 0,017 | 38,9         |
| Tropolone               | 5mM | 1,039 $\pm$ 0,043                                                | 58,3         | 1,197 $\pm$ 0,039 | 85,6         | 0,833 $\pm$ 0,050 | 48,6         |

## CONCLUSÕES

A temperatura ótima para atividade da POD na casca e polpa foi 30 °C e 30-40 °C, respectivamente. A temperatura ótima para atividade da PPO na casca e polpa foi 60-70 °C e 40-50 °C, respectivamente. A faixa ótima de pH para POD na casca e polpa foi de 4,5-6,0 e 6,0-7,0, respectivamente. A faixa ótima de pH para PPO na casca e polpa foi de 6,0-6,5 e 4,5-5,0, respectivamente. A catequina foi o melhor substrato para reação da PPO na casca de todas as cultivares, e na polpa a catequina foi melhor em BRS Rubissol e 4-metilcatecol foi o melhor substrato para BRS Amélia e Cuia. Ácido *L*-ascórbico e  $\beta$ -mercaptoetanol foram os melhores inibidores da POD da casca e polpa, independentemente da cultivar. Bissulfito de sódio,  $\beta$ -mercaptoetanol, ácido *L*-ascórbico e *L*-cisteína foram os melhores inibidores da PPO da casca e polpa de todas as cultivares. A atividade enzimática foi maior na casca das raízes tuberosas devido a maior quantidade de compostos fenólicos. As reações enzimáticas relacionadas ao escurecimento enzimático foram mais expressivas na cv. BRS Rubissol e menores na cv. BRS Cuia.

## REFERÊNCIAS

- ALYWARD, F.; HAISMAN, D.R. Oxidation system in fruits and vegetables-their relation to the quality of pressured products. *Advances in Food Research*, v.17, p.1-76, 1969. [https://doi.org/10.1016/S0065-2628\(08\)60308-0](https://doi.org/10.1016/S0065-2628(08)60308-0)
- ANGELO, P.M.; JORGE, N. Compostos fenólicos em alimentos – uma breve revisão. *Revista Instituto Adolfo Lutz*, v.66, n.1, p.1-9, 2007.
- ARAÚJO, J.M.A. Química de alimentos: teoria e prática. 4.ed. Viçosa: Ed. UFV, 2008. 596p.
- ARAÚJO, S.; FIGUEIREDO, R.W. Otimização do tratamento ácido do yacon para inativação das polifenoloxidasas com manutenção de suas propriedades funcionais. *Brazilian Journal of Food Technology*, v.21, p.1-7, 2018. <http://dx.doi.org/10.1590/1981-6723.06316>
- ARSLAN, O.; TOZLU, I. Substrate specificity, heat inactivation and inhibition of polyphenoloxidase from *Anethum graveolens* L. *Italian Journal of Food Science*, v.9, n.3, p.249-253, 1997.
- AYAZ, F.A.; DEMIR, O.; TORUN, H.; KOLCUOGLU, Y.; COLAK, A. Characterization of polyphenoloxidase (PPO) and total phenolic contents in medlar (*Mespilus germanica* L.) fruit during ripening and over ripening. *Food Chemistry*, v.106, n.1, p.291-298, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.05.096>

- BARTHET, V.J. Polyphenol oxidases from cassava (*Manihot esculenta* C.) root: extraction, purification and characterization. *Journal of Food Science and Agricultural Chemistry*, v.4, p.179-198, 1997.
- BARTZ, J.A.; BRECHT, J.K. (Ed.). Fresh-Cut vegetables. In: *Postharvest physiology and pathology of vegetables*. p.691-712. Boca Raton, Flórida: Ed. CRC Press, 2002.
- BENJAMIN, N.D; MONTGOMERY, M.W. Polyphenol oxidase of royal ann cherries: purification and characterization. *Journal of Food Science*, v.38, p.799-806, 1973. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1973.tb02079.x>
- BRADFORD, M.M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, v.72, n.1-2, p.248-254, 1976. [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(76\)90527-3](https://doi.org/10.1016/0003-2697(76)90527-3)
- CASTILLO, L.; ALPEEVA, I.S.; CHUBAR, T.A.; GALAEV, I.; CSOREGI, E.; SAKHAROV, I. Purification and substrate of peroxidase from sweet potato tubers. *Plant Science*, v.163, n.5, p.1011-1019, 2002. [https://doi.org/10.1016/S0168-9452\(02\)00275-3](https://doi.org/10.1016/S0168-9452(02)00275-3)
- CEREDA, M. P.; VILPOUX, O. F. Conservação de raízes. In: CEREDA, M. P.; VILPOUX, O. F. *Tecnologia, usos e potencialidades de tuberosas amiláceas sul americanas*. 3.ed., cap.1, p.13-29. São Paulo: Fundação Cargill, 2003.
- CHITARRA, M.I.F. *Processamento mínimo de frutas e hortaliças*. Lavras: UFLA/FAEPE, 2000. 113p.
- DUANGMAL, K.; APENTEN, R.K.O. A comparative study of polyphenoloxidases from taro (*Colocasia esculenta*) and potato (*Solanum tuberosum* var. Romano). *Food Chemistry*, v.64, n.3, p.351-359, 1999. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(98\)00127-7](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(98)00127-7)
- DUARTE-VÁSQUEZ, M.A.; GARCÍA-ALMENDÁREZ, B.; REGALADO, C.; WHITAKER, J.R. Purification and partial characterization of three turnip (*Brassica napus* L. var. *esculenta* D.C.) peroxidases. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v.48, p.1574-1579, 2000. <https://doi.org/10.1021/jf990454j>
- FENNEMA, O.R.; DAMODARAN, S.; PARKIN, K.L. *Química de alimentos de Fennema*. 4 ed. Porto Alegre: Artmed, 2010. 900p.
- GALEAZZI, M.A.M.; SGARBIERI, V.C. Substrate specificity and inhibition of polyphenoloxidase (PPO) from a dwarf variety of banana (*Musa cavendishii*, L.). *Journal of Food Science*, v.46, n.5, p.1404-1406, 1981. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1981.tb04184.x>

- GÓMEZ-LÓPEZ, V. M. Some biochemical properties of polyphenol oxidase from two varieties of avocado. Food Chemistry, v.77, n.2, p.163-169, 2002. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(01\)00331-4](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(01)00331-4)
- GOULART, P.B.; XAVIER, A.; DIAS, J.M.M. Efeito de antioxidantes no enraizamento de miniestacas de clones de *Eucalyptus Grandis* X *E. Urophylla*. Revista Árvore, v.34, n.6, p.961-972, 2010. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622010000600001>
- GUVEN, R.G.; GUVEN, k.; BEKLER, F.M; ACER, O.; ALKAN, H.; DOGRU, M. Purification and characterization of polyphenol oxidase from purslane. Food Science and Technology, v.37, n.3, p.356-362, 2017. <http://dx.doi.org/10.1590/1678-457X.03216>
- HAARD, N.F.; TOBIN, L. Patterns of soluble peroxidase in ripening banana fruit. Journal of Food Science, v.36, n.6, p.854-857, 1971. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1971.tb15543.x>
- HEIDRICH, E.; LORENZ, G.; SCHREIER, P. Ultrathin – layer isoelectric focusing of partially purified peroxidase from tomato fruit. Food Chemistry, v.10, n.4, p.285-296, 1983. [https://doi.org/10.1016/0308-8146\(83\)90084-5](https://doi.org/10.1016/0308-8146(83)90084-5)
- HEMACHANDRAN, H.; ANANTHARAMAN, A.; MOHAN, S.; MOHAN, G.; KUMAR, D.T.; DEY,D.; KUMAR, D.; DEY, P.; CHOUDHURY, C.G.; DOSS, C.G.P.; RAMAMOORTHY, S. Unraveling the inhibition mechanism of cyanidin-3- sophoroside on polyphenol oxidase and its effect on enzymatic browning of apples. Food Chemistry, v.227, p.102-110, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.01.041>
- HIRAGA, S.; SASAKI, K.; ITO, H.; OHASHI, Y.; MATSUI, H. A large family of class III plant peroxidases. Plant Cell Physiology, v.42, n.5, p.462-468, 2001.
- JUNQUEIRA, M. S.; SOARES, N. F. F.; REIS, R. C.; CARNEIRO, J. D. S.; BENÍCIO, R. T.; YOKOTA, R. C. Efeito de embalagens ativas no escurecimento enzimático de batatas (*Solanum tuberosum*) fatiadas e minimamente processadas. Semina: Ciências Agrárias, v.30, n.3, p.613-618, 2009. <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2009v30n3p613>
- KARSTEN, J.; CHAVES, D.V.; FINGER, F.L.; BARBOSA, J.G. Papel e caracterização da polifenoloxidase em hastes de ave-do-paráíso (*Strelitzia reginae* Ait.). Ornamental Horticulture, v.19, n.2, p.161-171, 2013. <http://dx.doi.org/10.14295/rbho.v19i2.462>
- KASPERA, R.; McCUE, P.; SHETTY, K. Partial purification of a basic guaiacol peroxidase from fava bean (*Vicia faba* L.): characterization of enzyme stability following elicitor treatment. Food Biotechnology, v.15, n.2, p.99-111, 2001. <https://doi.org/10.1081/FBT-100106831>
- KHAN, A.A.; ROBINSON, D.S. Hydrogen donor specifity of mango isoperoxidases. Food Chemistry, v.49, n.4, p.407-410, 1994.

- KIATTISAK, D.; RICHARD, K.; OWUSU, A. A comparative study of polyphenol oxidases from taro (*Colocasia esculenta*) and potato (*Solanum tuberosum* var. Romano). *Journal of Food Chemistry*, v.64, p.351-359, 1999. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(98\)00127-7](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(98)00127-7)
- KUMAR, V.B.A.; MOHAN, T.C.K.; MURUGAN, K. Purification and kinetic characterization of polyphenol oxidase from Barbados cherry (*Malpighia glabra* L.). *Food Chemistry*, v.110, n.2, p.328-333, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.02.006>
- LOURENÇO, E.J.; NEVES, V.A.; DA SILVA, M.A. Polyphenoloxidase from sweet potato: Purification and properties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v.40, n.12, p.2369-2373, 1992. <https://doi.org/10.1021/jf00024a009>
- MANOHAN, D.; WAI, W.C. Characterization of Polyphenol Oxidase in Sweet Potato (*Ipomoea Batatas* (L.)). *Journal for the Advancement of Science & Arts*, v.3, n.1, p.14-31, 2012.
- MARTÍNEZ, G.A.; CIVELLO, P.M.; CHAVEZ, A.R.; ANÓN, M.C. Characterization of peroxidase-mediated chlorophyll bleaching in strawberry fruit. *Phytochemistry*, v.58, p.379-387, 2001.
- MAYER, A.; HAREL, E. Polyphenol oxidases in plants. *Phytochemistry*, v.18, p.193-215, 1979.
- MENOLLI, L.N.; FINGER, F.L.; PUIATTI, M.; BARBOSA, J.M.; RARROS, R.S. Atuação das enzimas oxidativas no escurecimento causado pela injúria por frio em raízes de batata-baroa. *Acta Scientiarum Agronomy*, v.30, p.57-63, 2008. <http://dx.doi.org/10.4025/actasciagron.v30i1.1129>
- NEVES, V. A.; DA SILVA, M.A. Polyphenol oxidase from yacon roots (*Smallanthus sonchifolius*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v.55, n.6, p.2424-2430, 2007. <https://doi.org/10.1021/jf063148w>
- NICOLAS, J. J.; RICHARD-FORGET, F. C.; GOUPY, P. M.; AMIOT, M. J.; AUBERT, S. Y. Enzymatic browning reaction in apple and apple products. *Critical Review of Food Science and Nutrition*, v.34, n.2, p.109-157, 1994. <https://doi.org/10.1080/10408399409527653>
- OLIVEIRA CARVALHO, J.; ORLANDA, J.F.F. Heat stability and effect of pH on enzyme activity of polyphenol oxidase in buriti (*Mauritia flexuosa* Linnaeus f.) fruit extract. *Food Chemistry*, v.233, p.159-163, 2017. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.04.101>
- PASSARDI, F.; COSIO, C.; PENDEL, C.; DUNAND, C. Peroxidases have more functions than a Swiss army knife. *Plant Cell Reports*, v.24, n.5, p.255-265, 2005. <https://doi.org/10.1007/s00299-005-0972-6>

- PERONE, C.A.S.; QUEIROZ A.S.; DALOSSO, V.M.; MOREIRA, M.E.M. Purificação parcial e caracterização cinética da enzima Polifenol oxidase de banana nanica (*Musa acuminata*). Revista do Instituto de Ciências da Saúde, v.25, n.3, p.239- 246, 2007.
- PERONE, C.A.S.; CAPOBIANCO, M.P.; PAPARELI JUNIOR, S. Caracterização cinética da enzima polifenol oxidase, usando extrato bruto da casca de banana nanica (*Musa acuminata*). Revista do Instituto de Ciências da Saúde, v.26, n.2, p.201-206, 2008.
- POLESEL, D.N.; SINHORINI, A.L.C.; PERONE, C.A.S. Caracterização cinética da enzima catecolase (Polifenol oxidase) em extratos brutos da polpa e da casca de berinjela (*Solanum melongena* L.). Journal of Health Sciences Institute, v.28, n.2, p.175-80, 2010.
- RAMOS, P.A.S; SEDIYAMA, 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. <http://dx.doi.org/10.1590/S1981-67232013005000018>
- RAPEANU, G.; VAN LOEY, A.; SMOUT, C.; HENDRICKX, M. Biochemical characterization and process stability of polyphenoloxidase extracted from Victoria grape (*Vitis vinifera* ssp. Sativa). Food Chemistry, v.94, n.2, p.253-261, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.10.058>
- REDONDO, D.; VENTURINI, M.E.; ORIA, R.; ARIAS, E. Inhibitory effect of microwaved thinned nectarine extracts on polyphenol oxidase activity. Food chemistry, v.197, p.603-610, 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.11.009>
- RICHARD-FORGET, F.C.; GOUPY, P.M.; NICOLAS, J.J. Cysteine as an inhibitor of enzymatic browning. 2. kinetic studies. Journal of Agricultural and Food Chemistry, v.40, n.11, p.2.108-2.113, 1992. <http://dx.doi.org/10.1021/jf00023a014>
- RICHARDSON, T.; HYSLOP, D. B. Enzimas. In: FENNEMA, O. R. (Dir.) Química de los alimentos. p.501-503. Zaragoza: Acríbia, 2000.
- ROULLIER, C.; KAMBOUO, R.; PAOFA, J.; McKEY, D.; LEBOT, V. On the origin of sweet potato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.) genetic diversity in New Guinea, a secondary centre of diversity. Heredity, v.110, n.6, p.594-604, 2013. <https://doi.org/10.1038/hdy.2013.14>
- RUDRAPPA, T.; LAKSHMANAN, V.; KAUNAIN, R.; SINGARA, N.M.; NEELWARNE, B. Purification and characterization of an intracellular peroxidase from genetically transformed roots of red beet (*Beta vulgaris* L.). Food Chemistry, v.105, n.3, p.1312-1320, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.04.050>

- SAKIROGLU, H.; YILMAZ, E.; ERAT, M.; ÖZTÜRK, A.E. Selected properties of polyphenol oxidase obtained from ispir sugar bean. *International Journal of Food Properties*, v.16, n.6, p.1314-1321, 2013. <http://dx.doi.org/10.1080/10942912.2011.584258>
- SARIRI, R.; SAJEDI, R.H.; JAFARIAN, V. Inhibition of horseradish peroxidase activity by thiol type inhibitors. *Journal of Molecular Liquids*, v.123, n.1, p.20-23, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2005.05.004>
- SELLÉS-MARCHART, S.; CASADO-VELA, J.; BRU-MARTINEZ, R. Isolation of a latent polyphenol oxidase from loquat fruit (*Eriobotrya japonica* Lindl.): Kinetic characterization and comparison with the active form. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, v.446, n.2, p.175-185, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.abb.2005.12.004>
- SERRADELL, M.A.; ROZENFELD, P.A.; MARTÍNEZ, G.A.; CIVELLO, P.M.; CHAVES, A.R.; AÑÓN, M.C. Polyphenoloxidase activity from strawberry fruit (*Fragaria x ananassa*, Duch., cv Selva): characterisation and partial purification. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, v.80, p.1421-1427, 2000. [https://doi.org/10.1002/1097-0010\(200007\)80:9<1421::AID-JSFA649>3.0.CO;2-K](https://doi.org/10.1002/1097-0010(200007)80:9<1421::AID-JSFA649>3.0.CO;2-K)
- SERRANO-MARTÍNEZ, A.; FORTEA, M.I.; DEL AMOR, F.M.; NÚÑEZ-DELICADO, E. Kinetic characterization and thermal inactivation study of partially purified red pepper (*Capsicum annuum* L.) peroxidase. *Food Chemistry*, v.107, n.1, p.193-199, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.08.028>
- SHETH, S.G.; DESAI, K.D.; PATIL, S.J.; NAVYA, K.; CHAUDHARI VIBHUTI, L. Effect of integrated nutrient management on growth, yield and quality of sweet potato [*Ipomoea batatas* (L.) Lam]. *International Journal of Chemical Studies*, v.5, n.4, p.346-349, 2017.
- SILVA, M.V.; ROSA, C.I.L.F.; VILAS BOAS, E.V.B. Conceitos e métodos de controle do escurecimento enzimático no processamento mínimo de frutas e hortaliças. *Boletim CEPPA*, v.27, n.1, p.83-96, 2009. <http://dx.doi.org/10.5380/cep.v27i1.14955>
- TANAKA, M.; ISHIGURO, K.; OKI, T.; OKUNO, S. Functional components in sweetpotato and their genetic improvement. *Breeding Science*, v.67, n.1, p.52-61, 2017. <https://doi.org/10.1270/jsbbs.16125>
- TAYEFI-NASRABADI, H.; DEHGHAN, G.; DAEIHASSANI, B.; MOVAFEGI, A.; SAMADI, A. Some biochemical properties of guaiacol peroxidases as modified by salt stress in leaves of salt-tolerant and salt-sensitive safflower (*Carthamus tinctorius* L.cv.) cultivars. *African Journal of Biotechnology*, v.10, n.5, p.751-763, 2011.
- TEREFE, N.S.; BUCKOW, R.; VERSTEEG, C. Quality-related enzymes in fruit and vegetable products: effects of novel food processing technologies, part 1: high-

pressure processing. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, v.54, n.1, p.24- 63, 2014. <http://dx.doi.org/10.1080/10408398.2011.566946>

VALDERRAMA, P.; MARANGONI, F.; CLEMENTE, E. Efeito do tratamento térmico sobre a atividade de peroxidase (POD) e polifenoloxidase (PPO) em maçã (*Mallus comunis*). *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v.21, n.3, p.321-325, 2001. <http://dx.doi.org/10.1590/S0101-20612001000300012>

VOET, D.; VOET, J.G.; PRATT, C.W. Enzimas. In: BASSO, L.A. (ed.) *Fundamentos de Bioquímica*. p.279–349. Porto Alegre: Artmed, 2002.

YUE-MING, J.; ZAUBERMAN, G.; FUCHS, Y. Partial purification and some properties of polyphenol oxidase extracted from litchi fruit pericarp. *Postharvest Biology and Technology*, v.10, n.3, p. 221- 228, 1997. [https://doi.org/10.1016/S0925-5214\(96\)01404-4](https://doi.org/10.1016/S0925-5214(96)01404-4)

ZAWISTOWSKI, J.; BILLIADERIS, C.G.; MURPLY, E.D. Purification and characterization of Jerusalem Artichoke (*Helianthus Tuberosus* L) polyphenol oxidase. *Journal of Food Biochemistry*, v.12, n.1, p.1-22, 1988. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4514.1988.tb00133.x>

**Efeito de conservantes químicos na redução do escurecimento de batata-doce cv.  
BRS Cuia minimamente processada e armazenada a 5 °C**

**RESUMO**

A qualidade pós-colheita de raízes de batata-doce é reduzida pelo apodrecimento, brotação e perda de massa. O processamento mínimo é uma alternativa para reduzir as perdas e agregar valor, porém a batata-doce é altamente suscetível ao escurecimento enzimático. O objetivo foi avaliar o efeito de conservantes químicos na redução do escurecimento em batata-doce cv. BRS Cuia minimamente processada e armazenada a 5° C. As raízes foram lavadas, sanitizadas, descascadas, fatiadas e imersas em água deionizada (controle) ou em soluções de ácido cítrico ou pirofosfato de sódio a 5%, embaladas em ziplock e armazenadas a 5 °C. A perda de massa foi menor nas raízes tratadas com ácido cítrico. A firmeza dos produtos aumentou em todos os tratamentos durante o tempo de armazenamento. Os sólidos solúveis e pH decresceram, a acidez titulável aumentou e a fração de fenóis solúveis não diferiu durante armazenamento. A atividade da peroxidase e polifenoloxidase diminuiu durante o armazenamento. O índice de escurecimento foi menor nas raízes tratadas com ácido cítrico. O tratamento com ácido cítrico reduziu o escurecimento em batata-doce cv. BRS Cuia minimamente processada e armazenada a 5° C.

**Palavras-chave:** análises químicas; armazenamento; escurecimento enzimático; *Ipomoea batatas*; pós-colheita.

**Effect of chemical preservatives on reduction of browning in sweet potato cv.  
BRS Cuia minimally processed and stored at 5 °C**

**ABSTRACT**

Post-harvest quality of sweet potato roots is reduced by rotting, sprouting and mass loss. Minimal processing is an alternative to reduce losses and aggregate value, but sweet potatoes are highly susceptible to enzymatic browning. The objective was to evaluate the effect of chemical preservatives on the reduction of browning in sweet potato cv. BRS Cuia minimally processed and stored at 5 °C. The roots were washed, sanitized, peeled, sliced and dipped in deionized water (control) or into solutions of

citric acid or sodium pyrophosphate, packed in ziplock and stored at 5 °C. Mass loss was lower in roots treated with citric acid. Firmness of the products increased in all treatments during storage time. Soluble solids and pH decreased, the titratable acidity increased and the soluble phenol fraction did not differ during storage. Peroxidase and polyphenoloxidase activity decreased during storage. The browning index was lower in roots treated with citric acid. Citric acid treatment reduced browning in sweet potato cv. BRS Cuia minimally processed and stored at 5° C.

**Keywords:** chemical analysis; storage; enzymatic browning; *Ipomoea batatas*; postharvest.

## INTRODUÇÃO

A batata-doce é considerada um alimento promotor da saúde, uma vez que suas raízes tuberosas possuem atividades antioxidantes, antimutagênicas, antihepatotóxicas, efeitos antidiabéticos, entre outras (Islam, 2016; Tanaka et al., 2017). Apesar de ser importante para o país, ainda é muito negligenciada pelo setor agrícola, embora esse cenário venha mudando nos últimos anos devido ao aumento do consumo e consequentemente o interesse em pesquisar essa cultura (Vargas et al., 2017). A produção atual de batata-doce comercial BRS Cuia pode chegar a 60 toneladas por hectare, sendo excelente para consumo doméstico e processamento industrial (Castro & Becker, 2011).

Vários produtos são minimamente processados, como por exemplo, batatas, mandioca, inhame (Freire et al., 2014; Simões et al., 2016; Ierna et al., 2017). O processamento mínimo de batata-doce supre os setores de serviços alimentícios e de varejo, porém o escurecimento enzimático é um dos problemas mais significativos (Moretti et al., 2002).

O escurecimento reduz a qualidade do produto e leva ao desenvolvimento de sabores desagradáveis e perdas na qualidade nutricional (Haminiuk et al., 2005). Este processo ocorre em resposta ao estresse oxidativo causado pelo corte, como resultado da descompartimentação de substratos e enzimas oxidativas, juntamente com a maior exposição dos tecidos ao oxigênio (Yildiz, 2017). A polifenoloxidase (PPO) e a peroxidase (POD) são as principais enzimas que produzem polímeros de cor amarronzada pela oxidação dos compostos fenólicos, em que a atividade da POD pode ter uma ação sinérgica com PPO; quanto maior a oxidação de compostos

fenólicos solúveis pela PPO, maior a produção de peróxido de hidrogênio que é um substrato para POD (Terefe et al., 2014).

O uso de antioxidantes ou agentes anti-escurecimento podem controlar o escurecimento (Pineli et al., 2005). Os agentes inibidores são antioxidantes que conferem proteção contra o estresse oxidativo, pois o corte promove a produção de espécies reativas de oxigênio (Moreira-Rodríguez et al., 2017). A eficiência dos inibidores depende do pH, atividade de água, temperatura, luz, atmosfera e conteúdo de metal pesado (Lindley, 1998).

O ácido cítrico é um dos principais ácidos orgânicos naturais em frutas que previne o escurecimento enzimático (Cardoso, 2007). É um dos aditivos mais utilizados na indústria de alimentos por ser relativamente barato, por tratar-se de um ácido forte pode ser utilizado como antioxidante e quelante (Baruffaldi & Oliveira, 1998). O pirofosfato de sódio é um sal cristalino do ácido pirofosfórico ( $\text{Na}_2\text{H}_2\text{P}_2\text{O}_7$ ) que é usado em muitos produtos alimentícios por ser um bom agente de acidificação (McEvily et al., 1992), é considerado um tratamento anti-escurecimento efetivo, substituindo sulfitos usados anteriormente (Taylor et al., 1986). Atualmente, é muito usado em batatas, mas também tem sido estudado pelo seu potencial em inibir a atividade da PPO de muitas frutas e vegetais (McEvily et al., 1992).

O objetivo foi avaliar o uso de conservantes químicos na redução do escurecimento em batata-doce cv. BRS Cuia minimamente processada e armazenada a 5 °C.

## MATERIAL E MÉTODOS

**Obtenção das mudas e caracterização da área experimental:** as mudas de batata-doce cv. BRS Rubissol foram adquiridas da empresa Frutplan (Pelotas, Rio Grande do Sul, Brasil). As mesmas foram cultivadas seguindo um padrão de práticas comerciais (calagem para o plantio com 100 g/m<sup>2</sup> de calcário; adubação de plantio com 100 g/m<sup>2</sup> de NPK 8-28-16; adubação com 50 g/m<sup>2</sup> de NPK 8-28-16 cada 30 dias e irrigação contínua com uso de aspersores) durante seis meses em campo experimental da Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, Minas Gerais, Brasil (20° 45' 20'' S e 42° 52' 40'' W, 651 m de altitude).

**Colheita das raízes e preparo das amostras:** a colheita foi manual e raízes foram selecionadas (raízes isentas de doença e dano aparente) e padronizadas (massa

entre 300-700 g). Foi realizada a caracterização da batata-doce em uma amostra de 10 raízes tuberosas, avaliando as seguintes características: diâmetros transversais e longitudinais (DT e DL) - mensurados em paquímetro digital com resultados expressos em milímetros; razão DT/DL – razão entre as variáveis previamente determinadas; massa das raízes – determinada em balança analítica com resultados expressos em gramas; porcentagem de rendimento das raízes – massa da polpa em relação à massa total e volume – determinado a partir do deslocamento de água em proveta graduada com resultados expressos em cm<sup>3</sup>. No preparo das amostras analíticas, as raízes foram lavadas em água corrente por 2 minutos, sanitizadas em solução de hipoclorito de sódio (200 mg.L<sup>-1</sup>) por 5 minutos, descascadas e cortadas manualmente com auxílio de faca em fatias de aproximadamente 10 mm de espessura. As fatias foram novamente lavadas em água corrente por 1 minuto e enxaguadas em solução de hipoclorito de sódio (20 mg.L<sup>-1</sup> de cloro).

**Procedimento experimental:** as raízes foram submetidas aos seguintes tratamentos: controle (imersão em água deionizada); imersão em solução de ácido cítrico 5% - AC (Sigma-Aldrich, St. Louis, Mo) e imersão em solução de pirofosfato de sódio 5% - PS (Sigma-Aldrich, St. Louis, Mo). O excesso de água das fatias foi drenado por 5 minutos e em seguida foram acondicionadas em embalagens plásticas tipo ziplock com capacidade de 250 mL e armazenadas a 5 °C. Durante o processamento dos produtos foram utilizados utensílios previamente higienizados. Posteriormente foram realizadas as análises descritas a seguir:

**Análises físicas:** perda de massa fresca acumulada foi determinada em balança analítica de 1200g com precisão de 0,1g (Bel Engineering M1003), os resultados foram expressos em porcentagem. A textura foi determinada em penetrômetro analógico com ponteira de 8 mm, sendo os resultados expressos em Newtons.

**Análises químicas da polpa:** sólidos solúveis - o extrato macerado das raízes foi analisado em refratômetro digital (Hanna Instruments HI 96801). Os resultados foram expressos em °Brix (AOAC, 2012); pH - determinado em pHmetro de bancada (Digimed DM-22) (AOAC, 2012); acidez titulável - determinada por titulação com solução padronizada de hidróxido de sódio 0,1 M até a amostra

alcançar pH 8,1. Os resultados foram expressos em g ácido cítrico.100 g<sup>-1</sup> MF (AOAC, 2012). Fração de fenóis solúveis - determinada a partir do extrato etanólico utilizado na quantificação de açúcares redutores. O método de Follin-Ciocalteu foi utilizado na quantificação (Fu et al., 2010), usando ácido gálico 0,0125% como solução padrão. A leitura foi feita em espectrofotômetro Genesys 10S UV-VIS (Thermo Scientific, Massachusetts, EUA) em 760 nm e os resultados expressos em mg ácido gálico.g<sup>-1</sup> MF.

**Atividades enzimáticas da polpa:** a atividade da peroxidase foi baseada em método descrito por Khan e Robinson (1991) adaptado por Ramos et al. (2013), em que 0,1 mL de extrato enzimático foi adicionado ao meio de reação contendo 0,5 mL de peróxido de hidrogênio (1,80%), 0,5 mL de guaiacol (1,68%), 0,4 mL de água deionizada e 1,5 mL de tampão fosfato 0,1 M (pH 6,0). A atividade da polifenoloxidase foi baseada em método descrito por Benjamin & Montgomery (1973) adaptado por Karsten et al. (2013), em que 0,1 mL de extrato enzimático foi adicionado ao meio de reação contendo 0,5 mL de catequina (5 mM), 0,9 mL de água deionizada e 1,5 mL de tampão fosfato 0,1 M (pH 4,5). As reações foram quantificadas com base na alteração da absorbância em espectrofotômetro UV-1601 (Shimadzu, Quioto, Japão), em comprimento de onda 470 nm (peroxidase) e 420 nm (polifenoloxidase) a 25 °C, por 3 minutos. A atividade foi expressa em unidades de absorbância (UA) min<sup>-1</sup> mg<sup>-1</sup> de proteína. A concentração de proteínas totais foi determinada no extrato bruto utilizando albumina soro bovino como padrão (Bradford, 1976).

**Índice de escurecimento:** determinado com base em metodologia modificada de Meydav et al. (1977), em que amostras de 3 g de polpa foram imersas 15 mL de solução tampão fosfato de potássio (0,1 M, pH 6,5), posteriormente foram homogeneizadas em banho de gelo, filtradas em 4 camadas de gaze e centrifugadas a 14.000 g por 30 minutos a 4 °C. Dos sobrenadantes obtidos foram feitas leituras em espectrofotômetro Genesys 10S UV-VIS (Thermo Scientific, Massachusetts, EUA), em comprimento de onda 400 nm, em que a absorbância foi considerada um índice de escurecimento.

**Delineamento experimental e análise dos dados:** os dados foram analisados em delineamento inteiramente casualizado em esquema de parcela dividida, em que as parcelas correspondem aos tratamentos e as sub-parcelas aos tempos de armazenamento (0, 4, 8 e 12 dias), com cinco repetições, a unidade experimental foi composta por uma embalagem contendo cerca de 100 gramas de produto. Os resultados de perda de massa fresca foram submetidos à análise de regressão e as demais variáveis foram submetidas à análise de variância. Na regressão, os modelos foram escolhidos com base na significância dos coeficientes de regressão e o fenômeno biológico. Na análise de variância, as médias foram agrupadas critério de Scott Knott em nível de 5% de probabilidade. As análises estatísticas foram realizadas com software estatístico Sisvar (Ferreira, 2011) e para os gráficos foi utilizado o software SigmaPlot 10.0.

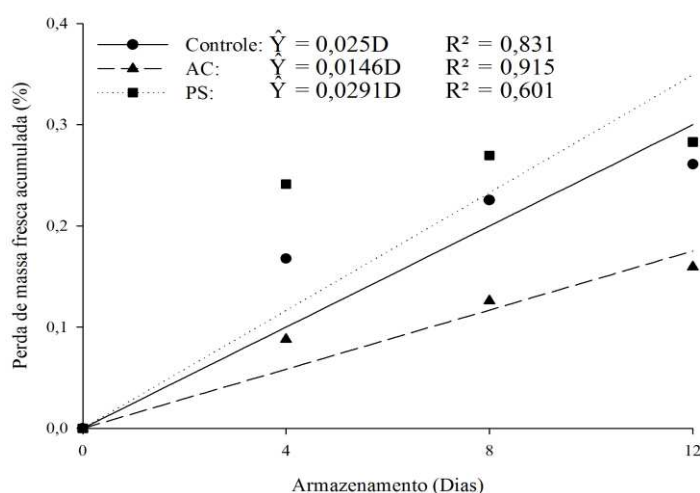
## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na caracterização inicial das raízes tuberosas, o diâmetro transversal (DT) e longitudinal (DL) foi de 72 e 131 mm, respectivamente. A razão DT/DL foi de 0,55. A massa fresca foi de 407,2 g. O rendimento das raízes foi de 83%. E o volume das raízes foi de 450 cm<sup>3</sup>. A razão DT/DL confirma o formato alongado das raízes, uma vez que razões DT/DL próximas de 1 os frutos são considerados esféricos, razões menores que 1 são oblongos e valores superiores a 1 são achatados (Pio, 2005).

Os resultados da caracterização estão de acordo com os dados de Castro & Becker (2011), que informam que raízes tuberosas da batata-doce cv. BRS Cuia apresentam características como casca e polpa na cor creme, boa uniformidade e forma redondo alongada, sendo excelente para consumo doméstico e processo industrial devido ao tamanho relativamente grande. Amaro et al. (2017) observaram valores de 317,1 g/raiz e índice de formato desuniforme para a cultivar BRS Cuia nas safras de 2013 e 2014 na região do Alto Paranaíba-MG. Essas variações podem ser em função de diferentes aspectos no desenvolvimento de mudas, condições experimentais e tratamentos culturais.

A perda de massa fresca acumulada mostrou acréscimos durante o armazenamento, porém foi baixa em todos os tratamentos avaliados, não ultrapassando 0,28% (Figura 1). Os resultados são menores que os obtidos Donegá et al. (2013) que observaram 0,8% de perda de massa fresca em inhame minimamente processado (MP), armazenado por 8 dias a 5 °C e embalado filme de PVC.

Os baixos valores de perda de massa fresca acumulada obtidos nesse estudo são devido ao uso de embalagens ziplock, que são menos permeáveis ao vapor de água e ao armazenamento em baixa temperatura (5 °C). Donegá et al. (2013) observaram que a embalagem teve influência na perda de massa, em que filme de cloreto de polivinila (PVC) foi mais permeável ao vapor de água. De acordo com Vitti et al. (2010) a baixa temperatura possibilita menor taxa respiratória e menor perda de massa do produto, permitindo a conservação de batatas das variedades ‘Ágata’, ‘Monalisa’ e ‘Asterix’ minimamente processadas, por até 9 dias a 5 °C.

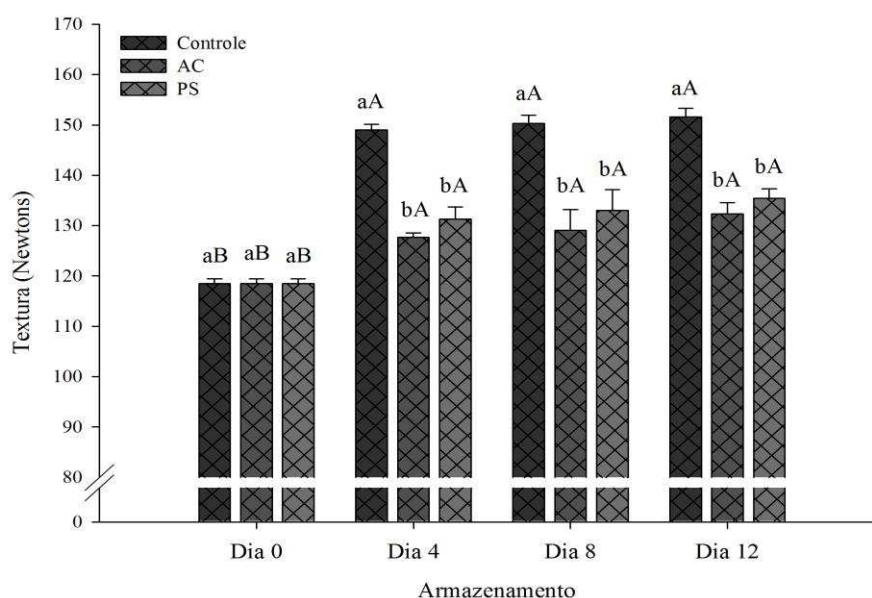


**Figura 1.** Perda de massa fresca acumulada em fatias de batata-doce (BRS Cuia) minimamente processadas e armazenadas a 5 °C por 12 dias. T1= Controle; T2: Ácido cítrico 5% e T3=Pirofosfato de sódio 5%.

Os valores de textura aumentaram durante o armazenamento, mostrando acréscimos de 27; 9 e 12% nos tratamentos controle, AC e PS, respectivamente. O controle mostrou maiores valores de textura, indicando maior firmeza devido à elevada lignificação da superfície das fatias de batata-doce MP (Figura 2). Os demais tratamentos conservaram melhor a textura, pois a presença de ácidos melhora a integridade de substâncias pécticas que estão envolvidas na preservação da textura (Kaaber et al., 2007).

A menor permeabilidade da embalagem ziplock ao  $O_2$  também pode atuar preservação da textura das fatias. Pineli et al. (2005) avaliaram a firmeza em batatas ‘Ágata’ minimamente processadas e verificaram incrementos ao longo do armazenamento, obtendo os melhores resultados nos produtos embalados à vácuo, confirmando haver uma relação inversa entre a tensão de  $O_2$  e a inibição e síntese de lignina e suberina, responsáveis pela cicatrização dos tecidos vegetais lesados.

A textura é o segundo fator de maior importância na qualidade dos produtos hortícolas, sendo controlada por fatores como a turgidez do tecido vegetal associada ao teor de água, ação de enzimas que alteram a conformação da parede celular (Abbot & Harker, 2004; Mercado-Silva & Aquino-Bolaños, 2005), teores de gordura, tipo e quantidade de carboidratos estruturais e proteínas (Fellows, 2006).



**Figura 2.** Textura em fatias de batata-doce (BRS Cuia) minimamente processadas e armazenadas a 5 °C por 12 dias. Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si nos tratamentos avaliados, e médias seguidas pela mesma letra maiúscula não diferem entre o período de armazenamento. As médias foram comparadas entre si pelo agrupamento de Scott Knott, a 5% de probabilidade. AC= ácido cítrico 5%; PS= pirofosfato de sódio 5%.

Os teores de sólidos solúveis (SS) reduziram durante o armazenamento, mostrando reduções de 14,5; 14,7 e 17,5% nos tratamentos controle, AC e PS, respectivamente (Figura 3A). Em mandioca MP, Freire et al. (2014) também observaram reduções nos conteúdos de SS durante 11 dias de armazenamento a 5 °C. Este fato é relacionado ao estresse mecânico provocado pelo processamento mínimo, em que os açúcares são consumidos em processos respiratórios e fermentativos, com produção de CO<sub>2</sub>, água e ácidos orgânicos, respectivamente. Tais processos contribuem para a redução dos sólidos solúveis com o tempo, cujos valores estão associados à diferença entre liberação e degradação de açúcares (Pineli et al., 2005).

O teor de sólidos solúveis é utilizado como uma medida indireta do conteúdo de açúcares, no entanto, apesar de 85-90 % representar teor de açúcares, outras

substâncias também se encontram dissolvidas no conteúdo celular (vitaminas, fenólicos, pectinas, ácidos orgânicos) (Lima et al., 2015).

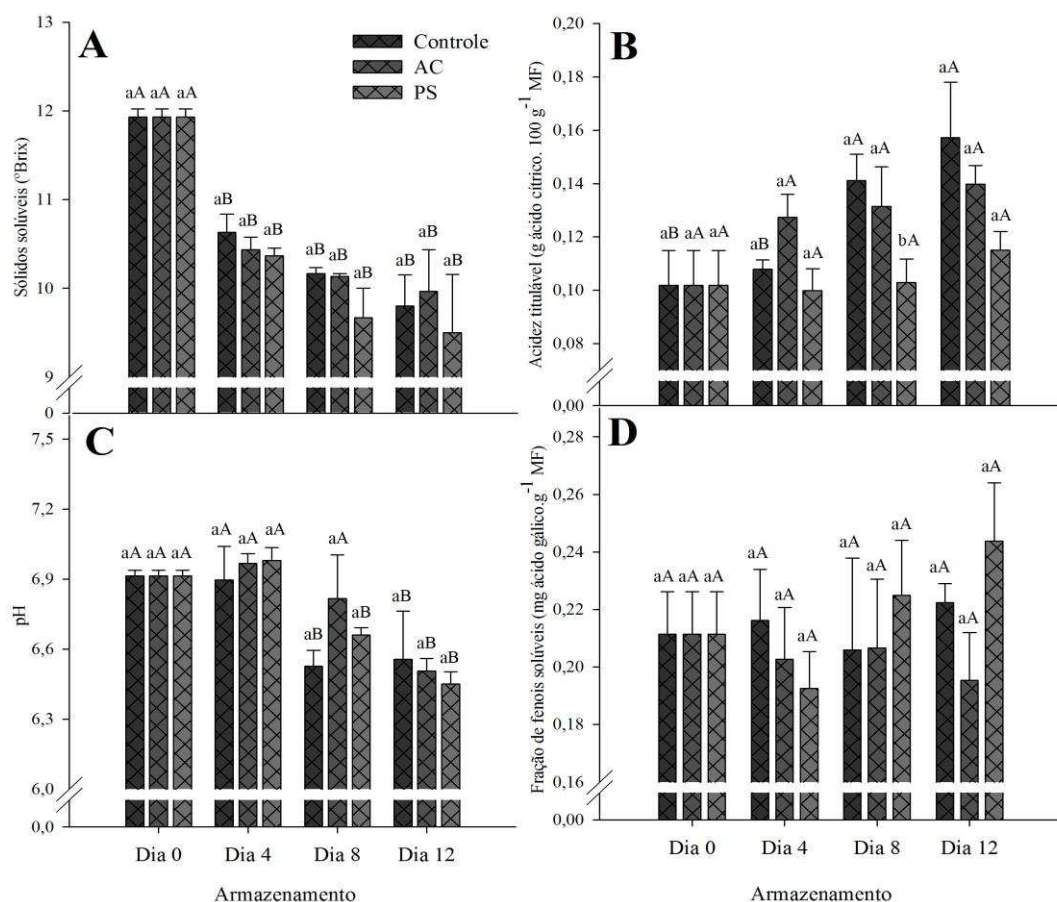
A acidez titulável (AT) aumentou durante o tempo de armazenamento apenas no controle, os demais tratamentos mantiveram os teores de acidez titulável (Figura 3B). O tratamento com pirofosfato de sódio mostrou menores valores (média de 0,105 g ácido cítrico.g<sup>-1</sup> MF), devido a maior estabilização da concentração de ácidos orgânicos no produto, os quais influenciam o sabor, odor, cor, a estabilidade e a manutenção da qualidade do produto (Feltran et al., 2004).

Os tratamentos aplicados não influenciaram os valores de pH, porém houve reduções durante o armazenamento em todos os tratamentos aplicados (Figura 3C). Devido a baixa permeabilidade da embalagem ziplock ao O<sub>2</sub>, pode ter ocorrido reações fermentativas que produzem ácido láctico que diminuem o valor de pH nos produtos durante o armazenamento (Oliveira et al., 2009). Esse fato também foi observado em tubérculos de batata MP, em que os valores de pH das amostras mostraram leves reduções em função do armazenamento, cujas diferenças foram detectadas a partir dos 10 dias. Já os valores médios de AT aumentaram durante o armazenamento (0,18 a 0,23 mg ácido cítrico.g<sup>-1</sup> MF) (Lovatto et al., 2012).

A redução do pH nos produtos pode ser considerada benéfica, pois auxilia na conservação e aumento da vida de prateleira do produto (Baruffaldi & Oliveira, 1998), além de que pode favorecer a estabilidade de vitaminas, como a vitamina C, e auxiliar na redução do escurecimento enzimático e carga microbiana (Alencar & Koblit, 2008).

Quando os resultados são com dados na literatura para batata-doce, as variáveis SS e AT mostraram valores superiores, porém o pH pouco ácido da batata-doce foi ratificado. Essas variações podem ser em função de aspectos pré e pós-colheita como tratamentos culturais, época de colheita, cultivares, temperatura de armazenamento, entre outros (Gouveia et al., 2014; Corrêa et al., 2016).

A fração de fenóis solúveis não diferiu entre os tratamentos aplicados ou tempos de armazenamento (Figura 3D), mostrando manutenção da capacidade antioxidante. A fração de fenóis solúveis (compostos fenólicos) atua como antioxidante, e sua quantificação tem a finalidade de avaliar o potencial de escurecimento durante ou após o processamento e também a possibilidade de interferência desses compostos no sabor, devido à característica de adstringência de alguns deles (Filgueiras et al., 2000).



**Figura 3.** Sólidos solúveis (A), acidez titulável (B), pH (C) e fração de fenóis solúveis (D) em fatias de batata-doce (BRS Cuia) minimamente processadas e armazenadas a 5 °C por 12 dias. Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si nos tratamentos avaliados, e médias seguidas pela mesma letra maiúscula não diferem entre o período de armazenamento. As médias foram comparadas entre si pelo agrupamento de Scott Knott, a 5% de probabilidade. AC= ácido cítrico 5%; PS= pirofosfato de sódio 5%.

Os produtos minimamente processados geralmente apresentam menor período de vida de prateleira, devido a sua maior suscetibilidade a desidratação, desenvolvimento microbiano, reações de escurecimento, descoloração e desenvolvimento de sabor e aroma desagradáveis (Bansal et al., 2015). Entre as principais alterações verificadas estão perda da integridade celular, suberização da parede celular, descompartimentização de enzimas e substratos, aumentos da taxa respiratória e evolução do etileno, aumento nos conteúdos de compostos fenólicos e aumentos na atividade das enzimas fenilalanina amônio-liase, peroxidase, catalase e polifenoloxidase (Porte & Maia, 2001; Carnelossi et al., 2005).

A atividade das enzimas peroxidase (POD) e polifenoloxidase (PPO) foi elevada após o processamento e reduziu durante o armazenamento a 5 °C. Os tratamentos com ácido cítrico e pirofosfato de sódio foram eficientes em reduzir as

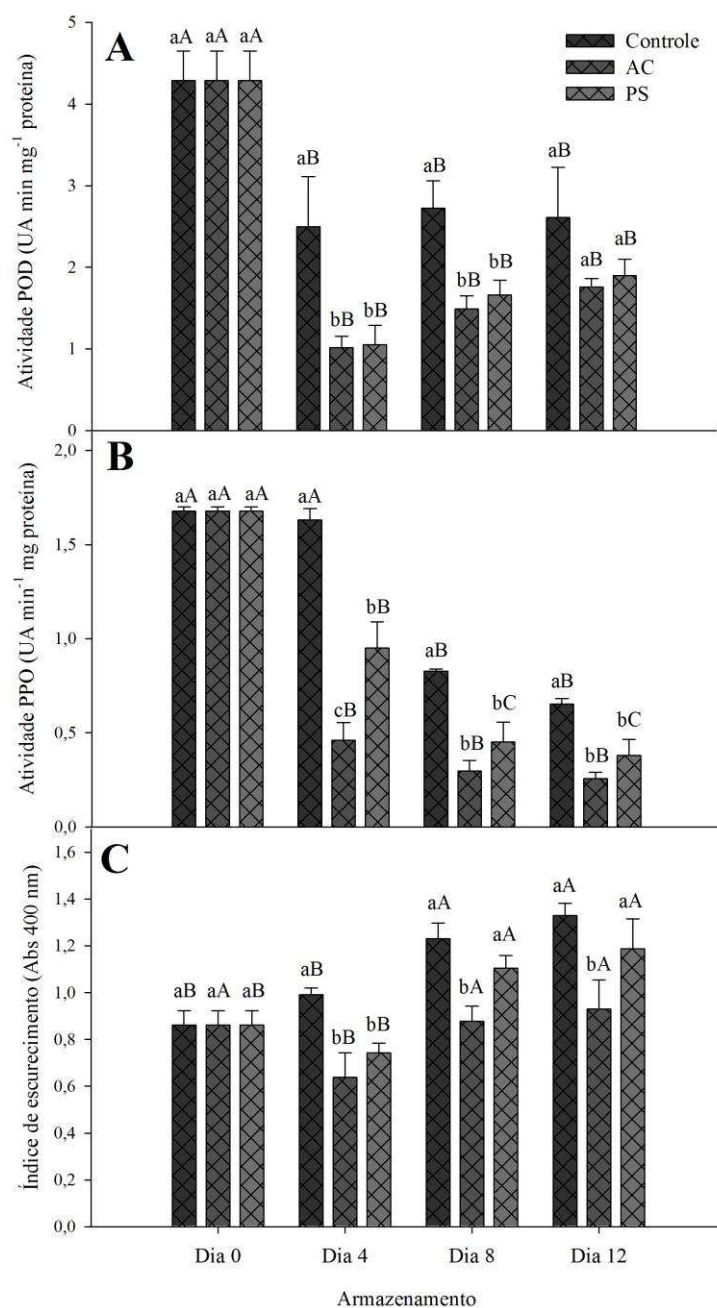
atividades enzimáticas quando comparados ao controle (Figuras 4A e 4B). As elevadas atividades enzimáticas após o processamento se devem as operações de corte, que promovem extravasamento de substratos fenólicos do vacúolo, permitindo o contato com as enzimas de reações oxidativas (Alencar & Koblitz, 2008).

As reduções nas atividades enzimáticas em função do tempo de armazenamento são relacionadas à refrigeração, que diminui tanto a atividade da POD quanto da PPO. As baixas temperaturas (0-4 °C) estão distantes do ponto ótimo para essas enzimas, dificultando o acoplamento enzima-substrato pela diminuição da energia cinética das moléculas (Lee et al., 1995).

As reduções na atividade da PPO também podem estar relacionadas à baixa permeabilidade da embalagem ziplock ao oxigênio, uma vez que o O<sub>2</sub> é necessário na atividade catalítica da PPO. Santos de Jesus et al. (2008) verificaram escurecimento externo e interno no quiabo MP, tratado com substâncias antioxidantes e embalados com filme PVC, tal processo foi relacionado a permeabilidade da embalagem ao O<sub>2</sub>.

O índice de escurecimento aumentou durante o armazenamento em todos os tratamentos. O tratamento com ácido cítrico mostrou os menores, mostrando efetividade na redução do escurecimento das fatias de batata-doce (Figuras 4C). As maiores reduções do índice de escurecimento observadas no tratamento com ácido cítrico se deve ao fato deste ácido agir como redutor do pH ou como quelante do íon metálico do centro ativo da enzimas POD e PPO (Baruffaldi & Oliveira, 1998).

Pineli et al. (2005) avaliaram o escurecimento em batatas cv. ‘Ágata’ MP e verificaram que uso de ácidos cítrico e eritrórbico, associados ao uso de embalagem a vácuo foram mais eficientes no controle do escurecimento enzimático. Paschoalino et al. (1993) mostraram que uso de ácidos cítrico e ascórbico, ambos a 0,3%, associados ao uso de embalagem com baixa permeabilidade de oxigênio em batatas MP, conservaram o produto sem escurecimento e com boa textura por até 17 dias.

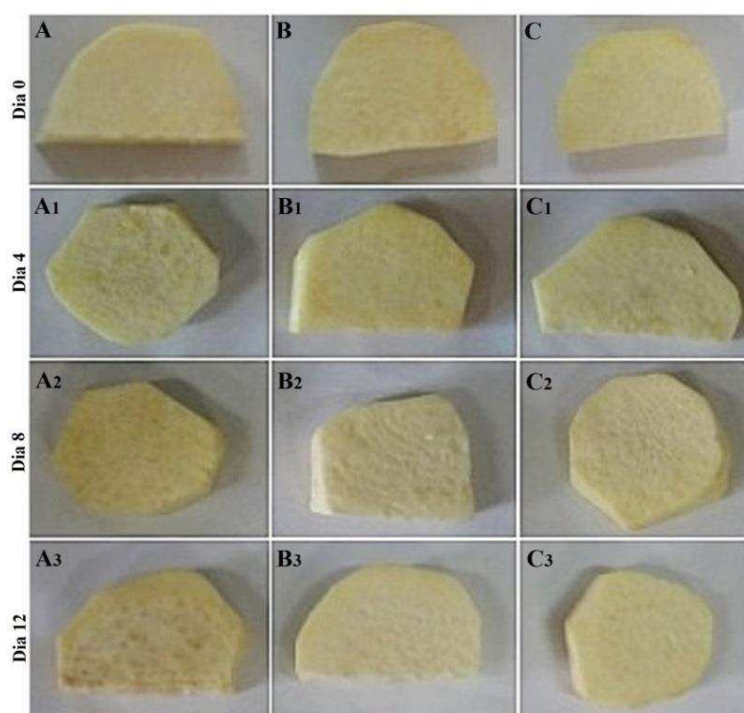


**Figura 4.** Atividade da peroxidase - POD (A), atividade da polifenoloxidase - PPO (B) e índice de escurecimento (C) em fatias de batata-doce (BRS Cuia) minimamente processadas e armazenadas a 5 °C por 12 dias. Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si nos tratamentos avaliados, e médias seguidas pela mesma letra maiúscula não diferem entre o período de armazenamento. As médias foram comparadas entre si pelo agrupamento de Scott Knott, a 5% de probabilidade. AC= ácido cítrico 5%; PS= pirofosfato de sódio 5%.

Em relação a aparência das fatias de batata-doce em função do tratamento aplicado e tempos de armazenamento, é possível perceber que nos tratamentos com ácido cítrico e pirofosfato de sódio o escurecimento foi menor (Figura 5). O maior escurecimento das fatias de batata-doce observado no controle pode estar relacionado

às maiores médias de textura e atividade da POD, que está associada a processos de lignificação, uma vez que a síntese de ligninas e intermediários, tendo pigmentação marrom-avermelhada, também pode ser responsável pelo escurecimento dos tecidos (Aquino-Bolaños & Mercado-Silva, 2004).

Fernandes et al. (2014) observaram que batata-baroa cv. ‘Amarela de Carandaí’ MP apresentou melhor qualidade quando submetida ao tratamento com 3% ácido ascórbico + 3% ácido cítrico, que possibilitou armazenamento de até 8 dias a 5 °C. Em relação ao uso ao pirofosfato ácido de sódio, Fan et al. (2009) mostrou que esta substância teve boa atividade anti-escurecimento em fatias de maçã ‘Granny Smith’ armazenadas por até 21 dias a 4 °C.



**Figura 5.** Aparência das fatias de batata-doce (BRS Cuia) durante o período de armazenamento a 5 °C. Controle em 0, 4, 8 e 12 dias de armazenamento (A, A1, A2 e A3), ácido cítrico 5% em 0, 4, 8 e 12 dias de armazenamento (B, B1, B2 e B3) e pirofosfato de sódio 5% em 0, 4, 8 e 12 dias de armazenamento (C, C1, C2 e C3).

## CONCLUSÕES

O tratamento com ácido cítrico 5% foi mais eficiente na redução do escurecimento de batata-doce cv. BRS Cuia minimamente processada, uma vez que é um antioxidante de baixo custo e conservou os produtos sem escurecimento por até 12 dias quando armazenados a 5 °C.

## REFERÊNCIAS

- ABBOTT, J.A.; HARKER, F.R. Texture. In: GROSS, K.C.; WANG, C.Y.; SALTVEIT, M. eds. The commercial storage of fruits, vegetables, and florist and nursery stocks agriculture handbook. v.6. Beltsville, MD: USDA ARS, 2004. 792p.
- ALENCAR SM; KOBLITZ MGB. Oxirredutases. In: KOBLITZ MGB. (coord). Bioquímica de alimentos. p.125-152. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2008.
- AMARO, G.B.; FERNANDES, F.R.; SILVA, G.O. MELLO, A.F.S.; CASTRO, L.A.S. Desempenho de cultivares de batata-doce na região do Alto Paranaíba-MG. Horticultura Brasileira, v.35, n.2, p.286-291, 2017. <http://dx.doi.org/10.1590/s0102-053620170221>
- A.O.A.C. Association of Official Analytical Chemistry. Official methods of analysis. 19 ed., Gaithersburg, MD: AOAC International, 2012. 3000p.
- AQUINO-BOLAÑOS, E.N.; MERCADO-SILVA, E. Effects of polyphenol oxidase and peroxidase activity, phenolics and lignin content on the browning of cut jicama. Postharvest Biology and Technology, v.33, p.275–283, 2004. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2004.03.009>
- BANSAL, V.; SIDDIQUI, M.W.; RAHMAN, M.S. Minimally processed foods: Overview. In: SIDDIQUI, M.W.; RAHMAN, M.S. Minimally processed foods: technologies for safety, quality, and convenience. p.1-15, Boston, MA: Springer, 2015. [http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-10677-9\\_1](http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-10677-9_1)
- BARUFFALDI, R.; OLIVEIRA, M.N. Fundamento de Tecnologia dos Alimentos. v.3, São Paulo: Ed. Atheneu, 1998.
- BENJAMIN, N.D; MONTGOMERY, M.W. Polyphenol oxidase of royal ann cherries: purification and characterization. Journal of Food Science, v.38, p.799-806, 1973. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1973.tb02079.x>
- BRADFORD, M.M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. Analytical Biochemistry, v.72, n.1-2, p.248-254, 1976. [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(76\)90527-3](https://doi.org/10.1016/0003-2697(76)90527-3)
- CARDOSO, W. S., PINHEIRO, F. A., PATELLI, T., PEREZ, R., RAMOS, A. M. Determinação da concentração de sulfito para a manutenção da qualidade da cor em maçã desidratada. Revista Analytica, v.29, p.66-72, 2007.
- CARNELOSSI, M.A.G.; SILVA, E.O.; CAMPOS, R.S.; PUSCHMANN R. Respostas fisiológicas de folhas de couve minimamente processadas. Revista Horticultura Brasileira, v.23, n.2, p.215-220, 2005. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-05362005000200011>
- CASTRO, L.A. S.; BECKER, A. Batata-doce BRS Cuia. Pelotas, RS: EBRAPA Clima Temperado, 2011. 2p.

- CORRÊA, C.V; GOUVEIA, A.M.S.; EVANGELISTA, R.M.; CARDOSO, A.I.I. Qualidade de raízes de batata-doce em função das cultivares e do armazenamento. *Raízes e Amidos Tropicais*, v.12, n.1, p. 26-35, 2016. <http://dx.doi.org/10.17766/1808-981X.2016v12n1p26-35>
- 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, n.2, p.248-254, 2013. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-05362013000200012>
- FAN, X.; SOKORAI, K.J.B.; LIAO, C-H.; COOKE, P.; ZHANG, H.Q. Antibrowning and antimicrobial properties of sodium acid sulfate in apple slices. *Journal of Food Science*, v.74, n.9, p.485-492, 2009. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1750-3841.2009.01362.x>
- FELLOWS, P.J. Tecnologia do processamento de alimentos – princípios e prática. 2.ed. Porto Alegre: Ed. Artmed, 2006. 602p.
- FELTRAN, J.C.; LEMOS, L.B.; VIEITES, R.L. Technological quality and utilization of potato tubers. *Science Agricultural*, v.61, n.6, p.598-603, 2004. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162004000600006>
- FERNANDES, L.S.; CORRÊA, P.C.; FINGER, F.L.; JUNQUEIRA, M.S.; FONSECA, K.S. Efeito de antioxidantes sobre o escurecimento de batata baroa minimamente processadas. *Engenharia na agricultura*, v.22, n.3, p.195-204, 2014.
- FERREIRA, D.F. Sisvar: a computer statistical analysis system. *Ciência e Agrotecnologia*, v.35, n.6, p.1039-1042, 2011. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542011000600001>
- FILGUEIRAS, H.A.C.; ALVES, R.E.; MOURA, C.F.H. Cajá (*Spondias mombim* L.). In: ALVES, R.E.; FILGUEIRAS, H.A.C.; MOURA, C.F.H. (orgs). Caracterização de frutas nativas da América Latina. Jaboticabal: Funep, 2000. 66p.
- FREIRE, C.S.; SIMÕES, A.N.; VIEIRA, M.R.S.; BARROS JÚNIOR, A.P.; DA COSTA, F.B. Qualidade de raízes de mandioca de mesa minimamente processada nos formatos Minitolete e Rubiene. *Revista Caatinga*, v.27, n.4, p.95–102, 2014.
- FU, L.; XU, B.T., XU, X.R.; QIN, X.S.; GAN, R.Y.; LI, H.B. Antioxidant capacities and total phenolic contents of 56 wild fruits from South China. *Molecules*, v.15, n.12, p.8602-8617, 2010. <https://doi.org/10.3390/molecules15128602>
- GOUVEIA, A.M.S.; CORRÊA, C.V.; TAVARES, A.E.B.; EVANGELISTA, R.M.; CARDOSO, A.I.I. Qualidade de raízes de batata-doce em função da adubação nitrogenada e conservação. *Raízes e Amidos Tropicais*, v.10, n.1, p.57-64, 2014. <http://dx.doi.org/10.17766/1808-981X.2014v10n1p57-64>

- HAMINIUK, C.W.I.; OLIVEIRA, C.R.G.; BAGGIO, E.C.R.; MASSON, M.L. Efeito de pré-tratamentos no escurecimento das cultivares de maçã Fuji e Gala após o congelamento. *Ciência e Agrotecnologia*, v.29, n.5, p.1029-1033, 2005. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542005000500017>
- IERNA, A.; PELLEGRINO, A.; MALVUCCIO, A. Effects of micronutrient fertilization on the overall quality of raw and minimally processed potatoes. *Postharvest Biology and Technology*, v.134, p.38-44, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2017.08.006>
- ISLAM, S.N.; NUSRAT, T.; BEGUM, P.; AHSAN, M. Carotenoids and  $\beta$ -carotene in orange fleshed sweet potato: a possible solution to vitamin A deficiency. *Food chemistry*, v.199, p.628-631, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.12.057>
- KAABER, L.; KAACK, K.; KRIZNIK, T.; BRATTHEN, E.; KNUTSEN, S.H. Structure of pectin in relation to abnormal hardness after cooking in pre-peeled, cool-stored potatoes. *LWT - Food Science and Technology*, v.40, n.5, p.921-929, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2006.03.026>
- KARSTEN, J.; CHAVES, D.V.; FINGER, F.L.; BARBOSA, J.G. Papel e caracterização da polifenoloxidase em hastes de ave-do-paráiso (*Strelitzia reginae* Ait.). *Ornamental Horticulture*, v.19, n.2, p.161-171, 2013. <http://dx.doi.org/10.14295/rbho.v19i2.462>
- KHAN, A.A.; ROBINSON, D.S. Hydrogen donor specificity of mango isoperoxidases. *Food Chemistry*, v.49, n.4, p.407-410, 1994.
- LEE, L.; ARUL, A.; LENCKI, R.; CASTAIGNE, F. A review on modified atmosphere packaging and preservation of fresh fruits and vegetables: physiological basis and practical aspects. *Packaging Technology and Science*, v.8, n.6, p.315-331, 1995. <https://doi.org/10.1002/pts.2770080605>
- LIMA, T.L.S.; CAVALCANTE, C.L.; SOUSA, D.G.; SILVA, P.H.A.; SOBRINHO, L.G.A. Avaliação da composição físico-química de polpas de frutas comercializadas em cinco cidades do Alto Sertão paraibano. *Revista Verde*, v.10, n.2, p.49-55, 2015. <https://doi.org/10.18378/rvads.v10i2.3378>
- LINDLEY, M.G. The impact of food processing on antioxidants in vegetable oil, fruits and vegetables. *Food Science and Technology*, v.9, n.8-9, p.336-340, 1998. [https://doi.org/10.1016/S0924-2244\(98\)00050-8](https://doi.org/10.1016/S0924-2244(98)00050-8)
- LOVATTO, M.T.; BISOGNIN, D.A.; TREPTOW, R.O.; STORCK, L.; GNOCATO, F.S.; MORIN JUNIOR, G. Processamento mínimo de tubérculos de batata de baixo valor comercial. *Horticultura Brasileira*, v.30, n.2, p.258-265. 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-05362012000200013>

- McEVILY, A.J.; IYENGAR, R.; OTWELL, W.S. Inhibition of enzymatic browning in foods and beverages. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, v.32, n.3, p.253-273, 1992. <https://doi.org/10.1080/10408399209527599>
- MERCADO-SILVA e AQUINO-BOLANÔS. In: AGUILAR, G.A.G; GARDEA, A.A.; NAVARRO, F.C (ed.). *Nuevas tecnologías de conservación de produtos vegetales frescos cortados*. Cap. 9, p.177-209. 1.ed. México, 2005.
- MEYDAV, S.; SAGUY, I.; KOPELMAN, I. J. Browning determination in citrus products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v.25, n.3, p.602–604, 1977. <https://doi.org/10.1021/jf60211a030>
- MOREIRA-RODRÍGUEZ, M.; NAIR, V.; BENAVIDES, J.; CISNEROS-ZEVALLOS, L.; JACOBO VELÁSQUEZ, D.A. UVA, UVB light doses and harvesting time differentially tailor glucosinolate and phenolic profiles in broccoli sprouts. *Molecules*, v.22, n.7, p.1065, 2017. <http://dx.doi.org/10.3390/molecules22071065>
- MORETTI, C.L.; ARAUJO, A.L.; MARQUELLI, W.A.; SILVA, W.L.C. Atividade respiratória e escurecimento de raízes de batata-doce minimamente processada. *Horticultura Brasileira*, v.20, n.3, p.497-500, 2002. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-05362002000300020>
- OLIVEIRA, R.F.; SOUSDALEFF, M.; LIMA, M.V.S.; LIMA, H.O.S. Produção fermentativa de ácido láctico a partir do melaço da cana-de-açúcar por *Lactobacillus casei*. *Brazilian Journal of Food Technology*, VII BMCFB, p. 34-40, 2009.
- PASCHOALINO, J.E.; NISIDA, A.L.A.C.; GARCIA, E.E.C.; TOCCHINI, R.P. Prevenção do escurecimento em batatas frescas descascadas e fatiadas. *Coletânea do Instituto de Tecnologia de Alimentos*, v.2, n.23, p.189-197, 1993.
- PINELI, L.L.O.; MORETTI, C.L.; ALMEIDA, G.C.; NASCIMENTO, A.B.G.; ONUKI, A.C.A. Associação de atmosfera modificada e antioxidantes reduz o escurecimento de batatas ‘Ágata’ minimamente processadas. *Horticultura Brasileira*, v.23, n.4, p.993-999, 2005. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-2005362005000400027>
- PIO, R.M.; FIGUEIREDO, J.O.; STUCHI, E.S.; CARDOSO, S.A.B. Variedades de copas de citros. In: MATTOS JUNIOR, D.; PIO, R.M.; DE NEGRI, J.D.; POMPEU JUNIOR, J. (Ed.) *Citros*. Campinas: Intituto agroômico, 2005. 929p.
- PORTE, A.; MAIA, L. H. Alterações fisiológicas, bioquímicas e microbiológicas de alimentos minimamente processados. *Boletim CEPPA*, v.19, n.1, p.105-118, 2001. <http://dx.doi.org/10.5380/cep.v19i1.1227>
- RAMOS, P.A.S; SEDIYAMA, 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. <http://dx.doi.org/10.1590/S1981-67232013005000018>

- SANTOS DE JESUS, M. M.; GUITIERREZ CARNELOSSI, M. A.; SANTOS, S. F.; NARAIN, N.; CASTRO, A. A. Inibição do escurecimento enzimático de quiabo minimamente processado. *Revista Ciência Agronômica*, v.39, n.4, p.534-530, 2008.
- SIMÕES, A.; FREIRE, C.S.; SILVA, E.F.; BARROS JÚNIOR, A.P.; FERREIRA-SILVA, S.L. Quality of minimally processed yam (*Dioscorea* sp.) stored at two different temperatures. *Revista Caatinga*, v.29, n.1, p.25-36, 2016. <http://dx.doi.org/10.1590/1983-21252016v29n104rc>
- TANAKA, M.; ISHIGURO, K.; OKI, T.; OKUNO, S. Functional components in sweetpotato and their genetic improvement. *Breeding Science*, v.67, n.1, p.52–61, 2017. <https://doi.org/10.1270/jsbbs.16125>
- TAYLOR, S.L.; HIGLEY, N.A.; BUSH, R.K. Sulfites in foods: Uses, analytical methods, residues, fate, exposure assessment, metabolism, toxicity, and hypersensitivity. *Advances in Food Research*, v.30, p.1-76, 1986. [https://doi.org/10.1016/S0065-2628\(08\)60347-X](https://doi.org/10.1016/S0065-2628(08)60347-X)
- TEREFE, N.S.; BUCKOW, R.; VERSTEEG, C. Quality-related enzymes in fruit and vegetable products: effects of novel food processing technologies, part 1: high-pressure processing. *Critical reviews in food science and nutrition*, v.54, n.1, p.24- 63, 2014. <http://dx.doi.org/10.1080/10408398.2011.566946>
- VARGAS, P.F.; GODOY, D.R.Z.; De ALMEIDA, L.C.F.; CASTOLDI, R. Agronomic characterization of sweet potato accessions. *Comunicata Scientiae*, v.8, n.1, p.116-125, 2017. <https://doi.org/10.14295/cs.v8i1.1864>
- VITTI, M.C.D.; SASAKI, F.F.; MIGUEL, P.; JACOMINO, A.P.; MORETTI, C.L.; KLUGE, R.A. Atividade respiratória e aspectos microbiológicos de cultivares de batatas minimamente processadas e armazenadas em diferentes temperaturas. *Ciência Rural*, v.40, n.1, p.208-212, 2010. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782009005000233>
- YILDIZ, F. Initial preparation, handling, and distribution of minimally processed refrigerated fruits and vegetables. In: WILEY, R.C. (eds) *Minimally processed refrigerated fruits & vegetables*. p.15-65. Boston, MA: Springer, 2017. [https://doi.org/10.1007/978-1-4615-2393-2\\_2](https://doi.org/10.1007/978-1-4615-2393-2_2)

**Influência da temperatura e dano mecânico em características metabólicas e morfo-anatômicas durante a cura de raízes de batata-doce cv. BRS Amélia**

**RESUMO**

O manejo de colheita e pós-colheita de raízes de batata-doce causam escoriações que deterioram as raízes, reduzindo sua vida útil e valor de mercado. A cura das feridas reduz a perda de massa e o ataque microbiano durante o armazenamento. O objetivo foi determinar o efeito da temperatura (25, 28 e 30 °C), tempo de armazenamento (0, 7 e 14 dias) e aplicação de dano na cura de batata-doce cv. BRS Amélia. A perda de massa foi semelhante entre às temperaturas avaliadas. A produção de CO<sub>2</sub> após a colheita foi alta e diminuiu durante o armazenamento. Os teores de carotenoides aumentaram durante o armazenamento. Açúcares solúveis totais, açúcares não redutores e açúcares redutores diminuíram e amido não diferiu durante o armazenamento. A atividade da peroxidase e polifenoloxidase e a fração de fenóis solúveis aumentaram durante o armazenamento. A atividade da poligalacturonase e pectinametilsterase reduziu durante o armazenamento, mostrando menores valores a 30 °C. As raízes do controle e feridas mostraram melhor manutenção metabólica e cicatrização de ferimentos quando armazenadas a 30 °C.

**Palavras-chaves:** adesão da casca; atividade enzimática; *Ipomoea batatas*; periderme.

**Influence of temperature and mechanical damage on metabolic and morpho-anatomical characteristics during curing of cv. BRS Amelia sweet potato roots**

**ABSTRACT**

Harvest and post-harvest management of sweet potato roots cause abrasions that deteriorate the roots, reducing their useful life and market value. Wound healing reduces mass loss and microbial attack during storage. The objective was to determine the effect of temperature (25, 28 and 30 °C), storage time (0, 7 and 14 days) and damage application in cure of sweet potato cv. BRS Amelia. The mass loss was similar between the evaluated temperatures. Post-harvest CO<sub>2</sub> production was high and decreased during storage. Carotenoid contents increased during storage.

Total soluble sugars, non-reducing sugars and reducing sugars decreased and starch did not differ during storage. Peroxidase and polyphenoloxidase activity and the soluble phenols fraction increased during storage. Polygalacturonase and pectinamethylesterase activity reduced during storage, showing lower values at 30 °C. Control and wounds roots showed better metabolic maintenance and wound healing when stored at 30 °C.

**Keywords:** skin adhesion; enzyme activity; *Ipomoea batatas*; periderm.

## INTRODUÇÃO

A batata-doce é considerada um alimento promotor da saúde, uma vez que suas raízes tuberosas possuem atividades antioxidantes, antimutagênicas, antihepatotóxicas, efeitos antidiabéticos, entre outras (Islam, 2016; Tanaka et al., 2017). A cultivar BRS Amélia produz em média 32 toneladas por hectare e possui excelentes características para consumo de mesa e processamento industrial, sendo uma importante fonte de carotenoides e pró-vitamina A (Castro & Becker, 2011).

A fricção, cortes e rachaduras durante o manuseio inadequado das raízes de batata durante a produção e comercialização são comuns (Mercado-Silva et al., 1998; Mercado-Silva & Cantwell, 1998). Essas lesões reduzem o potencial de comercialização devido à perda da qualidade visual e tornam as raízes altamente vulneráveis a infecções patológicas durante o armazenamento (Parmar et al., 2017).

A cicatrização das feridas reduz a deterioração pela formação de tecido protetor, protegendo da perda de água e do ataque de microrganismos (Luengo & Calbo, 2001). A cura induz a tenacidade da casca e o processo de cicatrização do ferimento por suberização e lignificação das camadas celulares subjacentes e desenvolvimento de periderme de cura (Van Oirschot et al., 2006). Os mecanismos e a regulação desse processo são importantes para manter e aumentar o tempo de armazenamento das raízes (Lulai et al., 2016).

Variações na vida útil das raízes de batata-doce estão associadas à variabilidade na eficiência da cicatrização das feridas (Van Oirschot et al., 2006). O tempo entre a colheita e o consumo da batata-doce pode variar de dias ou semanas a meses. Em regiões de clima temperado, como os Estados Unidos, as raízes geralmente são curadas mantendo-se em uma instalação bem ventilada, a 29 °C, com 85 a 90% de umidade relativa por 4 a 7 dias (Edmunds et al., 2008).

A cicatrização de feridas é composta por dois estágios únicos e separados: formação de camada de fechamento e formação da periderme de cura (Lulai et al., 2016). A periderme consiste da estrutura dérmica que substitui a epiderme de raízes de armazenamento e tubérculos (Peterson & Barker, 1979). Peridermes nativas e de cura são semelhantes em estrutura e composição, mas seguem processos de maturação análogos (Lulai & Freeman, 2001), em que a periderme de cura é mais permeável à água e é proporcionalmente enriquecida com ferulato de alquila – atividade antioxidante (Schreiber et al., 2005).

A rápida redução da condutância do vapor de água na superfície do ferimento é essencial na manutenção de células viáveis para posterior desenvolvimento da barreira suberizante. A deposição de cera geralmente está associada à suberização, entretanto, a redução da condutância do vapor de água deve iniciar antes da suberização, para evitar a morte celular antes que a suberização possa ocorrer (Lulai & Orr, 1995; Schreiber et al., 2005; Lulai, 2007). Os mecanismos e a regulação desses processos são de importância significativa para manter e aumentar a vida de prateleira e capacidade de armazenamento (Lulai et al., 2016).

O objetivo foi avaliar as alterações morfo-anatômicas e metabólicas na periderme de batata-doce cv. BRS Amélia em diferentes temperaturas e intensidades de dano.

## MATERIAL E MÉTODOS

**Obtenção das mudas e caracterização da área experimental:** as mudas de batata-doce cv. BRS Rubissol foram adquiridas da empresa Frutplan (Pelotas, Rio Grande do Sul, Brasil). As mesmas foram cultivadas seguindo um padrão de práticas comerciais (calagem para o plantio com 100 g/m<sup>2</sup> de calcário; adubação de plantio com 100 g/m<sup>2</sup> de NPK 8-28-16; adubação com 50 g/m<sup>2</sup> de NPK 8-28-16 cada 30 dias e irrigação contínua com uso de aspersores) durante seis meses em campo experimental da Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, Minas Gerais, Brasil (20° 45' 20'' S e 42° 52' 40'' W, 651 m de altitude).

**Colheita das raízes, seleção e procedimento experimental:** a colheita foi manual e raízes foram selecionadas (raízes isentas de doença e dano aparente) e padronizadas (massa entre 300-700 g). As raízes foram submetidas aos seguintes tratamentos: controle – raízes isentas de dano e raízes danificadas – com ferimento

feito com lixa comum de textura média em cerca de 40% da casca, removendo cerca de 2 mm das camadas superficiais das raízes, incluindo toda a periderme. As raízes foram armazenadas em incubadoras B.O.D em ausência de luz, com umidade relativa em torno de 85-90% e temperaturas de 25, 28 ou 30 °C. Foram realizadas as análises descritas a seguir:

**Taxa de perda de massa fresca:** determinada em balança analítica de 1200g com precisão de 0,1g (Bel Engineering M1003), os resultados foram expressos em porcentagem.

**Avaliação cromatográfica de acúmulo de CO<sub>2</sub>:** raízes com ou sem dano foram colocadas em frascos hermeticamente fechados por 1 hora. O ar com o CO<sub>2</sub> acumulado foi retirado de dentro dos frascos com seringa de 1 mL e injetado em cromatógrafo gasoso modelo CG-14B (ShimadzuCrop, Quioto, Japão) com coluna empacotada Porapak-Q e detector de condutividade térmica para análise de CO<sub>2</sub>. Os resultados foram expressos em mL de CO<sub>2</sub> Kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>.

**Carboidratos da casca:** extração foi baseada na metodologia de McCready et al. (1950). Os açúcares solúveis totais (AST) foram quantificados pelo método fenol-sulfúrico (Dubois et al., 1956) usando sacarose 0,02% como solução padrão. A leitura foi feita em 490 nm e os resultados expressos em mg sacarose.g<sup>-1</sup> MF. Os açúcares redutores (AR) foram quantificados pelo método de ácido dinitrossalicílico descrito por Gonçalves et al. (2010) usando frutose 0,2% como solução padrão. A leitura foi feita em 540 nm e os resultados expressos em mg frutose.g<sup>-1</sup> MF. Os conteúdos de açúcares não redutores (ANR) foram determinados pela diferença entre AST e AR, previamente determinados. Os resíduos obtidos durante a extração foram secos a 70 °C e utilizados para quantificar o teor de amido pelo método fenol-sulfúrico (Dubois et al., 1956) em que o valor da concentração obtida foi multiplicado pelo fator de correção 0,9 e os resultados foram expressos em mg amido g<sup>-1</sup> MS, as leituras foram feitas em espectrofotômetro Genesys 10S UV-VIS (Thermo Scientific, Massachusetts, EUA).

**Conteúdo de carotenoides da casca:** determinado pela metodologia proposta por Nagata & Yamaschita (1991), a extração foi feita com solução

composta por acetona – hexano na proporção 4:6 em ambiente escuro, para a quantificação foram realizadas leituras em espectrofotômetro modelo Genesys 10S UV-VIS nos comprimentos de onda 453 nm ( $\beta$ -caroteno), 505 nm (licopeno), 645 nm (clorofila b) e 663 nm (clorofila a), em que os resultados foram expressos  $\text{mg.g}^{-1}$  MF a partir da equação: Teor de  $\beta$ -caroteno ( $\text{mg}/100 \text{ mL}$ ):  $0,216 \cdot A_{663} - 1,22 \cdot A_{645} - 0,304 \cdot A_{505} + 0,452 \cdot A_{453}$ .

**Atividades enzimáticas da casca:** a atividade da peroxidase foi baseada em método descrito por Khan e Robinson (1991) adaptado por Ramos et al. (2013), em que 0,1 mL de extrato enzimático foi adicionado ao meio de reação contendo 0,5 mL de peróxido de hidrogênio (1,80%), 0,5 mL de guaiacol (1,68%), 0,4 mL de água deionizada e 1,5 mL de tampão fosfato 0,1 M (pH 6,0). A atividade da polifenoloxidase foi baseada em método descrito por Benjamin & Montgomery (1973) adaptado por Karsten et al. (2013), em que 0,1 mL de extrato enzimático foi adicionado ao meio de reação contendo 0,5 mL de catequina (5 mM), 0,9 mL de água deionizada e 1,5 mL de tampão fosfato 0,1 M (pH 4,5). As reações foram quantificadas com base na alteração da absorbância em espectrofotômetro UV-1601 (Shimadzu, Quioto, Japão), em comprimento de onda 470 nm (peroxidase) e 420 nm (polifenoloxidase) a 25 °C, por 3 minutos. A atividade foi expressa em unidades de absorbância (UA)  $\text{min}^{-1} \text{mg}^{-1}$  de proteína. A concentração de proteínas totais foi determinada no extrato bruto utilizando albumina soro bovino como padrão (Bradford, 1976).

**Fração de fenóis solúveis da casca:** determinada a partir do extrato etanólico utilizado na quantificação de açúcares redutores. O método de Follin-Ciocalteu foi utilizado na quantificação (Fu et al., 2010), usando ácido gálico 0,0125% como solução padrão. A leitura foi feita em espectrofotômetro Genesys 10S UV-VIS (Thermo Scientific, Massachusetts, EUA) em 760 nm e os resultados expressos em  $\text{mg ácido gálico.g}^{-1}$  MF.

**Atividade da pectinametilesterase (PME):** baseada em metodologia modificada de Vicente et al. (2005), em que 100  $\mu\text{L}$  de extrato enzimático foram adicionados ao meio de reação contendo 600  $\mu\text{L}$  de pectina (0,5%), 200  $\mu\text{L}$  de azul de bromotimol (0,01%) e 650  $\mu\text{L}$  de água deionizada. Todas as soluções foram

ajustadas para pH 7,5 antes de determinar a atividade. A reação foi quantificada com base na alteração da absorbância em espectrofotômetro UV-1601 (Shimadzu, Quioto, Japão), com circulação de água a 30 °C em 620 nm por 3 minutos. Uma unidade de atividade enzimática (U) foi expressa por 1,0 µg ácido galacturônico min<sup>-1</sup> mg de proteína. A concentração de proteína total foi determinada no extrato bruto pelo método de Bradford (1976), utilizando albumina soro bovino como padrão.

**Atividade da poligalacturonase (PG):** baseada em metodologia modificada de Pires & Finardi-Filho (2005), em que 5 µL de extrato enzimático foram adicionados ao meio de reação contendo 245 µL de tampão acetato de sódio 37,5 mmol L<sup>-1</sup> (pH 5,0) e 225 µL de solução de ácido poligalacturônico (0,25%) previamente dissolvido em tampão acetato de sódio 100 mmol L<sup>-1</sup> (pH 5,0). O meio de reação foi incubado a 37 °C durante 30 minutos em banho-maria, e em seguida a reação foi paralisada em banho fervente por 5 minutos e adicionados 500 µL de solução de ácido dinitrosalicílico (DNS) e 1 mL de água deionizada. A leitura foi feita em espectrofotômetro Genesys 10S UV-VIS a 540 nm. Os açúcares redutores liberados foram quantificados pelo método de ácido dinitrossalicílico descrito por Gonçalves et al. (2010) usando frutose 1% como solução padrão. Uma unidade de atividade enzimática (U) foi definida como a quantidade de enzima necessária para produzir 1 µmol de açúcar redutor min<sup>-1</sup> mg proteína. A concentração de proteína total foi determinada no extrato bruto pelo método de Bradford (1976), utilizando albumina soro bovino como padrão.

**Avaliação anatômica estrutural e histoquímica:** amostras anatômicas retiradas de casca foram fixadas em FAA50 (formaldeído, ácido acético e álcool etílico) durante 48 horas e mantidas em etanol 70% sob refrigeração (Johansen, 1940). Na sub-amostragem, o tecido foi reduzido (0,25x0,25x0,25 mm) e desidratado com etanol por 2 horas nas concentrações de 70, 80 e 95%. As sub-amostras foram embebidas em resina Epon diluída em etanol (1:1), sendo infiltrado por uma semana, após esse período o tecido foi colocado em moldes plásticos e embebido de resina de metacrilato de hidroxietilo (Historesin, Leica Microsystems, Heidelberg, Alemanha). O material permaneceu a 60 °C por 48 horas. Após a solidificação da resina, o material foi cortado em secções transversais em micrótomo rotativo de avanço automático modelo RM2155 (Leica Microsystems, Deerfield, Illinois, EUA) com

espessura 5 µm. Na análise de microscopia de luz, as secções foram coradas com azul de toluidina, pH 4,4 (O'Brien et al., 1964) e lugol, em que as lâminas foram examinadas em luz comum. Na análise histoquímica as secções foram coradas com vermelho neutro e examinadas sob luz UV. Para as análises foi usado microscópio óptico (AX-70 TRF, Olympus Optical, Tóquio, Japão) equipado com um sistema fotográfico U-Photo e câmara digital (AxioCamHRc, Zeiss, Göttingen, Alemanha).

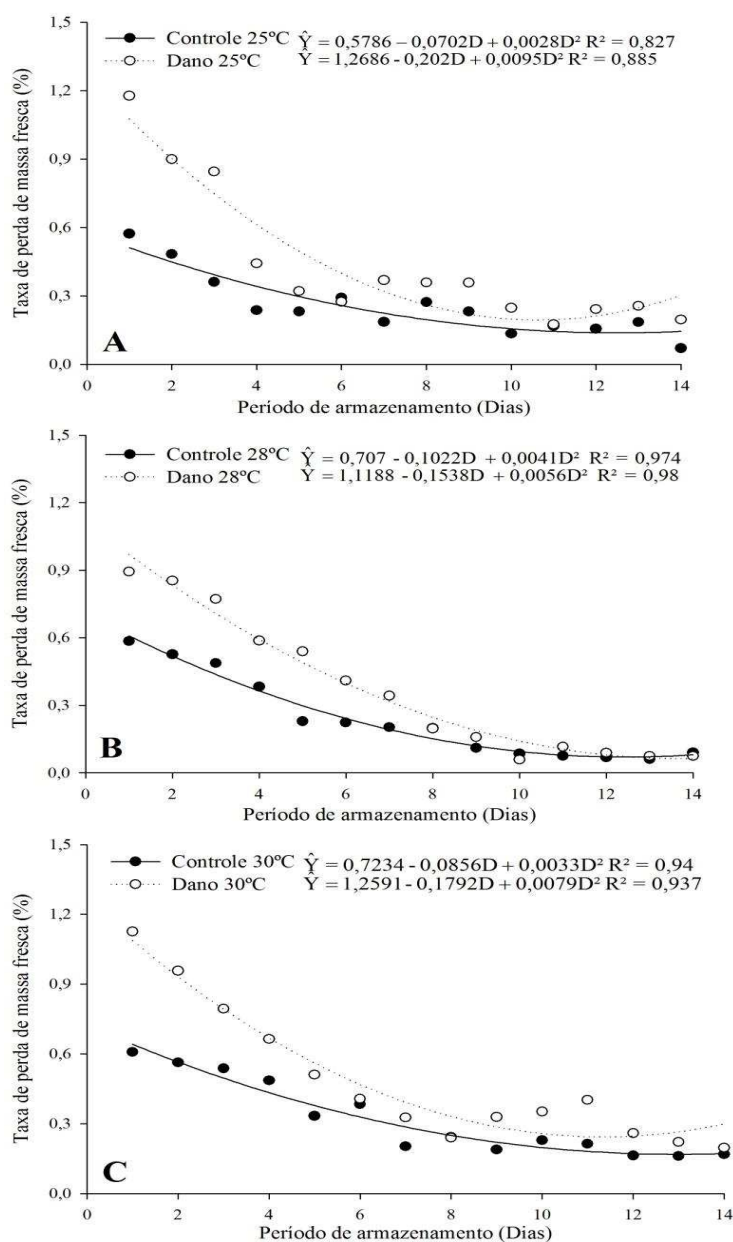
**Delineamento experimental e análise dos dados:** experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 3 x 2 x 3, referente aos períodos de armazenamento (0, 7 e 14 dias), processos de cura (controle e com dano) e temperaturas de armazenamento (25, 28 e 30 °C), com cinco repetições, a unidade experimental foi composta por uma raiz. Apenas as análises anatômicas foram realizadas com três repetições e em dois períodos de armazenamento (0 e 14 dias). Os resultados de taxa de perda de massa fresca acumulada, acúmulo de CO<sub>2</sub> e conteúdo de carotenoides foram submetidos à análise de regressão e as demais variáveis foram submetidas à análise de variância. Na regressão, os modelos foram escolhidos com base na significância dos coeficientes de regressão e o fenômeno biológico. Na análise de variância, as médias foram comparadas pelo teste de tukey em nível de 5% de probabilidade. As médias de camadas de periderme foram submetidas à estatística descritiva de médias com erro padrão. As análises estatísticas foram realizadas utilizando o software Sisvar (Ferreira, 2011). Os gráficos foram elaborados utilizando o software Sigma Plot 10.0.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores de taxa de perda de massa fresca das raízes tuberosas feridas foram 72; 55 e 51% maiores que o controle durante armazenamento por 14 dias a 25, 28 e 30 °C, respectivamente (Figuras 1A, 1B e 1C). A perda de massa em raízes feridas foi elevada no início do armazenamento e a partir do 7º dia houve estabilização, mostrando valores próximos ao controle.

Maior perda de massa em raízes feridas se deve a maior taxa transpiratória, que é significativamente correlacionada com processos de cicatrização, que são fundamentais para manutenção da qualidade das raízes de armazenamento (Van Oirschot et al., 2006). No processo de cicatrização, ceras solúveis são integradas na parede celular suberizante, desenvolvendo uma matriz hidrofóbica que atua como

uma barreira à condutância do vapor de água, protegendo as raízes da desidratação, morte celular e infecções (Schreiber et al., 2005; Lulai, 2007).

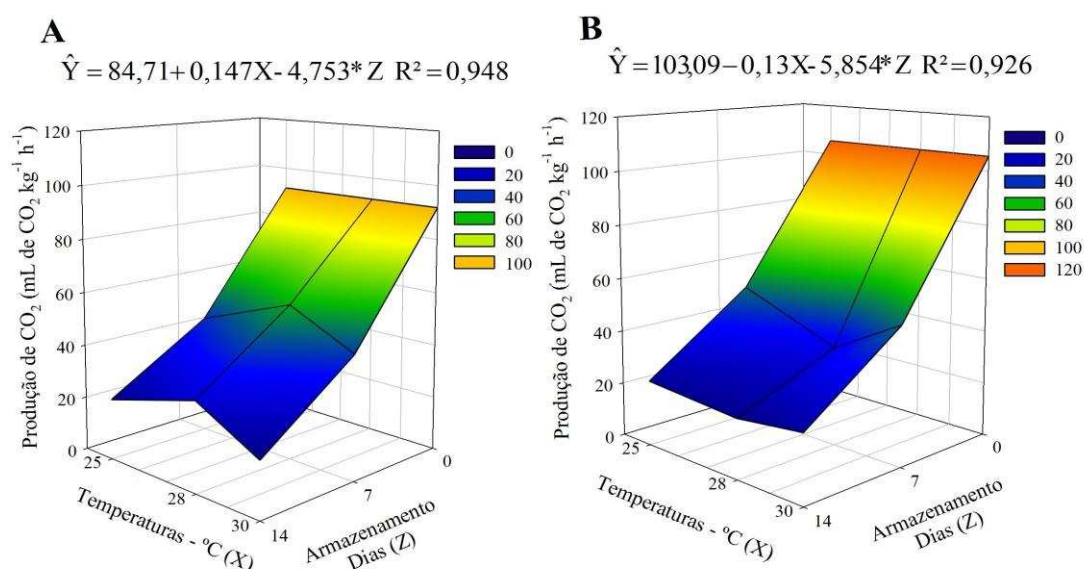


**Figura 1.** Taxa de perda de massa fresca em raízes de batata-doce (BRS Amélia) armazenadas a 25 (A), 28 (B) e 30 °C (C), submetidas ou não ao dano mecânico, armazenadas por 14 dias.

Os valores de produção de CO<sub>2</sub> das raízes tuberosas feridas foram 23; 15 e 21% maiores que o controle durante armazenamento por 14 dias a 25, 28 e 30 °C, respectivamente (Figuras 2A e 2B). As temperaturas de armazenamento não influenciaram a produção de CO<sub>2</sub>, porém os tempos de armazenamento mostraram decréscimos nas raízes do controle e feridas.

A produção de CO<sub>2</sub> se relaciona à respiração, e quanto mais intenso é o processo respiratório, maiores são as perdas de massa fresca devido à degradação de reservas e transpiração de raízes tuberosas e tubérculos (Pranaitiene et al., 2008). Nos resultados, é possível observar estreita relação entre a taxa de perda de massa fresca e processos respiratórios, em raízes feridas estas variáveis são elevadas no início do armazenamento e estabilizam a partir do 7º dia, mostrando valores próximos ao controle, indicando que houve formação de periderme da cura.

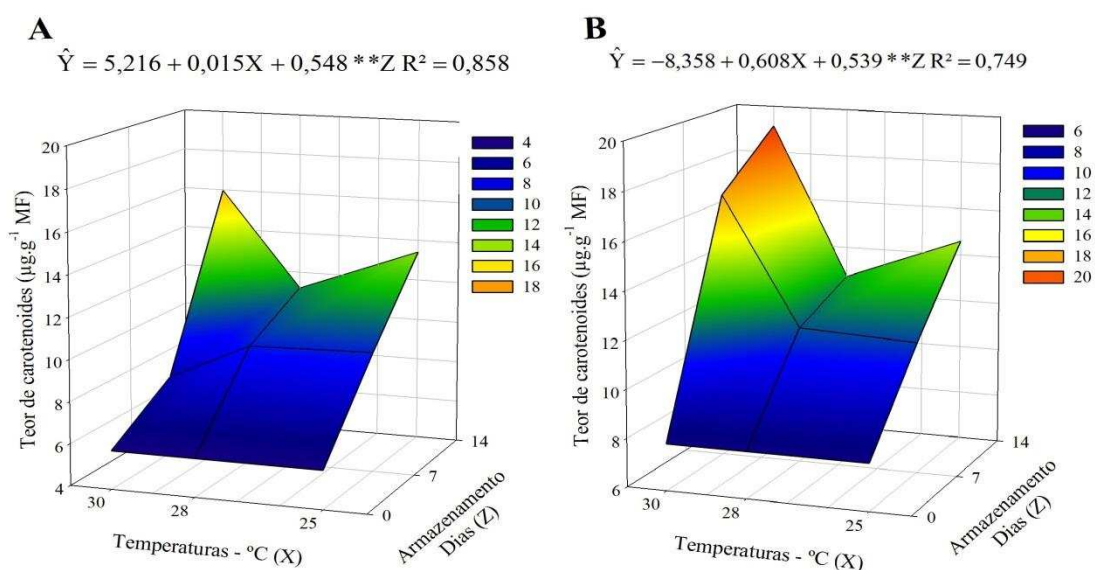
Os resultados discordam dos de Henz et al. (2005), que ao avaliarem respostas fisiológicas a danos causados por impacto de queda na qualidade pós-colheita de raízes de mandioquinha-salsa, observaram que raízes armazenadas por 4 dias a 24 °C houve acréscimos nas taxas respiratórias. A temperatura de armazenamento da mandioquinha-salsa não foi favorável para a cicatrização de ferimentos e formação da periderme de cura, diferindo da batata-doce, em que a formação de periderme da cura ocorre melhor em altas temperaturas (29-33 °C) e alta umidade relativa (85-95%) (Ray & Ravi, 2005).



**Figura 2.** Produção de CO<sub>2</sub> em raízes de batata-doce (BRS Amélia) controle (A) e submetidas ao dano mecânico (B), em armazenamento nas temperaturas 25, 28 e 30 °C por 14 dias. (\*\*p<0,05; \*p<0,01).

Os teores de carotenoides das raízes tuberosas feridas foram 17; 21 e 49% maiores que o controle durante armazenamento por 14 dias a 25, 28 e 30 °C, respectivamente (Figuras 3A e 3B). As temperaturas de armazenamento não influenciaram os teores de carotenoides, porém houve aumentos durante o tempo de armazenamento nas raízes do controle e feridas. Os maiores valores são mostrados no armazenamento a 30 °C.

Batatas-doces de polpa laranja são usadas como fonte de antioxidantes, devido a elevado conteúdo de carotenoides, que são pigmentos precursores de diversas moléculas sinalizadoras, como ácido abscísico (ABA) e estrigolactona, e também conferem proteção contra danos oxidativos (Giuliano, 2014; Esatbeyoglu et al., 2017). A regulação positiva da produção de superóxido, aumento da biossíntese de ABA e atividade da fenilalanina amônia-liase (PAL) em resposta ao fermento são processos críticos para o desenvolvimento de uma camada de fechamento suberizada e periderme de cura em batata (Kumar et al., 2010). Sendo assim, os elevados conteúdos de carotenoides em raízes armazenadas a 30 °C, principalmente em raízes feridas, constitui-se um fator positivo na cicatrização de ferimentos.



**Figura 3.** Teor de carotenoides em raízes de batata-doce (BRS Amélia) controle (A) e submetidas ao dano mecânico (B), em armazenamento nas temperaturas 25, 28 e 30 °C por 14 dias. (\*\*p<0,05; \*p<0,01).

Os tempos de armazenamento mostraram variações significativas na análise de AST, ANR e AR, havendo reduções em relação ao início do armazenamento, o teor de amido não diferiu. Os tratamentos aplicados mostraram variações significativas, em que as raízes feridas mostraram reduções de 9; 9 e 13% em AST, 8; 9 e 14% em ANR e 12; 12 e 8% em AR, e aumentos de 18, 17 e 13% no conteúdo de amido quando comparadas ao controle, durante armazenamento por 14 dias a 25, 28 e 30 °C, respectivamente. As temperaturas de armazenamento não influenciaram o conteúdo de carboidratos (Tabela 1).

As reduções em AST, ANR e AR podem relacionar à diferença entre liberação e degradação de açúcares (Pineli et al., 2005). Durante processo de

cicatrização há regeneração celular, o que demanda elevado gasto energético durante a de tecidos. Como relatado anteriormente por Rees et al. (2003) existe uma forte relação entre os níveis de monossacarídeos e vida de prateleira de raízes.

A maior parte da matéria seca nas raízes da batata-doce está na forma de amido, e é difícil prever um mecanismo pelo qual uma alta concentração de grãos de amido possa interferir diretamente na cicatrização de feridas (Rees et al., 2003). De acordo com Donegá et al. (2013) após raízes de inhame serem cortadas, houve deposição de amido na superfície lesada com finalidade de minimizar a perda de água. Essa deposição de amido na superfície da lesão pode ter sido o motivo pelo qual houve acréscimos dessa variável em raízes feridas.

**Tabela 1.** Açúcares solúveis totais – AST (%), açúcares não redutores – ANR (%), açúcares redutores – AR (%) e amido (%) em raízes de batata-doce (BRS Amélia) com ou sem dano mecânico armazenadas nas temperaturas 25, 28 e 30 °C por 14 dias.

|                                      | Análises           |                    |                    |                    |
|--------------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|                                      | AST                | ANR                | AR                 | AMIDO              |
| <b>Tempo (Dias)</b>                  |                    |                    |                    |                    |
| <b>0</b>                             | 13,86 a            | 12,59 a            | 1,26 a             | 13,13 a            |
| <b>7</b>                             | 8,40 c             | 7,46 c             | 0,95 b             | 13,11 a            |
| <b>14</b>                            | 9,22 b             | 8,32 b             | 0,90 b             | 13,64 a            |
| <b>Tratamentos</b>                   |                    |                    |                    |                    |
| <b>Controle</b>                      | 11,07 a            | 9,97 a             | 1,10 a             | 12,30 b            |
| <b>Aplicação de dano</b>             | 9,91 b             | 8,94 b             | 0,97 b             | 14,29 a            |
| <b>Temperaturas de armazenamento</b> |                    |                    |                    |                    |
| <b>25 °C</b>                         | 10,47 a            | 9,44 a             | 1,03 a             | 13,33 a            |
| <b>28 °C</b>                         | 10,64 a            | 9,59 a             | 1,04 a             | 13,24 a            |
| <b>30 °C</b>                         | 10,38 a            | 9,34 a             | 1,04 a             | 13,31 a            |
| <b>Teste F</b>                       |                    |                    |                    |                    |
| <b>Tempo</b>                         | 161,08*            | 143,24*            | 59,16*             | 1,57 <sup>NS</sup> |
| <b>Tratamentos</b>                   | 18,75*             | 15,12*             | 18,63*             | 51,52*             |
| <b>Temperaturas</b>                  | 0,31 <sup>NS</sup> | 0,31 <sup>NS</sup> | 0,06 <sup>NS</sup> | 0,41 <sup>NS</sup> |
| <b>Tempo X Trat</b>                  | 5,01*              | 4,34 <sup>NS</sup> | 2,56 <sup>NS</sup> | 6,99*              |
| <b>Tempo X Temp</b>                  | 0,39 <sup>NS</sup> | 0,38 <sup>NS</sup> | 0,11 <sup>NS</sup> | 0,15 <sup>NS</sup> |
| <b>Trat X Temp</b>                   | 0,23 <sup>NS</sup> | 0,45 <sup>NS</sup> | 0,02 <sup>NS</sup> | 0,46 <sup>NS</sup> |
| <b>Tempo X Trat X Temp</b>           | 0,23 <sup>NS</sup> | 0,25 <sup>NS</sup> | 0,03 <sup>NS</sup> | 0,60 <sup>NS</sup> |

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna, para cada variável, não diferem significativamente entre si pelo teste tukey (\*\*p<0,05; \*p<0,01).

As temperaturas de armazenamento não influenciaram a atividade da POD, porém os tempos de armazenamento e tratamentos aplicados foram significativos, as raízes feridas mostraram aumentos de 30; 20 e 37% quando comparadas ao controle, durante armazenamento por 14 dias a 25, 28 e 30 °C, respectivamente (Tabela 2). Os tratamentos aplicados não influenciaram a atividade da PPO, porém os tempos e temperaturas de armazenamento foram significativos, a temperatura de 30 °C mostrou aumentos de 16 e 12% em relação a 25 e 28 °C, durante armazenamento por 14 dias (Tabela 2). Os tratamentos aplicados, tempos e temperaturas de armazenamento foram significativos na análise da fração de fenóis solúveis, as raízes feridas mostraram aumentos de 73; 56 e 78% quando comparadas ao controle, durante armazenamento por 14 dias a 25, 28 e 30 °C, respectivamente (Tabela 2).

A peroxidase é a enzima responsável pela polimerização de monolignóis e compostos fenólicos a partir dos polímeros de lignina e suberina da via de fenilpropanoides (Quiroga et al., 2000), portanto os aumentos na atividade da POD e fração de fenóis solúveis observados em raízes feridas durante o armazenamento, podem ser relacionados a cicatrização, que demanda processos de lignificação e suberização para estabelecimento da periderme de cura. Sob as feridas ocorre a síntese de polifenóis, como lignina e suberina criando uma barreira física que impede a degradação do tecido (Walter et al., 1990). A lignina sustenta e fortalece a parede celular, facilita o transporte de água e previne a degradação dos polissacarídeos da parede celular, atuando como uma linha de defesa contra ataques de patógenos e insetos, etc (Hatfield & Vermerris, 2001).

A atividade das enzimas PG e PME não foi influenciada pelos tratamentos aplicados, porém os tempos e temperaturas de armazenamento foram significativos, a temperatura de 30 °C mostrou decréscimos de 23 e 24% para PG e 21 e 26% para PME em relação a 25 e 28 °C, durante armazenamento por 14 dias (Tabela 2).

A redução da atividade das enzimas PG e PME se deve ao processo de cicatrização de ferimentos, que permite manutenção da periderme nativa e maturação da periderme de cura, em que a temperatura de 30 °C se mostrou mais efetiva em diminuir a atividade enzimática. De acordo Neubauer et al. (2012), os transcritos de genes que codificam a biossíntese de proteínas da parede celular do tipo extensina e PME mostraram ter maior abundância durante o desenvolvimento do periderme de cura, seguido por decréscimos durante a maturação do periderme de cura.

As enzimas PG e PME são enzimas da parede celular relacionadas à abscisão, que afetam a integridade da lamela média das paredes celulares, controlando a adesão célula a célula. Em que a PG catalisa a clivagem hidrolítica das ligações de galacturonídeo na matriz péctica (Brummell & Harpster, 2001). Porém a despolimerização da pectina dependente de PG requer que as pectinas sejam desmetil-esterificadas pela PME (Wakabayashi et al., 2000; Brummell & Harpster, 2001), assim, a atividade da PME se correlacionaria com a atividade da PG, perda de firmeza e aumento do amolecimento dos frutos (Villavicencio et al., 2004).

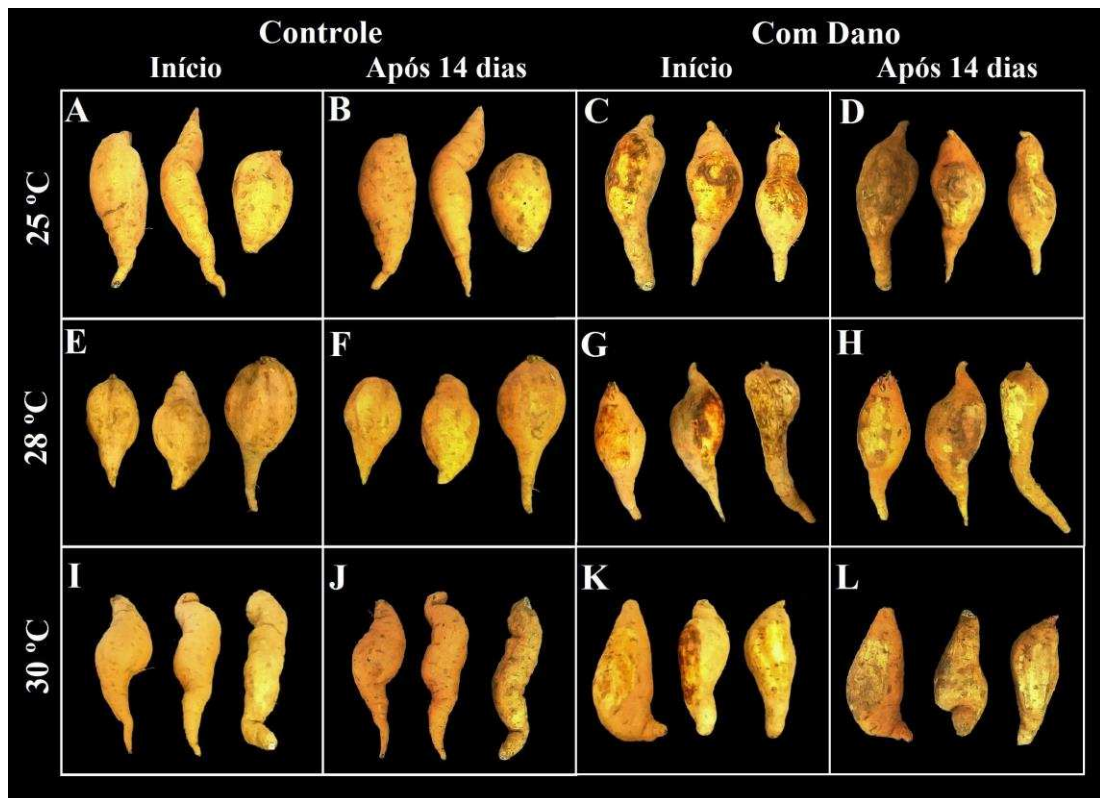
O ciclo celular deve estar ativo durante o processo de formação, crescimento e manutenção da periderme nativa, uma vez que as células felogênicas se dividem produzindo células de felema e feloderme. Horvath et al. (2006) identificaram um gene regulador do crescimento de plantas, StEBP1, que é expresso em órgãos em desenvolvimento, que promove a proliferação celular e é necessário para a expressão de CDKB1:1, um homólogo de quinase B dependente de ciclina (CDKB). Demonstrou-se que esses genes do ciclo celular são regulados positivamente durante o desenvolvimento da periderme da ferida, e StCDKB e StCKS1At são regulados negativamente durante a maturação da periderme de cura (Neubauer et al., 2012). Após a camada felogênica relacionada ao meristema se tornar inativa, a integração final de proteínas da parede celular, como extensinas e proteínas ricas em tirosina-lisina (TLRP), e a modificação de pectinas pela PME provavelmente desempenham papéis-chave em estabelecer a arquitetura necessária para o desenvolvimento da resistência ao rompimento da parede celular radial (Sabba & Lulai, 2005).

**Tabela 2.** Atividade da peroxidase - POD (UA min<sup>-1</sup> mg proteína), atividade da polifenoloxidase - PPO (UA min<sup>-1</sup> mg proteína), fração de fenóis solúveis (mg ácido gálico.g<sup>-1</sup> MF), atividade da poligalacturonase – PG (UA min<sup>-1</sup> mg proteína) e atividade da pectina metil esterase – PME (UA min<sup>-1</sup> mg proteína) em raízes de batata-doce (BRS Amélia) com ou sem dano mecânico armazenadas nas temperaturas 25, 28 e 30 °C por 14 dias.

|                                      | Análises           |                    |                 |                    |                    |
|--------------------------------------|--------------------|--------------------|-----------------|--------------------|--------------------|
|                                      | Atividade POD      | Atividade PPO      | Fenóis Solúveis | Atividade PG       | Atividade PME      |
| <b>Tempo (Dias)</b>                  |                    |                    |                 |                    |                    |
| 0                                    | 42,30 b            | 3,00 b             | 0,35 c          | 1,23 a             | 10,15 a            |
| 7                                    | 47,01 ab           | 2,91 b             | 0,55 b          | 0,67 b             | 8,77 b             |
| 14                                   | 51,38 a            | 3,78 a             | 0,70 a          | 0,54 c             | 6,05 c             |
| <b>Tratamentos</b>                   |                    |                    |                 |                    |                    |
| Controle                             | 40,94 b            | 3,17 a             | 0,39 b          | 0,81 a             | 8,12 a             |
| Aplicação de dano                    | 52,86 a            | 3,29 a             | 0,67 a          | 0,82 a             | 8,54 a             |
| <b>Temperaturas de armazenamento</b> |                    |                    |                 |                    |                    |
| 25 °C                                | 48,12 a            | 3,02 b             | 0,50 b          | 0,89 a             | 8,75 a             |
| 28 °C                                | 44,60 a            | 3,15 ab            | 0,46 b          | 0,88 a             | 9,32 a             |
| 30 °C                                | 47,97 a            | 3,52 a             | 0,64 a          | 0,68 b             | 6,91 b             |
| <b>Teste F</b>                       |                    |                    |                 |                    |                    |
| Tempo                                | 5,27*              | 12,65*             | 153,62*         | 104,19*            | 38,41*             |
| Tratamentos                          | 27,27*             | 0,65 <sup>NS</sup> | 281,74*         | 0,02 <sup>NS</sup> | 1,13 <sup>NS</sup> |
| Temperaturas                         | 1,01 <sup>NS</sup> | 3,68**             | 46,89*          | 11,35*             | 14,06*             |
| Tempo X Trat                         | 0,89 <sup>NS</sup> | 3,93**             | 182,16*         | 1,78 <sup>NS</sup> | 6,87*              |
| Tempo X Temp                         | 0,35 <sup>NS</sup> | 3,36**             | 16,05*          | 2,84**             | 4,47*              |
| Trat X Temp                          | 0,76 <sup>NS</sup> | 0,06 <sup>NS</sup> | 8,01*           | 0,03 <sup>NS</sup> | 1,19 <sup>NS</sup> |
| Tempo X Trat X Temp                  | 0,21 <sup>NS</sup> | 0,02 <sup>NS</sup> | 2,49**          | 0,07 <sup>NS</sup> | 0,43 <sup>NS</sup> |

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna, para cada variável, não diferem significativamente entre si pelo teste tukey (\*\*p<0,05; \*p<0,01).

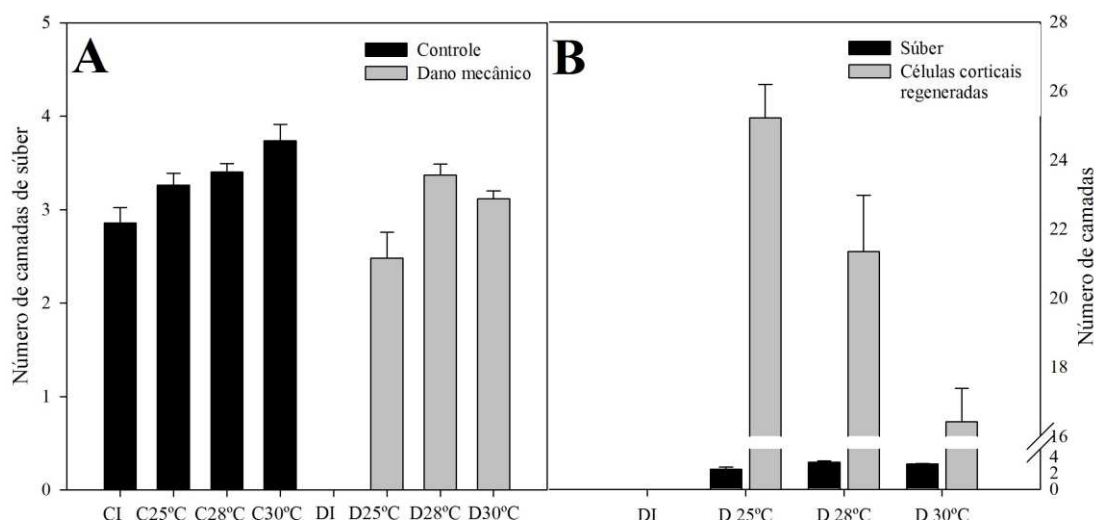
Após a colheita, a formação de periderme é iniciada por divisões de ambas as células epidérmicas e subepidérmicas, e após a maturação, se torna resistente à escoriação (Barel & Ginzberg, 2008). Na figura 4 é possível observar as raízes controle e com dano, antes e após o armazenamento por 14 dias nas temperaturas de 25, 28 e 30 °C. As raízes feridas armazenadas a 30 °C tiveram melhor aspecto visual em relação à adesão da casca, devido a menor incidência de manchas e melhor uniformidade de cicatrização na área ferida.



**Figura 4.** Aparência de raízes de batata-doce (BRS Amélia). Controle inicial a 25, 28 e 30 °C (A, E, I) e após armazenamento por 14 dias a 25, 28 e 30 °C (B, F, J), e raízes feridas antes do armazenamento a 25, 28 e 30 °C (C, G, K) e após armazenamento por 14 dias a 25, 28 e 30 °C (D, H, L).

Durante o tempo de armazenamento, houve acréscimos no número de camadas de súber nas raízes controle e regeneração completa da camada de súber nas raízes feridas (Figura 5A). Nas raízes feridas, as camadas de súber e células corticais foram 2,5; 3,3 e 3,1 e 25,2; 20,8 e 16,4 durante armazenamento por 14 dias a 25, 28 e 30 °C, respectivamente (Figura 5B). O aumento no número de camadas corticais e regeneração de súber se deve a elevada atividade meristemática do felogênio no período de armazenamento.

A periderme compreende três tecidos: o felema (súber), felogênio e a feloderme. O felema é composto por camadas de células mortas com paredes suberizadas que impedem a perda de água e atuam como uma barreira eficaz contra patógenos de plantas. A feloderme consiste em uma ou mais camadas de células com paredes celulósicas que dificilmente podem ser distinguidas do parênquima cortical. E o felogênio funciona como um meristema, dado que novas camadas consecutivas de felema são produzidas à medida que as camadas externas são descartadas (Lulai & Freeman, 2001).



**Figura 5.** Número de camadas de súber (A) e número de camadas de súber e células corticais regeneradas (B) em secções transversais da periderme de raízes de batata-doce (BRS Amélia). Abreviações: CI: controle inicial; DI: dano inicial; C25°, C28° e C30°C: controle após armazenamento de 14 dias em 25, 28 e 30 °C; e D25°C, D28°C e D30°C: dano após armazenamento de 14 dias em 25, 28 e 30 °C.

O fermento induz respostas à iniciação e regula os processos de cura, que são críticos para a proteção de tecidos lesionados e para a preservação prolongada do órgão. Esses processos regulatórios apresentam dois principais estágios de cicatrização de feridas que envolvem a suberização. Esses estágios são: formação da camada de fechamento ou suberização primária, seguido pela formação da periderme de cura ou suberização secundária. Nos processos de formação da camada de fechamento, a camada exposta de células do parênquima tuberoso é suberizada e não envolve divisão celular. Quando este processo é finalizado, é iniciada a formação de periderme da cura, onde uma camada felogênica meristemicamente ativa surge e se divide para produzir múltiplas camadas, fornecendo uma robusta barreira protetora. Nesse processo há aumentos no conteúdo de citocinina e auxina/IAA, que são consistentes com o envolvimento na atividade meristemática (Lulai, 2007; Lulai et al., 2014; Lulai & Neubauer, 2014; Lulai et al., 2016).

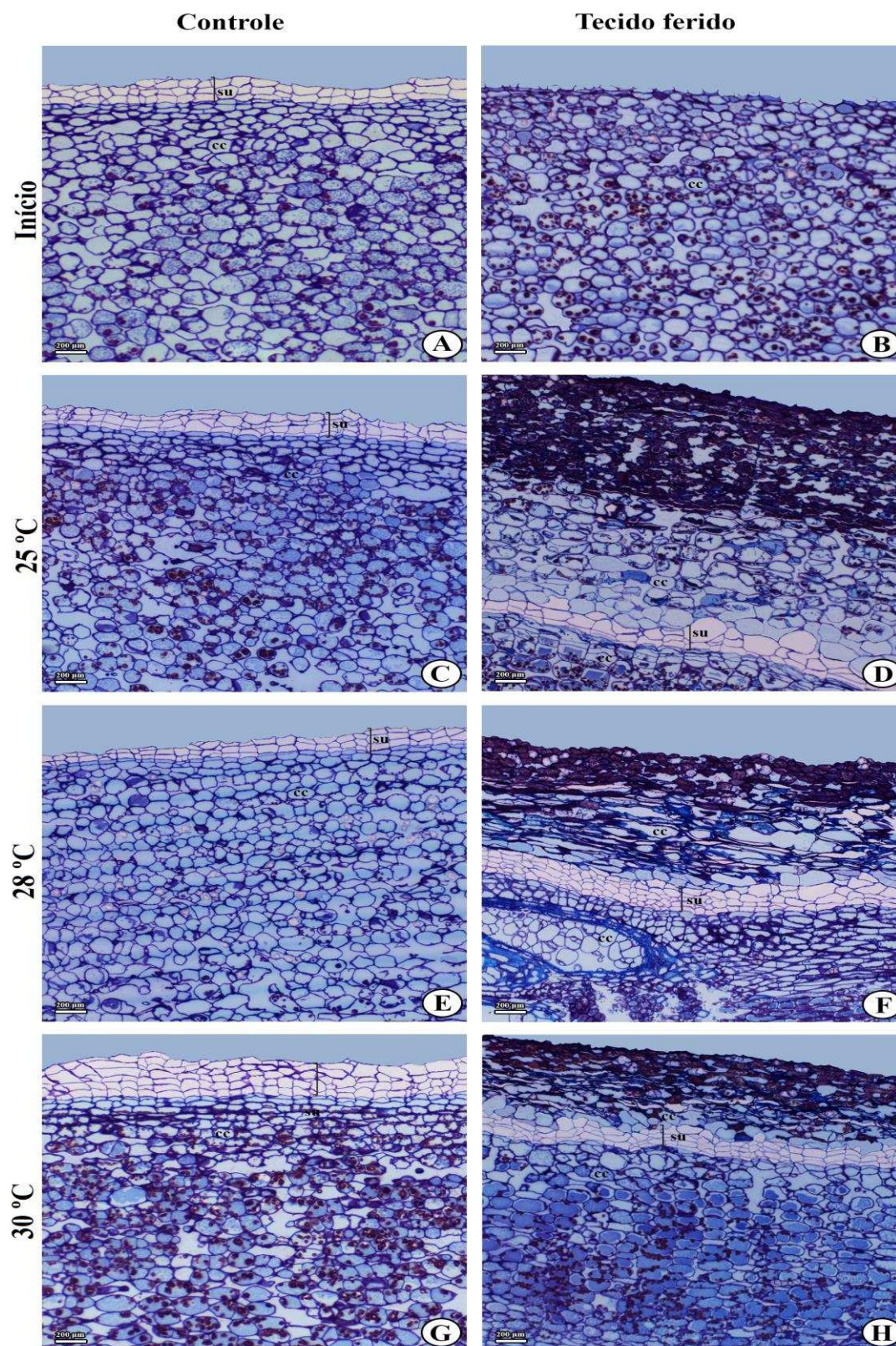
Na análise anatômica de microscopia de luz é possível observar uma diferenciação precisa entre as camadas de súber e células corticais, no aumento de 4X é evidenciado o espessamento da camada de súber em raízes do controle (Figuras 6C, 6E e 6G), sendo possível observar também a regeneração das camadas de súber e células corticais em raízes feridas (Figuras 6D, 6F e 6H). A Figura 7 mostra detalhes referentes às camadas de súber e células corticais identificadas na Figura 6.

Nas Figuras 6 e 7 observa-se que em raízes do controle e em raízes feridas existe menor acúmulo de grânulos de amido na feloderme e células corticais vizinhas que nas células do parênquima cortical, pois o felogênio utilizar reservas de amido provenientes da feloderme e das células corticais para a sua síntese (Lulai, 2007). As mesmas imagens mostram que nas células corticais regeneradas de raízes feridas identificam-se grandes quantidades de grânulos de amido na superfície da periderme, isto ocorre em resposta ao ferimento, uma vez que o acúmulo de amido na superfície evita o ressecamento excessivo das raízes Donegá et al. (2013).

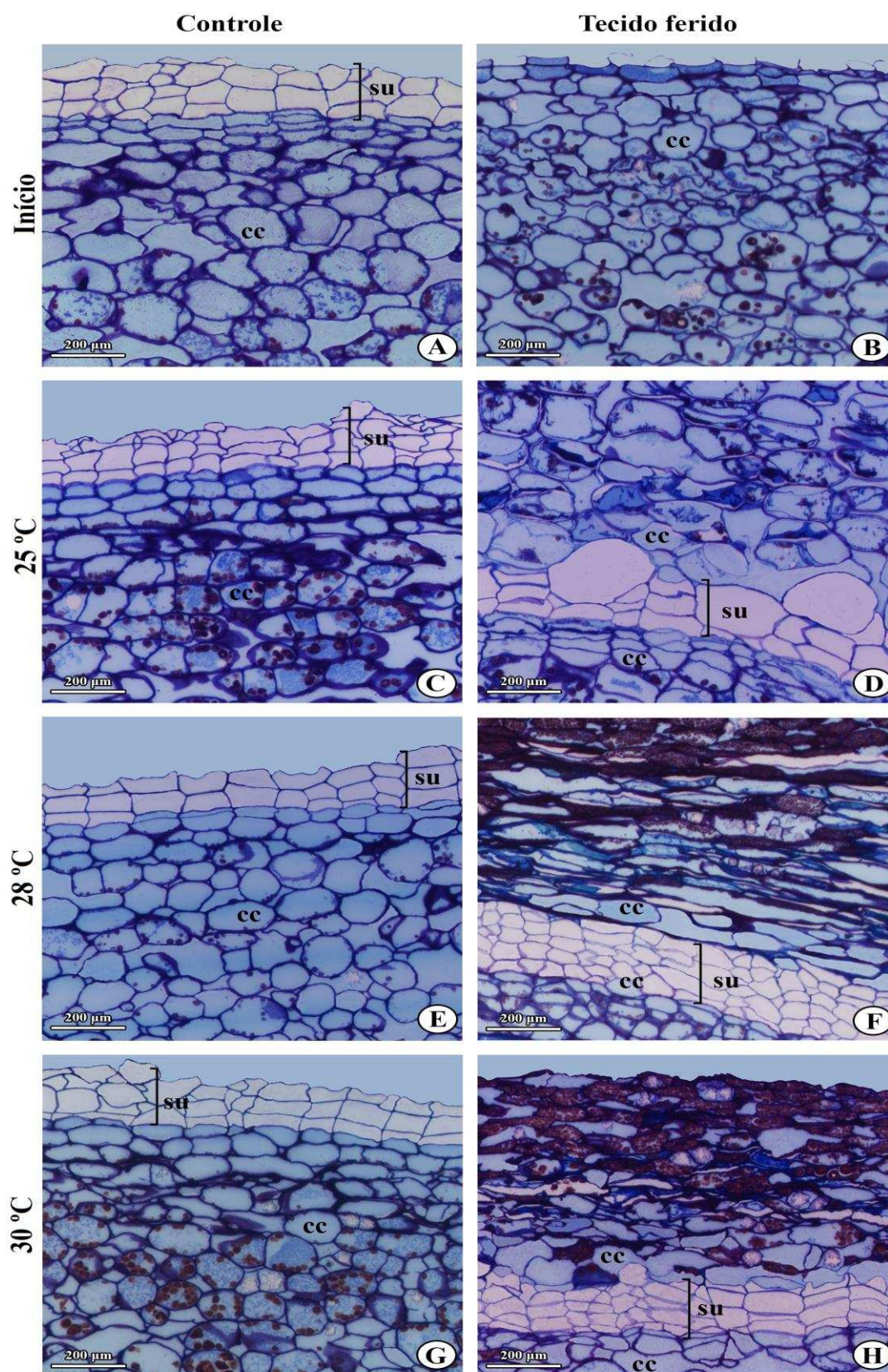
Na análise anatômica microscopia sob luz UV, é identificada elevada intensidade de fluorescência no CI (Figura 8A), e após 14 dias de armazenamento a intensidade de fluorescência diminui em 25 e 28 °C (Figuras 8C e 8E) e se mantém a 30 °C (Figura 8G). Em raízes feridas, devido à remoção inicial da periderme não é identificada fluorescência em DI (Figura 8B), após 14 dias de armazenamento a camada de súber foi regenerada, sendo mais espessa a 25 e 28 °C (Figuras 8D e 8F), porém mostra maior intensidade de fluorescência a 30 °C (Figura 8H).

As maiores intensidades de fluorescência que indicam acúmulo de suberina são mostradas em raízes do controle e feridas armazenadas a 30 °C, destacando a eficiência na manutenção da periderme nativa e maturação da periderme de cura, pois a impregnação das células do súber com suberina é essencial para a resistência da periderme (Lulai, 2007).

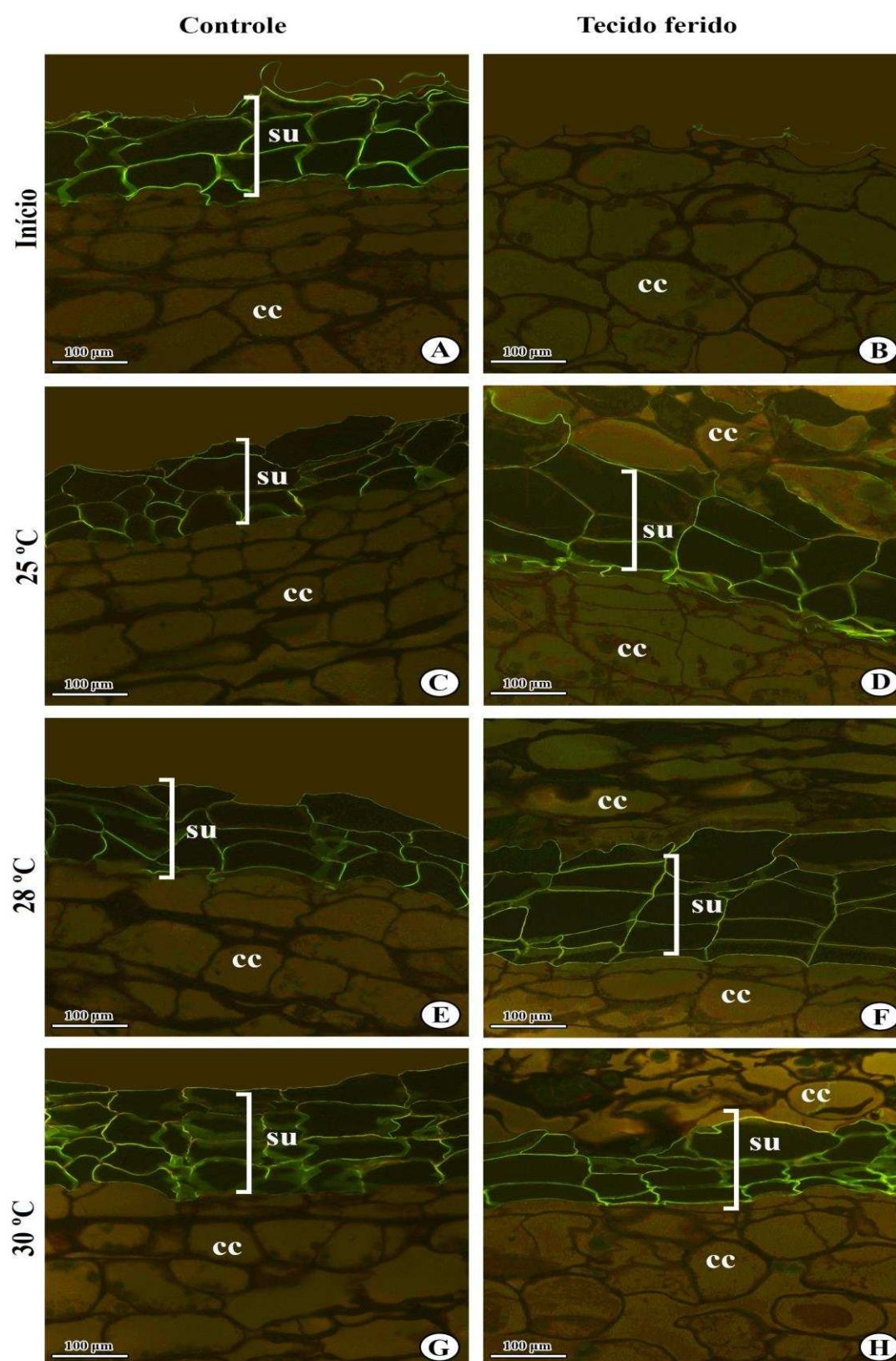
O espessamento ou maior número de camadas de súber podem não estar relacionados com maior eficiência de cicatrização ou maior proteção dos tecidos (Lulai, 2007), é necessário avaliar a impregnação de suberina nas camadas de súber que confere maior proteção contra a perda de vapor de água. A suberina consiste em um polímero de parede celular complexo composto por um domínio polifenólico contendo hidroxicinamas e domínio apolipalítico, e ocorre em células do súber da periderme de tubérculos de batata (*Solanum tuberosum*) e raízes tuberosas de batata-doce (*Ipomoea batatas*) (Bernards, 2000).



**Figura 6.** Fotomicrografias em aumento de 4X mostrando secções transversais da periderme de raízes de batata-doce (BRS Amélia) coradas com azul de toluidina e contra-coloração com lugol em microscopia de luz. Controle inicial (A) e após armazenamento por 14 dias em 25 (C), 28 (E) e 30 °C (G), e raízes feridas antes do armazenamento (B) e após armazenamento por 14 dias em 25 (D), 28 (F) e 30 °C (H). Su, súber; cc, células corticais. Barra = 200 µm.



**Figura 7.** Fotomicrografias em aumento de 10X mostrando secções transversais da periderme de raízes de batata-doce (BRS Amélia) coradas com azul de toluidina e contra-coloração com lugol em microscopia de luz. Controle inicial (A) e após armazenamento por 14 dias em 25 (C), 28 (E) e 30 °C (G), e raízes feridas antes do armazenamento (B) e após armazenamento por 14 dias em 25 (D), 28 (F) e 30 °C (H). Su, súber; cc, células corticais. Barra = 200 µm.



**Figura 8.** Fotomicrografias em aumento de 20X mostrando secções transversais da periderme de raízes de batata-doce (BRS Amélia) coradas com vermelho neutro sob luz UV. Fluorescência secundária amarelo-esverdeada indica lipídios (suberina). Controle inicial (A) e após armazenamento por 14 dias em 25 (C), 28 (E) e 30 °C (G), e raízes feridas antes do armazenamento (B) e após armazenamento por 14 dias em 25 (D), 28 (F) e 30 °C (H). Su, súber; cc, células corticais. Barra = 100 μm.

## CONCLUSÕES

Os resultados obtidos são sustentados pelos encontrados na literatura. Nos processos de cura, a perda de massa fresca foi estabilizada a partir do 7º dia de armazenamento em raízes tuberosas feridas, mostrando que ocorreu maturação da periderme de cura. As raízes feridas mostraram melhor manutenção metabólica e cicatrização de ferimentos quando armazenadas a 30 °C.

## REFERÊNCIAS

- BAREL, G.; GINZBERG, I. Potato skin proteome is enriched with plant defense components. *Journal of Experimental Botany*, v.59, n.12, p.3347–57, 2008. <https://doi.org/10.1093/jxb/ern184>
- BENJAMIN, N.D; MONTGOMERY, M.W. Polyphenol oxidase of royal ann cherries: purification and characterization. *Journal of Food Science*, v.38, p.799-806, 1973. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1973.tb02079.x>
- BERNARDS, M.A.; SUSAG, L.M.; BEDGAR, D.L.; ANTEROLA, A.M.; LEWIS, N.G. Induced phenylpropanoid metabolism during suberization and lignification: a comparative analysis. *Journal of Plant Physiology*, v.157, n.6, p.601–607, 2000.
- BRADFORD, M.M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, v.72, n.1-2, p.248-254, 1976. DOI: [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(76\)90527-3](https://doi.org/10.1016/0003-2697(76)90527-3)
- BRUMMELL, D.A.; HARPSTER, M.H. Cell wall metabolism in fruit softening and quality and its manipulation in transgenic plants. *Plant Molecular Biology*, v.47, n.1-2, p.311–340, 2001.
- CASTRO, L.A. S.; BECKER, A. Batata-doce BRS Amélia. Pelotas, RS: EBRAPA Clima Temperado, 2011. 2p.
- 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, n.2, p.248-254, 2013. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-05362013000200012>
- DUBOIS, M.; GILLES, K.A.; HAMILTON, J.K.; REBERS, P.A.; SMITH, F. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical Biochemistry*, v.28, n.3, p.350-356, 1956. <https://doi.org/10.1021/ac60111a017>
- EDMUNDS, B.; BOYETTE, M.; CLARK, C.; FERRIN, D.; SMITH, T.; HOLMES, G. Postharvest handling of sweetpotatoes. North Carolina Cooperative Extension Service, 2008. 53p.

- ESATBEYOGLU, T.; RODRÍGUEZ-WERNER, M.; SCHOLÖSSER, A.; WINTERHALTER, P.; RIMBACH, G. Fractionation, enzyme inhibitory and cellular antioxidant activity of bioactives from purple sweet potato (*Ipomoea batatas*). Food Chemistry, v.221, p.447-456, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.10.077>
- FERREIRA, D.F. Sisvar: a computer statistical analysis system. Ciência e Agrotecnologia, v.35, n.6, p.1039-1042, 2011. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542011000600001>
- FU, L.; XU, B.T.; XU, X.R.; QIN, X.S.; GAN, R.Y.; LI, H.B. Antioxidant capacities and total phenolic contents of 56 wild fruits from South China. Molecules, v.15, n.12, p.8602-8617, 2010. <https://doi.org/10.3390/molecules15128602>
- GIULIANO, G. Plant carotenoids: genomics meets multi-gene engineering. Current Opinion in Plant Biology, v.19, p.111-117, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2014.05.006>
- GONÇALVES, C.; RODRIGUES-JASSO, M.R.; GOMES, N.; TEIXEIRA, J.A.; BELO, I. Adaptation of dinitrosalicylic acid method to microtiter plates. Analytical Methods, v.2, n.12, p.2046-2048, 2010. <http://dx.doi.org/10.1039/C0AY00525H>
- HATFIELD, R.; VERMERRIS, W. Lignin formation in plants. The dilemma of linkage specificity. Plant Physiology, v.126, p.1351-1357, 2001. <https://doi.org/10.1104/pp.126.4.1351>
- HENZ, G.P.; SOUZA, R.M.; PEIXOTO, J.R.; BLUMER, L. Danos causados pelo impacto de queda na qualidade pós-colheita de raízes de mandioquinha-salsa. Horticultura Brasileira, v.23, n.4, p.881-886, 2005. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-05362005000400004>
- HORVATH, B.M.; MAGYAR, Z.; ZHANG, Y.; HAMBURGER, A.W.; BAKO, L.; VISSER, R.G.; BACHEM, C.W.; BÖGRE, L. EBP1 regulates organ size through cell growth and proliferation in plants. EMBO Journal, v.25, n.20, p.4909-4920, 2006. <https://doi.org/10.1038/sj.emboj.7601362>
- ISLAM, S.N.; NUSRAT, T.; BEGUM, P.; AHSAN, M. Carotenoids and  $\beta$ -carotene in orange fleshed sweet potato: A possible solution to vitamin A deficiency. Food chemistry, v.199, p.628-631, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.12.057>
- JOHANSEN, D.A. Plant Microtechnique. New York: McGraw-Hill, 1940. 423p.
- KARSTEN, J.; CHAVES, D.V.; FINGER, F.L.; BARBOSA, J.G. Papel e caracterização da polifenoloxidase em hastes de ave-do-paráíso (*Strelitzia reginae* Ait.). Ornamental Horticulture, v.19, n.2, p.161-171, 2013. <http://dx.doi.org/10.14295/rbho.v19i2.462>

- KHAN, A.A.; ROBINSON, D.S. Hydrogen donor specificity of mango isoperoxidases. *Food Chemistry*, v.49, n.4, p.407-410, 1994.
- KUMAR, G.N.M.; LULAI, E.C.; SUTTLE, J.C.; KNOWLES, N.R. Age-induced loss of wound-healing ability in potato tubers is partly regulated by ABA. *Planta*, 231: 1433–1445, 2010. <http://dx.doi.org/10.1007/s00425-010-1269-8>
- LUENGO, R.F.A.; CALBO, A.G. Armazenamento de hortaliças. 1ed. Brasília: Embrapa Hortaliças, v.1, 2001. 242p.
- LULAI, E.C. Skin-set, wound-healing and related defects. In: VREGDENHIL, D. ed. *Potato biology and biotechnology: advances and perspectives*. p.471–496. Amsterdam: Elsevier, 2007.
- LULAI, E.C.; CAMPBELL, L.G.; FUGATE, K.K.; McCUE, K.F. Biological differences that distinguish the 2 major stages of wound healing in potato tubers. *Plant Signaling & Behavior*, v.11, n.12, p.1-5, 2016. <http://dx.doi.org/10.1080/15592324.2016.1256531>
- LULAI, E.C.; NEUBAUER, J.D.; SUTTLE, J.C. Kinetics and localization of wound-induced DNA biosynthesis in potato tuber. *Journal of Plant Physiology*, v.171, n.17, p.1571–1575, 2014. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jplph.2014.07.013>
- LULAI, E.C.; NEUBAUER, J.D. Wound-induced suberization genes are differentially expressed, spatially and temporally, during closing layer and wound periderm formation. *Postharvest Biology and Technology*, v.90, p.24–33, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2013.11.010>
- LULAI, E.C.; FREEMAN, T.P. The importance of phellogen cells and their structural characteristics in susceptibility and resistance to excoriation in immature and mature potato tuber (*Solanum tuberosum* L.) periderm. *Annals of Botany*, v.88, n.4, p.555–561, 2001. <https://doi.org/10.1006/anbo.2001.1497>
- LULAI, E.C.; ORR, P.H. Porometric measurements indicate wound severity and tuber maturity affect the early stages of wound-healing. *American Potato Journal*, v.72, n.4, p.225–241, 1995.
- McCREADY, R. M.; GUGGOLZ, J.; SILVEIRA, V.; OWENS, H.S. Determination of starch and amylase in vegetables. *Analytic Chemistry*, v.22, n.9, p.1156-1158, 1950. <https://doi.org/10.1021/ac60045a016>
- MERCADO-SILVA, E.; CANTWELL, M. Quality changes in jicama roots stored at chilling and non chilling temperatures. *Journal of Food Quality*, v.21, p.211–221, 1998.
- MERCADO-SILVA, E.; GARCIA, R.; HEREDIA-ZEPEDA, A.; CANTWELL, M. Development of chilling injury in five jicama cultivars. *Postharvest Biology and Technology*, v.13, n.1, p.37-43, 1998. [https://doi.org/10.1016/S0925-5214\(97\)00071-9](https://doi.org/10.1016/S0925-5214(97)00071-9)

- NAGATA, M.; YAMASHITA, I. Simple method for simultaneous determination of chlorophyll and carotenoids in tomato fruit. *Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi*, v.39, n.10, p.925-928, 1992. <https://doi.org/10.3136/nsk1962.39.925>
- NEUBAUER, J.D.; LULAI, E.C.; THOMPSON, A.L.; SUTTLE, J.C.; BOLTON, M.D. Wounding coordinately induces cell wall protein, cell cycle and pectin methyl esterase genes involved in tuber closing layer and wound periderm development. *Journal of Plant Physiology*, v.169, n.6, p.586-95, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2011.12.010>
- O'BRIEN, T.P.; FEDER, N.; McCULLY, M.E. Polychromatic staining of plant cell walls by toluidine blue O. *Protoplasma*, v.59, n.2, p.368-373, 1964. <https://doi.org/10.1007/BF01248568>
- PARMAR, A.; KIRCHNER, S.M.; STURM, B.; HENSEL, O. Pre-harvest curing: effects on skin adhesion, chemical composition and shelf-life of sweet potato roots under tropical conditions. *East African Agricultural and Forestry*, latest articles, 14p., 2017. <http://dx.doi.org/10.1080/00128325.2017.1340141>
- PETERSON, R.L.; BARKER, W.G. Early tuber development from explanted stolon nodes of *Solanum tuberosum* var. Kennebec. *Botanical Gazette*, v. 140, n.4, p.398-406, 1979.
- PINELI, L.L.O.; MORETTI, C.L.; ALMEIDA, G.C.; NASCIMENTO, A.B.G.; ONUKI, A.C.A. Associação de atmosfera modificada e antioxidantes reduz o escurecimento de batatas 'Ágata' minimamente processadas. *Horticultura Brasileira*, v.23, n.4, p.993-999, 2005. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-05362005000400027>
- PIRES, T.C.R.; FINARDI-FILHO, F. Extraction and assay of pectic enzymes from Peruvian carrot (*Arracacia xanthorrhiza* Bancroft). *Food Chemistry*, v.89, n.1, p.85-92, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.02.023>
- PRANAITEIENE, R.; DANILCENKO, H.; JARIENE, E.; DABKEVICIUS, Z. The effect of inhibitors on the changes of potato tuber quality during the storage period. *Journal of Food, Agriculture e Environment*, v.6, p.231-235, 2008.
- QUIROGA, M.; GUERRERO, C.; BOTELLA, M.A.; BARCELÓ, A.; AMAYA, I.; MEDINA, M.I.; ALONSO, F.J.; FORCHETTI, S.M.; TIGIER, H.; VALPUESTA, V. A tomato peroxidase involved in the synthesis of lignin and suberin. *Plant Physiology*, v.122, p.1119-1127, 2000. <http://dx.doi.org/10.1104/pp.122.4.1119>
- RAMOS, P.A.S.; SEDIYAMA, 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. <http://dx.doi.org/10.1590/S1981-67232013005000018>

- RAY, R.C.; RAVI, V. Postharvest spoilage of sweetpotato in tropics and control measures. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, v.45, p.623-644, 2005. <https://doi.org/10.1080/10408390500455516>
- REES, D.; VAN OIRSCHOT, Q.E.A., AMOUR, A.; RWIZA, E.; KAPINGA, R.; CAREY, T. Cultivar variation in keeping quality of sweetpotatoes. *Postharvest Biology and Technology*, v.28, n.2, p.313-325, 2003. [https://doi.org/10.1016/S0925-5214\(02\)00180-1](https://doi.org/10.1016/S0925-5214(02)00180-1)
- SABBA, R.; LULAI, E.C. Immunocytological analysis of potato tuber periderm and changes in pectin and extensin epitopes associated with periderm maturation. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, v.130, n.6, p.936–942, 2005.
- SCHREIBER, L.; FRANK, R.; HARMANN, K. Wax and suberin development of native and wound periderm of potato (*Solanum tuberosum* L.) and its relation to peridermal transpirations. *Planta*, v.220, n.4, p.520–530, 2005. <https://doi.org/10.1007/s00425-004-1364-9>
- TANAKA, M.; ISHIGURO, K.; OKI, T.; OKUNO, S. Functional components in sweetpotato and their genetic improvement. *Breeding Science*, v.67, n.1, p.52–61, 2017. <https://doi.org/10.1270/jsbbs.16125>
- VAN OIRSCHOT, Q.E.A.; REES, D.; AKED, J.; KIHURANI, A. Sweetpotato cultivars differ in efficiency of wound healing. *Postharvest Biology and Technology*, v.42, n.1, p.65–74, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2006.05.013>
- VICENTE A. R.; COSTA, M. L.; MARTÍNEZ G. A.; CHAVES A. R.; CIVELLO P. M. Effect of heat treatments on cell wall degradation and softening in strawberry fruit. *Postharvest Biology and Technology*, v.38, p.213-322, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2005.06.005>
- VILLAVICENCIO, L.E.; BLANKENSHIP, S.M.; YENCHO, G.C. Skin adhesion in sweetpotato and its lack of relationship to polygalacturonase and pectinmethylesterase during storage. *Postharvest Biology and Technology*, v.32, p.183–192, 2004. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2003.10.007>
- WAKABAYASHI, K.; CHUN, J.; HUBER, D.J. Extensive solubilization and depolymerization of cell wall polysaccharides during avocado (*Persea Americana*) ripening involves concerted action of polygalacturonase and pectinmethylesterase. *Physiologia Plantarum*, v.108, n.4, p.345–352, 2000. <https://doi.org/10.1034/j.1399-3054.2000.t01-1-100402.x>
- WALTER JR., W.M; RANDALL-SCHADEL, B.; SCHADEL, W.E. Wound healing in cucumber fruit. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, v.115, n.5, p.444–452, 1990.

## **CONCLUSÕES GERAIS**

Os dados disponíveis sugerem que o processamento pós-colheita e armazenamento de batata-doce precisam de mais estudos, que impliquem em melhorias na qualidade de armazenamento e no conhecimento do potencial fisiológico das raízes, visando explorar novas cultivares para fins industriais e de exportação. Dessa forma, este trabalho pode auxiliar os produtores, além de contribuir com a área acadêmica e científica, visando minimizar processos relacionados à deterioração fisiológica das raízes tuberosas durante a fase de pós-colheita, oferecendo alternativas para melhorar a qualidade de armazenamento, identificar potencial de processamento, bem como prolongar a vida útil e valor de comercialização das raízes tuberosas.