

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

RÍVIA DARLA ALVARES AMARAL

**EFEITO DE INIBIDORES DE ESCURECIMENTO NA
QUALIDADE DE BATATAS MINIMAMENTE PROCESSADAS**

**EFFECTO DE INIBIDORES DEL OSCURECIMIENTO EN LA
CALIDAD DE PATATAS MINIMAMENTE PROCESADAS**

CAMPINAS
MARÇO DE 2015

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

RÍVIA DARLA ALVARES AMARAL

**EFEITO DE INIBIDORES DE ESCURECIMENTO NA
QUALIDADE DE BATATAS MINIMAMENTE PROCESSADAS**

**EFFECTO DE INIBIDORES DEL OSCURECIMIENTO EN LA
CALIDAD DE PATATAS MINIMAMENTE PROCESADAS**

Tese de doutorado submetida à Faculdade de
Engenharia Agrícola para obtenção do título de Doutora
em Engenharia Agrícola, na área de concentração de
Tecnologia Pós-colheita.

Orientador: Prof. Dr. Benedito Carlos Benedetti

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Montserrat Pujolà Cunill

Este exemplar corresponde à versão final da tese defendida pela
aluna Rívia Darla Alvares Amaral e orientada pelo Prof. Dr. Benedito
Carlos Benedetti e pela Prof^a Dr^a Montserrat Pujolà Cunill



CAMPINAS
MARÇO DE 2015

Ficha catalográfica
Universidade Estadual de Campinas
Biblioteca da Área de Engenharia e Arquitetura
Rose Meire da Silva - CRB 8/5974

Am13e Amaral, Rívia Darla Álvares, 1985-
Efeitos de inibidores de escurecimento na qualidade de batatas minimamente processadas / Rívia Darla Álvares Amaral. – Campinas, SP : [s.n.], 2015.

Orientadores: Benedito Carlos Benedetti e Montserrat Pujolà Cunill.
Tese (doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola.

1. Ultrassom. 2. Cobertura Comestíveis. 3. Branqueamento. 4. Ácido cítrico. 5. Armazenamento. I. Benedetti, Benedito Carlos, 1956-. II. Cunill, Montserrat Pujolà. III. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Agrícola. IV. Título.

Informações para Biblioteca Digital

Título em outro idioma: Efecto de inibidores del oscurecimiento en la calidad de patatas mínimamente procesadas

Palavras-chave em inglês:

Ultrasound
Edible coating
Blanching
Citric acid
Storage

Área de concentração: Tecnologia Pós-Colheita

Titulação: Doutora em Engenharia Agrícola

Banca examinadora:

Benedito Carlos Benedetti
Francisco Luis Sepulcre Sánchez
Marta Helena Fillet Spoto
Flávio Luís Schmidt
José Tadeu Jorge

Data de defesa: 30-03-2015

Programa de Pós-Graduação: Engenharia Agrícola

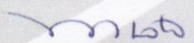
Este exemplar corresponde à redação final da **Tese de Doutorado** defendida por **Rívia Darla Álvares Amaral**, aprovada pela Comissão Julgadora em 30 de março de 2015, na Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas.



Prof. Dr. Benedito Carlos Benedetti – Presidente e Orientador
Feagri/Unicamp



Prof. Dr. Francisco Luis Sepulcre Sánchez - Membro Titular
UPC



Prof.ª Dr.ª Marta Helena Fillet Spoto – Membro Titular
ESALQ/USP



Prof. Dr. Flávio Luís Schmidt - Membro Titular
FEA/Unicamp



Prof. Dr. José Tadeu Jorge - Membro Titular
FEAGRI/Unicamp

RESUMO

A batata (*Solanum tuberosum* L.) minimamente processada é um produto que vem apresentando crescente aumento na comercialização, embora a indústria de processamento encontre dificuldades na manutenção da qualidade dos produtos, devido a alterações organolépticas, principalmente relativas à suscetibilidade deste tubérculo ao escurecimento enzimático, o que acaba por ser um fator limitante à sua vida útil. Dessa forma, a hipótese deste trabalho é que a aplicação de ácido cítrico, alginato de sódio, ultrassom e branqueamento, usados isoladamente ou combinados promovem a redução do escurecimento de batatas minimamente processadas armazenadas sob refrigeração e não promovem alterações indesejáveis na textura após a fritura. A pesquisa teve como objetivo avaliar o efeito de diferentes agentes antioxidantes no escurecimento da batata minimamente processada e seus efeitos na textura após a fritura e durante o armazenamento refrigerado. Para esta finalidade, os tubérculos foram adquiridos de um produtor local, selecionados, lavados em água potável, descascados manualmente, cortados em tiras, submetidos a tratamentos antiescurecimento por imersão, drenados, acondicionados em bolsas de polietileno de alta densidade, selados com seladora à vácuo e armazenados sob refrigeração (3 ± 1 °C) por 12 dias. Os tratamentos utilizados foram: ácido cítrico, alginato de sódio, ultrassom e branqueamento, além de combinação entre as melhores concentrações desses tratamentos. Na primeira etapa foram realizados ensaios para seleção das melhores concentrações das soluções antioxidantes com análises de pH, ácido ascórbico, cor (amostra fresca e frita), matéria seca, absorção de óleo durante a fritura e textura (amostra fresca e frita). Na segunda fase foram realizados ensaios com as melhores concentrações definidas nos ensaios da primeira fase isoladamente e combinados, com análises de açúcares, amido, atividade de polifenoloxidase, aromas voláteis, microscopia eletrônica de varredura, formação de acrilamida, além das análises realizadas na primeira fase. As amostras foram fritas em óleo de girassol a 180 ± 10 °C por 6 minutos. Os resultados mostraram que a cultivar Agata apresentou os menores valores para as variáveis cor, matéria seca e firmeza das batatas minimamente processadas e fritas, o que permitiu a discriminação desta cultivar e a confirmação de que seu uso é indicado para cocção. Em contrapartida, as cultivares Agria, Caesar e Asterix são mais indicadas para fritura. O tempo de exposição ao banho ultrassom (42 kHz; 200 W) foi inversamente proporcional ao pH das

amostras. Além disso, a imersão das batatas por um tempo prolongado alterou a microestrutura da batata, promovendo a ruptura da estrutura celular. O uso de 5 minutos de banho ultrassom (42 kHz; 200 W) não promoveu alterações indesejáveis no teor de matéria seca e firmeza das batatas antes e após a fritura, além de outros componentes e atributos sensoriais. Apesar do branqueamento ser um método efetivo na inativação de microrganismos e enzimas, seu uso não é recomendado para a batata minimamente processada devido aos danos causados ao tecido que promovem alterações indesejáveis de qualidade nesses produtos. O recobrimento das batatas minimamente processadas com alginato de sódio, embora tenha reduzido a taxa respiratória das fatias, não contribuiu para impedir o escurecimento das amostras. A combinação de ultrassom de 42 kHz e ácido cítrico (2 %) por 5 minutos demonstrou ser o tratamento mais efetivo na redução do escurecimento dentre todos os estudados nesta tese, além de não afetar os parâmetros de qualidade das batatas antes e após a fritura e reduzir a contaminação microbiana das batatas minimamente processadas, permitindo a manutenção da vida útil dos produtos pelos 12 dias estudados.

Palavras-chave: ácido cítrico, alginato de sódio, branqueamento, banho de ultrassom, refrigeração.

RESUMEN

La patata (*Solanum tuberosum* L.) minimamente procesada es un producto cuya comercialización va en aumento, aunque la industria del procesamiento tenga dificultades para mantener la calidad de los productos, debido a los cambios organolépticos y especialmente a su susceptibilidad a la oxidación enzimática, lo que implica una reducción de su vida útil. Por lo tanto, la hipótesis de este estudio ha sido que la aplicación de ácido cítrico, alginato de sodio y el baño de ultrasonidos utilizados solos, o combinados, promueven la reducción del oscurecimiento en las patatas minimamente procesadas almacenadas en refrigeración, y que no causa cambios indeseables en la textura después de su fritura. El trabajo de investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto de los diferentes tratamientos antioxidantes en el oscurecimiento de la patata minimamente procesada y sus efectos en la textura durante su almacenamiento en refrigeración y después de frita. Para este propósito, se trabajó con tubérculos adquiridos en un distribuidor local, que fueron previamente seleccionados, lavados en agua potable, pelados manualmente, cortado en tiras, sumergidos en las diferentes soluciones en estudio, escurridos, envasados en bolsas de polietileno de alta densidad, selladas al vacío y almacenados bajo refrigeración (3 ± 1 °C) durante 12 días. Las soluciones utilizadas fueron: ácido cítrico, alginato de sodio, baño de ultrasonidos y blanqueo, además de la combinación de las mejores concentraciones de estos tratamientos. Las muestras fueron fritas con aceite de girasol a una temperatura de 180 ± 10 °C durante 6 minutos. Los resultados obtenidos indican que el cultivar Agata ha presentado los valores más bajos para las variables color, materia seca y firmeza, tanto de las patatas minimamente procesadas como de las patatas fritas, lo que ha permitido la discriminación de este cultivar, y la confirmación de que su uso no es adecuado para freír, en contraste, con los otros cultivares estudiados (Agria, Caesar y Asterix). El tiempo de inmersión en el baño de ultrasonidos (42 kHz; 200 W) está relacionado inversamente con el valor del pH de las muestras. Además, a mayor tiempo de inmersión de las patatas, mayores cambios en la microestructura de la patata y mayor tendencia a la ruptura de la estructura celular. El tratamiento con el baño de ultrasonidos (42 kHz; 200 W) durante 5 minutos parece ser el más adecuado ya que no causó variaciones significativas en el contenido de materia seca y firmeza de las patatas antes y después de la fritura, ni en los otros componentes y atributos sensoriales estudiados. A pesar de que el blanqueo es un método

eficaz para la inactivación de microorganismos y enzimas, su uso no es recomendable para la patata minimamente procesada debido a los daños causados en el tejido, ya que promueven efectos indeseables en la calidad en estos productos. Aunque, el recubrimiento de las patatas minimamente procesadas con alginato de sodio redujo la tasa respiratoria de las tiras durante los 12 días de almacenamiento estudiado, el tratamiento no resultó efectivo para evitar el oscurecimiento de las muestras. La combinación del baño de ultrasonidos de 42 kHz durante 5 minutos conjuntamente con ácido cítrico al 2%, demostró ser el tratamiento más efectivo de todos los estudiados en esta tesis como tratamiento antioscurecimiento, ya que no afectó a los parámetros de calidad (nutricionales y sensoriales) de las patatas antes y después de la fritura, y redujo la contaminación microbiana de las patatas minimamente procesadas, con lo cual se permitió mantener la vida útil del producto los 12 días estudiados.

Palabras clave: ácido cítrico, alginato de sodio, blanqueo, baño de ultrasonidos, refrigeración.

ABSTRACT

Fresh-cut potatoes (*Solanum tuberosum* L.) are products that are coming up with a increasing commercialization, although the processing industry has difficulties in maintaining food quality because of organoleptic changes mainly due the susceptibility of tuber to enzymatic browning, which turns out to be a limitant factor in shelf-life. Thus, the hypothesis of this work is that the application alone or combined of citric acid, sodium alginate, ultrasound bath and blanching promoted the reduction of browning of refrigerated minimally processed potatoes and do not promote undesirable changes in texture after frying. The research aimed to evaluate the effect of different antioxidants on browning of minimally processed and the effects on texture after frying and during cold storage. For this purpose, tubers were acquired from a local producer, selected, washed in tap water, manually peeled, cut into strips, soaked in antioxidant solutions, drained, packed in polyethylene bags, sealed with sealing vacuum and stored at 3 ± 1 °C for 12 days. The antioxidants solutions used are: citric acid, sodium alginate, ultrasound bath and blanching, besides the combination between the best concentrations. Samples were fried in sunflower oil at 108 ± 10 °C for 6 minutes. The results show that Agata cultivar had the lowest values for color, dry matter content and firmness variables of fresh-cut and fried potatoes, which allowed discrimination of this cultivar and confirmation that its use is indicated for cooking. In contrast, Agria, Caesar and Asterix cultivars are suitable for frying. The time of exposure to ultrasound bath (42 kHz, 200 W) was inversely proportional to the pH of the samples. Furthermore, the immersion of potatoes for an extended period altered their microstructure, promoting breakage of the cellular structure. The use of 5 minutes of ultrasound bath (42 kHz, 200 W) did not cause undesirable changes in dry matter content and firmness of the potatoes before and after frying, besides other components and sensory attributes. Despite blanching be an effective method for microorganisms and enzyme inactivation, its use is not recommended to fresh-cut potatoes due to damage to tissue that promote undesirable quality changes in these products. The coating of minimally processed potatoes with sodium alginate, although it reduced the respiratory rate of the slices did not contribute to prevent browning of the samples. The combination of ultrasound and citric acid promoted the reduction of microbial contamination of the fresh-cut potatoes, in addition to not affect the quality parameters of the products before and after frying.

Keywords: citric acid, sodium alginate, blanching, ultrasound bath, refrigeration.

SUMÁRIO

RESUMO	vii
RESUMEN	ix
ABSTRACT	xi
LISTA DE FIGURAS	xxiii
LISTA DE TABELAS	xxvii
CAPÍTULO 1. Introdução e objetivos	1
1.1 Introdução	1
1.2 Objetivos	3
1.3 Organização da Tese	3
1.4 Referências Bibliográficas	6
CAPÍTULO 2. Revisão bibliográfica	7
2.1 Batata - aspectos gerais	7
2.2 Processamento	12
2.3 Escurecimento enzimático	13
2.4 Fritura e textura	24
2.5 Referências bibliográficas	27
CAPÍTULO 3. Effect of Citric Acid on Browning of Fresh-cut Potatoes and on Texture after Frying	37
Introduction	38
Materials and Methods	39
Results and Discussion	40
Conclusions	45
Literature Cited	45
CAPÍTULO 4. A first approach of using ultrasound as an alternative for blanching in fresh-cut potato	47
Introduction	48
Materials and Methods	51
Results and Discussion	55
Conclusions	71
References	71

CAPÍTULO 5. Ultrasound in fresh-cut potatoes: Effect of time of application on color, firmness and starch content.....	79
Introduction	80
Materials and Methods	81
Results and Discussion	83
Conclusions	86
References	87
 CAPÍTULO 6. Efeito da combinação de tratamentos antiescurecimento na qualidade de batatas minimamente processadas e após a fritura	89
Introdução.....	89
Material e métodos	90
Resultados e discussão	93
Referências	101
 CAPÍTULO 7. Aplicação de alginato de sódio em batata “Asterix” minimamente processada	105
Introdução.....	105
Material e métodos	106
Resultados e discussão	109
Conclusões.....	119
Referências	120
 CAPÍTULO 8. Instrumental and nutritional quality of processed potato treated by using edible coating, thermal and nonthermal treatments - effects on shelf life	123
Introduction	123
Material and Methods.....	124
Results and discussion.....	128
Conclusions	139
References	139
 CAPÍTULO 9. Discussão geral.....	145
9.1 Discussão geral.....	145
9.2 Referências bibliográficas	147
 CAPÍTULO 10. Conclusões.....	151
 CAPÍTULO 11. Conclusiones	153

*"O coração do homem pode fazer planos, mas a resposta certa dos lábios vem do
Senhor.
Todos os caminhos do homem são puros aos seus olhos, mas o Senhor pesa o
espírito.
Confia ao Senhor as tuas obras, e os teus desígnios serão estabelecidos." Pv 16
Deus é bom o tempo todo. O tempo todo Deus é bom!*

DEDICATÓRIA

Aos meus pais Neura e Eujácio, pelo apoio incondicional e por todo o esforço que fizeram para me dar a melhor educação possível. Por suportarem a dor de ver um filho sair de casa tão jovem pra estudar. Essa vitória eu dedico a vocês, painho e mainha.

AGRADECIMENTOS

À Deus, por proporcionar esse momento, me dar sabedoria na escolha do melhor caminho e me capacitar.

Aos meus pais por apoiarem e incentivarem o meu crescimento profissional, por acreditarem em mim, pelo amor e confiança.

À minha irmã Vanessa, por sempre me fazer sentir sua presença mesmo de longe, me dar forças, ânimo e por todo o seu amor.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de estudos concedida no início do doutorado.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pela bolsa de estudos regular concedida no Brasil (Processo nº 2011/20093-8) e pela Bolsa de Estágio de Pesquisa no Exterior (Processo nº 2012/11520-2) na Espanha.

À Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) e ao Departament de d'Enginyeria Agroalimentària i Biotecnologia da Universitat Politècnica de Catalunya - BarcelonaTech (UPC) pela oportunidade de realizar este trabalho.

Aos dois orientadores desta tese. Ao Prof. Dr. Benedito Carlos Benedetti pela confiança que depositou em mim desde o mestrado, paciência e dedicação. À prof. Dra. Montserrat Pujolà pelo esforço e paciência; também por seguir além do âmbito profissional e ser minha mãe em Barcelona, me tratando com tanto carinho. A orientação compartilhada é ainda mais exigente, mas vocês conseguiram sincronizar as idéias e recomendações e, com interesse e dedicação, me ajudaram na execução desta tese.

À banca examinadora, composta pelos professores, prof. Dr. José Tadeu Jorge, prof. Dr. Francisco Luis Sepulcre Sanchez, prof. Dr. Flávio Luís Schmidt, prof. Dra. Marta Helena Fillet Spoto e prof. Dra. Silene Bruder Silveira Sarmento, por enriquecer este trabalho com suas sugestões e críticas.

No desenvolvimento desta tese tive o prazer de encontrar, conhecer e trabalhar com pessoas que colaboraram de forma primordial para que tudo ocorresse de forma satisfatória e leve. Nos dois países que vivi durante os últimos cinco anos, conheci pessoas que me aconselharam, corrigiram, apoiaram, incentivaram ou simplesmente estiveram ao meu lado e se tornaram especiais.

À prof. Dra. Isabel Achaerandio, que apesar de não ser minha orientadora formal, me ajudou imensamente na execução do projeto. Isabel, gracias por todo lo que me enseñaste. Gracias a tus consejos siempre me acordaré de que “yo valgo mucho”.

Aos técnicos e profissionais de pesquisa da FEAGRI: Rosália, Chico, Leandro, Luís, Clóvis, Zé Alencar, Thiago e Giovani. A todos os funcionários da secretaria de pós-graduação e também da graduação.

À Renata e Fernanda, técnicas do laboratório de Instrumentação do Departamento de Tecnologia de Alimentos (DTA), pela colaboração na realização dos ensaios de determinação de cor. Aos pesquisadores Alessandra e Márcio por disponibilizar o laboratório de cereais para realização das análises de absorção de óleo. À pesquisadora Edma, por disponibilizar o liofilizador do Núcleo de Estudos e Pesquisas em Alimentos.

A los técnicos del Departament de d’Enginyeria Agroalimentària i Biotecnologia de la UPC: Maria Julià, Sheila, Toñi, Enric y Maria Rodriguez por la ayuda en los laboratorios. A Montse Marine y Pilar Castellana por la ayuda en los trámites administrativos. A los conserjes que siempre han sido muy simpáticos conmigo y por dedicaren una sonrisa a cada día.

A tres amistades muy especiales que he hecho en la UPC y que llevo en mi corazón. Sheila, que de compañera de despacho resultó en una gran amiga. Gracias Chili por estar conmigo no solo en la universidad como fuera de ella, por todo apoyo y cariño. Sabes bien la importancia que tienes en mi vida. A Ari y Miriam, por la amistad y las tardes de comida compartidas. Gracias “periquitas” por hacer mi vida en Barcelona mucho más feliz! Os quiero mucho.

A Georgina, una amistad inesperada pero muy importante. Gina, gracias por ser mi hermana, amiga, compañera de compras, de risas...

A los amigos, Joan Casals, Joan Simó, Ana, Aurora y Manuel por las comidas en la UPC, cenas y cervezas por Barcelona.

A Elena, compañera de congresos y una super amiga. Hemos pasado por tantas cosas juntas, me has ayudado con tus palabras de animo y las fotos de Alba siempre sonriente...

A todos mis amigos de la Comunitat de Sant’Egidio por enseñarme el verdadero espíritu de comunidad, de escucha u ayuda al prójimo.

À minha amiga, mãe e irmã, Mara Lúcia. Tia Mara, tudo que eu escreva aqui ainda não será suficiente para expressar minha gratidão por você e sua família. Mas você sabe da importância

da sua amizade na minha vida e eu só tenho que agradecer à Deus por colocar um anjo como você nela. Amo vocês!

À minha mãe em Campinas, Rosa Helena. Rosahel, você também é outra pessoa que não tenho palavras para agradecer. Além de ser muito especial, chora com as minhas conquistas e decepções. Obrigada pela amizade e por me adotar quando cheguei em Campinas.

À Monalisa, pela amizade, pelas horas compartilhadas no laboratório, por me ouvir, aguentar meus dramas, puxar minha orelha e torcer tanto por mim.

À Vânia, uma amizade que começou no Brasil durante o mestrado, se estendeu ao doutorado e chegou a Barcelona. Rosal, quanta coisa enfrentamos juntas né? Mas valeram muito a pena!

À Michelle. O que dizer de você Mi? Minha “brother”, companheira de viagens, amiga mesmo, de escutar horas a mesma história, me apoiar, incentivar e sempre dizer que vai dar certo, porque no final sempre dá! E deu né?

A todos os amigos da pós-graduação. À Pricila, Dira, Carol, Pikachu, Marcio, Michelle, Sabrina, Diego, Allan, Milla, Gabi, Conan, Adriana, Adriano, Gabriel, Stella.

Aos amigos que me ajudaram na execução do experimento. Aos alunos de iniciação científica, Matheus, Jéssica, Bruna, Henrique e Juliana. A los amigos de la UPC: Carlos, por los bailes y las risas en la planta piloto mientras pelábamos patatas; Gerard, por enseñarme las cosas del laboratorio y la Barcelona de los catalanes; Adriana, por la ayuda en los análisis.

Aos amigos e agora professores, Franciane e Rafael pela ajuda, incentivo, idéias e críticas.

À Bruna, por ser a Bruninha. Minha amiga, “irmã siamesa”, que me apóia, incentiva e sempre está do meu lado, mesmo tão longe.

Ao Sr. Germano e a Dê por todo o apoio e carinho.

A todas as pessoas que de uma forma ou de outra me ajudaram durante o doutorado, meu muito obrigada!

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1. Introdução e objetivos

Figura 1. Fluxograma de estruturação da tese.....	5
--	---

CAPÍTULO 2. Revisão bibliográfica

Figura 1. Diagrama descritivo do inchaço e gelatinização do grão de amido após a aplicação de ultrassom.....	21
---	----

CAPÍTULO 3. Effect of Citric Acid on Browning of Fresh-cut Potatoes and on Texture after Frying

Fig. 1. Values of pH from fresh-cut potatoes submitted to citric acid after storage for up 17 days at 3 ± 1 °C.....	40
Fig. 2. Values of pH from fried potatoes submitted to citric acid after storage for up 17 days at 3 ± 1 °C.....	41
Fig. 3. Dry matter content from fresh-cut potatoes submitted to citric acid after storage for up 17 days at 3 ± 1 °C	42
Fig. 4. Dry matter content from fried potatoes submitted to citric acid after storage for up 17 days at 3 ± 1 °C	42
Fig. 5. Color from fresh-cut potatoes submitted to citric acid after storage for up 17 days at 3 ± 1 °C	43
Fig. 6. Color from fried potatoes submitted to citric acid after storage for up 17 days at 3 ± 1 °C.....	44
Fig. 7. Texture from fried potatoes submitted to citric acid after storage for up 17 days at 3 ± 1 °C.....	45

CAPÍTULO 4. A first approach of using ultrasound as an alternative for blanching in fresh-cut potato

Fig. 1. Flow chart of the fresh-cut potato process.....	52
--	----

Fig. 2. Changes in L* and H* for fresh-cut Agata (a, b) and Agria (c, d) potato strips stored at 3±1 °C.....	59
Fig. 3. Total starch content for fresh-cut Agata (a) and Agria (b) potato strips stored at 3±1 °C.....	63
Fig. 4. Fructose, glucose and sucrose contents for fresh-cut Agata (a, b and c) and Agria (d, e and f) potato strips stored at 3±1 °C.....	65
Fig. 5. Changes in L* and H for fried Agata (a, b) and Agria (c, d) potato strips stored at 3±1 °C.....	68

CAPÍTULO 5. Ultrasound in fresh-cut potatoes: Effect of time of application on color, firmness and starch content

Fig. 1 Damage to aluminum foil treated for 1 min (a), 5 min (b) and 10 min (c) due to the acoustic field	82
Fig. 2 pH of fresh-cut asterix potato strips submitted to 1 min (checked bar), 5 min (dark checked bar), 10 min (stripped bar) in ultrasound or untreated (white bar) and stored at 3 ± 1 °C for 12 days.	84
Fig. 3. Color values of fresh-cut and fried asterix potato strips submitted to 1 min (checked bar), 5 min (dark checked bar), 10 min (stripped bar) in ultrasound or untreated (white bar) and stored at 3 ± 1 °C for 12 days.	85
Fig. 4. PPO activity of fresh-cut asterix potato strips submitted to 1 min (triangle), 5 min (filled square), 10 min (times) in ultrasound or untreated (diamond) and stored at 3 ± 1 °C for 12 days.	86
Fig. 5. Optical microcopy images of fresh-cut potatoes strips (200 x)	87

CAPÍTULO 6. Efeito da combinação de tratamentos antiescurecimento na qualidade de batatas minimamente processadas e após a fritura

Figura 1. Fluxograma de processamento da batata.....	91
Figura 2. Atividade relativa da polifenoloxidase de batatas minimamente processadas e submetidas a combinação de ultrassom e ácido cítrico.....	96
Figura 3. Fotos de batata minimamente processada submetida a diferentes métodos antiescurecimento feitas usando microscopia óptica com aumento de 200x; controle (a),	

branqueamento + ácido cítrico (b), branqueamento + ultrassom (c), ultrassom + ácido cítrico (d), um dia após a aplicação dos tratamentos e no último dia de armazenamento (Controle (e), branqueamento + ácido cítrico (f), branqueamento + ultrassom (g), ultrassom + ácido cítrico (h)).....100

CAPÍTULO 7. Aplicação de alginato de sódio em batata “Asterix” minimamente processada

Fig 1. Superfícies de resposta para as respostas a^* (a) e Hue (b), relacionando a concentração de alginato e glicerol em batatas minimamente processadas.....111

Fig 2. Superfície de resposta para a matéria seca, relacionando a concentração de alginato e glicerol em batatas minimamente processadas.....111

Fig 3. Superfície de resposta para a firmeza, relacionando a concentração de alginato e glicerol em batatas minimamente processadas após armazenamento por 12 dias a 3 ± 1 °C.....113

Fig 4. Superfície de resposta para a taxa respiratória após 2 (a), 3 (b), 4 (c), 5 (d), 6 (e), 7 (f), 8 (g), 9 (h), 10 (i), 11 (j), 12 (l) dias de armazenamento, relacionando a concentração de alginato e glicerol em batatas minimamente processadas115

Fig 5. Superfícies de resposta para as respostas a^* (a) e Hue (b), relacionando a concentração de alginato e glicerol em batatas após a fritura.....116

Fig 6. Superfícies de resposta para as respostas firmeza (a) e matéria seca (b), relacionando a concentração de alginato e glicerol em batatas fritas.....118

Fig 7. Fotos de batata minimamente processada cobertas com filme comestível com alginato de sódio e glicerol feitas usando microscopia óptica com aumento de 200x após a aplicação das coberturas. Cont: sem tratamento; T₁: 1% alginato + 1% glicerol; T₂: 3% alginato + 1% glicerol; T₃: 1% alginato + 2% glicerol; T₄: 3% alginato + 2% glicerol; T₅: 0,59% alginato + 1,5% glicerol; T₆: 3,41% alginato + 1,5% glicerol; T₇: 2% alginato + 0,8% glicerol; T₈: 2% alginato + 2,20% glicerol e T₁₀: 2% alginato + 1,50% glicerol.....118

Fig 8. Fotos de batata minimamente processada cobertas com filme comestível com alginato de sódio e glicerol feitas usando microscopia óptica com aumento de 200x após 12 dias de armazenamento a 3 ± 1 °C. Cont: sem tratamento; T₁: 1% alginato + 1% glicerol; T₂: 3% alginato + 1% glicerol; T₃: 1% alginato + 2% glicerol; T₄: 3% alginato + 2% glicerol; T₅:

0,59% alginato + 1,5% glicerol; T₆: 3,41% alginato + 1,5% glicerol; T₇: 2% alginato + 0,8% glicerol; T₈: 2% alginato + 2,20% glicerol e T₁₀: 2% alginato + 1,50% glicerol.....119

CAPÍTULO 8. Instrumental and nutritional quality of processed potato treated by using edible coating, thermal and nonthermal treatments - effects on shelf life

Figure 1. PPO activity of fresh-cut “Asterix” potato submitted to different treatments and stored at 3±1 °C for 12 days.....132

Figure 2. Microbial load of fresh-cut “Asterix” potato submitted to different treatments and stored at 3±1 °C for 12 days.....135

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 2. Revisão bibliográfica

Tabela 1. Composição de batatas por 100 gramas de parte comestível: Centesimal, minerais, vitaminas e ácido graxos.....	9
--	---

CAPÍTULO 4. A first approach of using ultrasound as an alternative for blanching in fresh-cut potato

Table 1a. F-test for color, firmness and pH of potato strips stored at 3 ± 1 °C.....	56
Table 1b. F-test for sugars and total starch of potato strips stored at 3 ± 1 °C.....	56
Table 2. pH of fresh-cut Agata and Agria potato strips stored at 3 ± 1 °C.....	57
Table 3. Firmness (N) of fresh-cut Agata and Agria potato strips stored at 3 ± 1 °C.....	61
Table 4. F-test for colour, firmness of fried Agata and Agria potato strips stored at 3 ± 1 °C.....	66
Table 5. Firmness (N) of fried Agata and Agria potato strips stored at 3 ± 1 °C.....	70

CAPÍTULO 5. Ultrasound in fresh-cut potatoes: Effect of time of application on color, firmness and starch content

Table 1. Ultrasound power (P), specific energy (Es) and temperature elevation (DT) during sonication.....	81
Table 2. Dry matter content ($\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$) of fresh-cut asterix potato before and after frying and submitted to different times of immersion in ultrasound bath and stored at 3 ± 1 °C for 12 days.....	84
Table 3. Firmness (N) of fresh-cut asterix potato strips before and after frying and submitted to different times of immersion in ultrasound bath and stored at 3 ± 1 °C for 12 days	86
Table 4. Total starch ($\text{g}_{100 \text{ g}^{-1} \text{ LW}}$) of fresh-cut asterix potato strips submitted to different times of immersion in ultrasound bath and stored at 3 ± 1 °C for 12 days	87

CAPÍTULO 6. Efeito da combinação de tratamentos antiescurecimento na qualidade de batatas minimamente processadas e após a fritura

Tabela 1. pH de batata “Asterix” minimamente processada submetida a diferentes tratamentos antiescurecimento e armazenada a 3 ± 1 °C por 12 dias.....	94
Tabela 2. Cor de batata “Asterix” minimamente processada submetida a diferentes tratamentos antiescurecimento e armazenada a 3 ± 1 °C por 12 dias.....	94
Tabela 3. Cor após fritura de batata “Asterix” submetida a diferentes tratamentos antiescurecimento e armazenada a 3 ± 1 °C por 12 dias.....	95
Tabela 4. Teor de matéria seca de batata “Asterix” minimamente processada submetida a diferentes tratamentos antiescurecimento e armazenada a 3 ± 1 °C por 12 dias.....	97
Tabela 5. Firmeza (N) de batata “Asterix” minimamente processada submetida a diferentes tratamentos antiescurecimento e armazenada a 3 ± 1 °C por 12 dias.....	98
Tabela 6. Firmeza (N) após a fritura de batata “Asterix” minimamente processada submetida a diferentes tratamentos antiescurecimento e armazenada a 3 ± 1 °C por 12 dias.....	98
Tabela 7. Teor de amido de batata “Asterix” minimamente processada submetida a diferentes tratamentos antiescurecimento e armazenada a 3 ± 1 °C por 12 dias.....	99

CAPÍTULO 7. Aplicação de alginato de sódio em batata “Asterix” minimamente processada

Tabela 1.1 Variáveis independentes e valores codificados e reais dos níveis utilizados no planejamento DCCR 2 ²	107
Tabela 1.2 Planejamento DCCR 2 ² com valores reais e codificados (entre parênteses) para cada ensaio.....	107
Tabela 2. Coeficientes de regressão das variáveis alginato de sódio e glicerol e sua interação logo após a aplicação dos tratamentos sobre os parâmetros físicos da batata minimamente processada.....	110
Tabela 3. Análise de variância dos parâmetros físicos da batata minimamente processada submetida a tratamento com coberturas a base de alginato de sódio e glicerol.....	110
Tabela 4. Coeficientes de regressão das variáveis alginato de sódio e glicerol e sua interação após a aplicação dos tratamentos sobre os parâmetros físicos da batata minimamente processada armazenada por 12 dias a 3 ± 1 °C.....	112

Tabela 5. Análise de variância dos parâmetros físicos da batata minimamente processada submetida a tratamento com coberturas a base de alginato de sódio e glicerol após armazenamento por 12 dias a 3 ± 1 °C.....	112
Tabela 6. Coeficientes de regressão das variáveis alginato de sódio e glicerol e sua interação após a aplicação dos tratamentos sobre a taxa respiratória da batata minimamente processada armazenada por 12 dias a 3 ± 1 °C.....	113
Tabela 7. Análise de variância da taxa respiratória da batata minimamente processada submetida a tratamento com coberturas a base de alginato de sódio e glicerol após armazenamento por 12 dias a 3 ± 1 °C.....	114
Tabela 8. Coeficientes de regressão das variáveis alginato de sódio e glicerol e sua interação logo após a aplicação dos tratamentos sobre os parâmetros físicos da batata após a fritura...	116
Tabela 9. Análise de variância dos parâmetros físicos da batata após a fritura submetida a tratamento com coberturas a base de alginato de sódio e glicerol.....	116
Tabela 10. Coeficientes de regressão das variáveis alginato de sódio e glicerol e sua interação após a aplicação dos tratamentos sobre os parâmetros físicos da frita e após 12 dias de armazenamento a 3 ± 1 °C.....	117
Tabela 11. Análise de variância dos parâmetros físicos da batata frita submetida a tratamento com coberturas a base de alginato de sódio e glicerol após armazenamento por 12 dias a 3 ± 1 °C.....	117

CAPÍTULO 8. Instrumental and nutritional quality of processed potato treated by using edible coating, thermal and nonthermal treatments - effects on shelf life

Table 1. pH of fresh-cut “Asterix” potato submitted to different treatments and stored at 3 ± 1 °C for 12 days.....	129
Table 2a. Color changes (L^*) of fresh-cut “Asterix” potato submitted to different treatments and stored at 3 ± 1 °C for 12 days.....	129
Table 2b. Color changes (Hue angle) of fresh-cut “Asterix” potato submitted to different treatments and stored at 3 ± 1 °C for 12 days.....	130
Table 3. Dry matter content ($\text{g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ FW) of fresh-cut “Asterix” potato submitted to different treatments and stored at 3 ± 1 °C for 12 days.....	131

Table 4. Firmness (N) of fresh-cut “Asterix” potato submitted to different treatments and stored at 3 ± 1 °C for 12 days.....	131
Table 5. Total starch ($\text{g}\cdot 100\text{ g}^{-1}$ LW) of fresh-cut “Asterix” potato submitted to different treatments and stored at 3 ± 1 °C for 12 days.....	133
Table 6. Total sugars (fructose, glucose and sucrose) content ($\text{g}\cdot 100\text{ g}^{-1}\text{FW}$) of fresh-cut “Asterix” potato submitted to different treatments and stored at 3 ± 1 °C for 12 days.....	134
Table 7. Absorption of oil ($\text{g}\cdot 100\text{ g}^{-1}$ FW) of fried “Asterix” potato strips submitted to different treatments and stored at 3 ± 1 °C for 12 days.....	136
Table 8a. Color changes (L^*) of fried “Asterix” potato strips submitted to different treatments and stored at 3 ± 1 °C for 12 days.....	136
Table 8b. Color changes (Hue angle) of fried “Asterix” potato strips submitted to different treatments and stored at 3 ± 1 °C for 12 days.....	137
Table 9. Dry matter content ($\text{g}\cdot 100\text{ g}^{-1}$ FW) of fried “Asterix” potato strips submitted to different treatments and stored at 3 ± 1 °C for 12 days.....	138
Table 10. Firmness (N) of fried “Asterix” potato strips submitted to different treatments and stored at 3 ± 1 °C for 12 days.....	138

CAPÍTULO 1. Introdução e objetivos

1.1 Introdução

Produtos minimamente processados são resultados do aumento da demanda por produtos frescos, práticos e fáceis de consumir, que proporcionam aos consumidores muitas vantagens, principalmente a redução no tempo de preparação, rapidez no consumo e redução de desperdício. No entanto, uma desvantagem é a menor vida útil quando comparado com o produto que não passou por nenhuma etapa de processamento.

A batata é um dos produtos que oferecem conveniência e praticidade quando passam pelas etapas de processamento, principalmente quando sua finalidade é para fritura. Tem como benefício disponibilizar um produto que não necessite de preparação posterior por parte do consumidor no que se refere à seleção, limpeza, lavagem, descascamento e corte. É um segmento de mercado em franco crescimento e a implantação de unidades industriais para esta finalidade apresenta menor custo, quando comparada com as unidades industriais para produção de batatas pré-fritas congeladas que tem maior gasto com equipamentos de congelamento (BERBARI e AGUIRRE, 2002).

As altas taxas de transferência de calor são responsáveis pelo desenvolvimento de características sensoriais desejáveis nas batatas fritas. A fritura é frequentemente selecionada como um método para criação de sabor, cor e textura únicos nos alimentos processados que melhoram sobremaneira a sua palatabilidade. O aspecto e cor da superfície do alimento é o primeiro parâmetro de qualidade avaliado pelos consumidores e é crítico na aceitação do produto (PEDRESCHI *et al.*, 2005).

Entretanto, a superfície das batatas é altamente relevante para a absorção de óleo durante a fritura. No intuito de formar uma barreira à entrada do óleo e reduzir sua absorção, a aplicação de coberturas comestíveis a base de biopolímeros é uma opção promissora.

Em relação ao produto fresco, sua vida útil pode ser restringida pelas injúrias fisiológicas decorrentes das operações de processamento mínimo, incluindo descascamento e corte, que limita a comercialização destes produtos. O escurecimento enzimático, além de indesejável, é responsável por qualidades sensoriais desagradáveis e por perdas de valor nutricional e econômico dos alimentos. A polifenoloxidase (PPO) é a principal enzima

responsável por essas reações em tecidos vegetais de hortaliças e frutas (ERAT, SAKIROGLU e KUFREVIOGLU, 2006). O escurecimento é iniciado pela oxidação enzimática de compostos fenólicos pela PPO e os produtos iniciais da oxidação são as quinonas, que rapidamente se condensam para produzir polímeros marrons relativamente insolúveis (melaninas). Algumas causas de escurecimento não-enzimático em alimentos incluem a reação de Maillard, reações de autooxidação envolvendo compostos fenólicos e a formação de complexos ferro-fenol (MARTINEZ e WHITAKER, 1995).

O método mais comumente usado para evitar o escurecimento é a adição de sulfitos, entretanto reações adversas podem surgir a pessoas sensíveis a este composto, além de existirem relatos do seu potencial cancerígeno. A United States Food and Drug Administration (FDA) tem limitado o uso de sulfitos e banido a utilização em frutas e hortaliças para consumo frescas, com exceção de batatas minimamente processadas destinadas à fritura (TIMBO *et al.*, 2004).

Algumas possibilidades de substituição a esse produto são o uso de películas comestíveis, como o alginato, que mantém a qualidade de produtos alimentares, protegendo-os de deterioração física, química e biológica; o ácido cítrico, que pode ser usado tanto em relação à prevenção do escurecimento enzimático quanto na redução da carga microbiana; o branqueamento e o banho de ultrassom que inativam a ação da PPO.

Dessa forma, a hipótese deste trabalho é que a aplicação destes métodos isoladamente ou combinados promovem a redução do escurecimento de batatas minimamente processadas armazenadas sob refrigeração e não promovem alterações indesejáveis na textura após a fritura.

O projeto foi uma parceria entre a Faculdade de Engenharia Agrícola/UNICAMP e a Universitat Politècnica de Catalunya BarcelonaTech (Barcelona – Espanha) e foi desenvolvido nas duas universidades.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

Avaliar o efeito de diferentes agentes antiescurecimento na qualidade sensorial instrumental e no teor de amido durante o armazenamento de batatas minimamente processadas, assim como o efeito sobre as propriedades instrumentais depois da fritura e as repercussões sobre a vida útil do produto.

1.2.2 Objetivos específicos

- Avaliar o efeito do tratamento antioxidante (ácido cítrico) e da variedade (Agata, Agria e Caesar) na batata minimamente processada antes e após a fritura;
- Avaliar o efeito do uso de um tratamento não térmico (ultrassom de baixa frequência) como alternativa ao tratamento térmico convencional (branqueamento) em duas cultivares (Agata e Agria) de batata minimamente processada armazenada sob refrigeração;
- Determinar as concentrações de ácido cítrico e alginato de sódio que inibam o escurecimento enzimático sem causar alterações indesejáveis na qualidade química e instrumental durante a vida útil de tiras de batata, além de não causar alterações sensoriais e na textura do produto após a fritura;
- Avaliar o efeito do tempo de aplicação de ultrassom de baixa frequência sobre a qualidade da batata minimamente processada armazenada sob refrigeração;
- Avaliar o efeito combinado dos métodos antiescurecimento estudados anteriormente sobre a qualidade da batata minimamente processada antes e após a fritura;
- Comparar e escolher dentre os diferentes tratamentos propostos o melhor método para evitar o escurecimento da batata minimamente processada a partir de estudos de qualidade química, instrumental e de vida útil do produto.

1.3 Organização da Tese

Esta tese está estruturada em capítulos e contém uma descrição detalhada de conceitos teóricos, observações experimentais, resultados e conclusões da pesquisa (Fig. 1).

O capítulo 1 é constituído de introdução e objetivos. O capítulo 2 aborda uma revisão bibliográfica dos aspectos gerais da batata, alterações decorrentes do processamento, tratamentos convencionais e alternativos para inibição do escurecimento e diminuição da perda de qualidade do produto antes e após a fritura e finalmente aspectos relacionados à batata frita.

Os capítulos de 3 a 8 abordam experimentos realizados com tratamentos antiescurecimento. A redação desses capítulos foi feita no formato de artigo científico, sendo utilizado em cada um as recomendações da revista para onde foi ou será encaminhado.

O capítulo 3 intitulado “Effect of Citric Acid on Browning of Fresh-cut Potatoes and on Texture after Frying” é um ensaio preliminar para estudar o efeito do ácido cítrico em cultivares de batata comercializadas em Barcelona – Espanha, com diferentes teores de matéria seca e, consequentemente, com finalidades tanto de cozimento como fritura.

Posteriormente os capítulos 4 (“A first approach of using ultrasound as an alternative for blanching in fresh-cut potato and the effect of instrumental sensory parameters in fried potato”) e 5 (“Ultrasound in fresh-cut potatoes: Effect of time of application on color, firmness and starch content”) resultam de experimentos realizados com o uso de banho ultrassom. No primeiro artigo foi estudado de maneira inicial o efeito do branqueamento, método mais utilizado na inativação da polifenoloxidase e produção de batatas fritas, e o ultrassom, aplicados de forma isolada ou combinada, nas características de duas variedades distintas de batata. O segundo artigo é um estudo do efeito do tempo de aplicação do banho ultrassom nos atributos de qualidade de batatas antes e após a fritura. Neste artigo foi utilizada uma nova variedade de batata, a Asterix, por esta ser indicada para fritura e muito comercializada tanto em Campinas – Brasil quanto em Barcelona – Espanha, facilitando a comparação dos resultados nos dois países. Esta variedade foi também utilizada nos experimentos seguintes.

O capítulo 6 trata do “Efeito da combinação de tratamentos antiescurecimento na qualidade de batatas minimamente processadas e após a fritura”. O experimento que originou este artigo avaliou a combinação dos melhores resultados de ensaios preliminares descritos nos capítulos anteriores.

A “Aplicação de alginato de sódio em batata “Asterix” minimamente processada” foi feita e os resultados deste estudo estão apresentados no capítulo 7.

Uma vez tendo sido realizados todos os ensaios relativos aos possíveis substituintes ao tratamento convencional, passa-se ao capítulo 8, que é o experimento final desta tese,

entitulado: “Instrumental and nutritional quality of processed potato treated by using edible coating, thermal and nonthermal treatments - effects on shelf life”. Neste artigo estão relatados os principais resultados da aplicação de um tratamento térmico convencional (branqueamento), um tratamento físico (ultrassom, que neste caso está sendo estudado combinado com o ácido cítrico devido aos bons resultados anteriores) e uma cobertura comestível (alginato de sódio) na vida útil da batata minimamente processada armazenada em ambiente refrigerado e sua qualidade após a fritura.

No capítulo 9, uma discussão geral do projeto de pesquisa é apresentada, e, finalmente, os capítulos 10 e 11 expõem as conclusões deste trabalho.

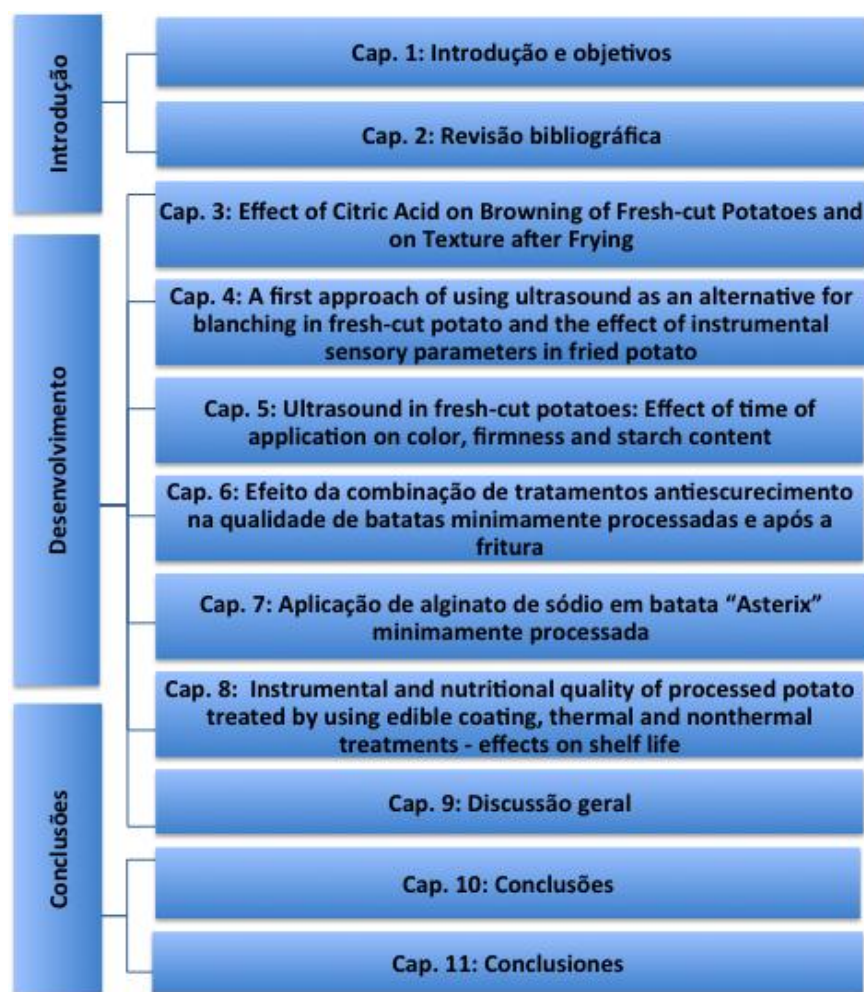


Figura 1. Fluxograma de estruturação da tese.

1.4 Referências Bibliográficas

BERBARI, S.A.G.; AGUIRRE, J.M. **Alternativas para o aproveitamento industrial de batata.** Batata Show, n. 04, 2002. Disponível em: <http://www.abbabatatabrasileira.com.br/revista04_018.htm>. Acesso em: 29 de março de 2012.

ERAT, M.; SAKIROGLU, H.; KUFREVIOGLU, O. I. Purification and characterization of polyphenol oxidase from *Ferula* sp. **Food Chemistry**, v. 95, n. 03, p. 503-508, 2006.

MARTINEZ, M.V.; WHITAKER, J.R. The biochemistry and control of enzymatic browning. **Trends in Food Science and Technology**, v. 06, n. 06, p. 195- 200, 1995.

PEDRESCHI, F.; MOYANO, P.; KAACK, K.; GRANBY, K. Color changes and acrylamide formation in fried potato slices. **Food Research International**, v. 38, p. 1–9, 2005.

TIMBO, B.; KOEHLER, K.M.; WOLYNIAC, C.; KLONTZ, K.C. Sulfites – a food and drug administration review of recalls and reported adverse events. **Journal Food Protection**, v. 67, n. 08, p. 1806–1811, 2004.

CAPÍTULO 2. Revisão bibliográfica

2.1 Batata - aspectos gerais

A batata (*Solanum tuberosum* L.) é originária dos Andes peruanos e bolivianos há mais de 7000 anos, desempenhando um importante papel na alimentação dessas civilizações por adaptar-se às condições agroclimáticas adversas de elevada altitude. Foi introduzida na Europa antes de 1520, onde alguns governantes impuseram medidas para sua difusão por este continente. Com a colonização realizada pelos países europeus, esse tubérculo passou a ser conhecido e consumido também em outros continentes. O nome popular “batata inglesa” surgiu da exigência nas refeições dos técnicos vindos da Inglaterra (ABBA, 2011; MELO *et al.*, 2011).

Mundialmente, a importância da batata em termos de consumo humano é comparável à de grandes *commodities*, sendo o 4º alimento mais consumido, ficando atrás somente do trigo, do arroz e do milho. Segundo cálculos da Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação (FAO), em 2007 foram produzidas cerca de 325 milhões de toneladas de batata em uma área de pouco mais de 19 milhões de hectares. Ásia e Europa são as principais regiões produtoras de batata no mundo e em 2007 foram responsáveis por 80% da produção mundial (FAO, 2008a).

Apesar de as exportações no ano de 2005 de batata *in natura* terem gerado uma receita de cerca de US\$ 3 bilhões, sendo muito similar à do produto congelado, a comercialização da batata processada tem ganhado espaço e a área de processamento apresenta crescimento promissor globalmente. Grande parte da área da União Europeia e também de países em desenvolvimento, como a Argentina, Colômbia, China e Egito, já é destinada à produção de variedades específicas para processamento. O Brasil foi o 11º maior importador mundial de batata congelada entre os anos de 2002 e 2004, comprando US\$ 48 milhões deste produto no período (NAKANO, DELEO e BOTEON, 2006).

A batata é um alimento versátil, muito popular em todo o mundo e com grande teor de carboidratos. Quando recém colhida possui 80% de água e 20% de matéria seca, destes 60 – 80% são constituídas por amido. Com relação ao seu peso seco, o teor de proteínas é semelhante ao dos cereais, e muito alto em comparação com outras raízes e tubérculos. A

batata fresca possui ainda micronutrientes em abundância, sobretudo vitamina C: uma batata pesando 150 gramas se consumida com casca tem quase a metade das necessidades diárias de um adulto (100 mg). Contém quantidade moderada de ferro, mas o grande teor de vitamina C promove a absorção deste mineral. Além disso, tem vitaminas B1, B3 e B6, e outros minerais como potássio, fósforo e magnésio, assim como ácido fólico, pantotênico e riboflavina. Também apresenta antioxidantes alimentares, que podem ajudar na prevenção de enfermidades relacionadas ao envelhecimento (FAO, 2008).

Na tabela 1 são apresentados os dados de composição centesimal, de minerais, vitaminas e ácidos graxos da batata crua e após algumas formas de preparo. Pode-se verificar a influência do tipo de preparo nas mudanças das características da batata, principalmente após a fritura.

O valor nutritivo de um alimento que contenha batata depende dos outros alimentos que a acompanhe e do método de preparação. Quando fritas em óleo quente (140 – 180 °C), por exemplo, promovem uma grande absorção de gordura e apresenta uma grande redução do conteúdo de minerais e ácido ascórbico (FAO, 2008).

Tabela 1. Composição das batatas por 100 gramas de parte comestível: Centesimal, minerais, vitaminas e ácidos graxos.

Descrição	Umidade (%)	Energia (Kcal)	Proteína (g)	Lípídeos (g)	Carboidrato (g)	Fibra alimentar (g)	Cinzas (g)	Cálcio (mg)
Frita, "chips"	2,7	543	5,6	3,6	51,2	2,5	3,9	12
Cozida	86,4	52	1,2	Traços	11,9	1,3	0,5	4
Crua	82,9	64	1,8	Traços	14,7	1,2	0,6	4
Frita, palitos	44,1	267	5,0	13,1	35,6	8,1	2,2	6
Sauté	83,1	68	1,3	0,9	14,1	1,4	0,6	4
Descrição	Magnésio (mg)	Manganês (mg)	Fósforo (mg)	Ferro (mg)	Sódio (mg)	Potássio (mg)	Cobre (mg)	Zinco (mg)
Frita, "chips"	24	0,23	96	0,7	607	1014	0,12	0,6
Cozida	5	0,07	24	0,2	2	161	0,06	0,2
Crua	15	0,1	39	0,4	Traços	302	0,09	0,2
Frita, palitos	14	0,19	70	0,4	8	489	0,10	0,4
Sauté	6	1,23	32	0,3	1	199	0,05	0,2
Descrição	Tiamina (mg)	Riboflavina (mg)	Piridoxina (mg)	Niacina (mg)	Vitamina C (mg)	Ácidos graxos [#]		
						Saturados	Mono	Poli
						(g)	(g)	(g)
Frita, "chips"	0,20	Traços	0,13	2,61	Traços	12,9	11,9	4,0
Cozida	0,05	Traços	0,08	Traços	3,8			
Crua	0,10	Traços	0,15	*	31,1			
Frita, palitos	0,17	Traços	0,1	2,51	16,3	2,1	3,4	6,6
Sauté	0,07	Traços	0,09	1,38	Traços	0,3	0,2	0,4

Fonte: NEPA (2006), adaptado por Zambolim *et al.*, (2011).

* a análise não foi apresentada porque será reavaliada

- valores em branco nesta tabela: análises não solicitadas

ácidos graxos: saturados, monoinsaturados, polinsaturados

Obs: Limites de quantificação: a) composição centesimal: 0,1 g/100g; b) Cu, Fe, Mn e Zn: 0,001 mg/100g; c) Ca, Na: 0,04 mg/100g; d) K e P: 0,001 mg/100g; e) Mg: 0,015 mg/100g; f) Tiamina, riboflavina e piridoxina: 0,03 mg/100g; g) Niacina e vitamina C: 1 mg/100g.

A cultura da batata absorve um elevado contingente de mão-de-obra, em torno de 20 pessoas/ha/ano, e tem um dos custos de produção mais caros por área (US\$ 5 a 6 mil/ha), portanto é uma atividade com grande relevância sócio-econômica para as regiões produtoras, sendo a região sul do Estado de Minas Gerais a maior produtora de batata do país. Para os pequenos produtores a batata também está se convertendo rapidamente em valiosa fonte de

renda, sendo um seguro contra as turbulências do mercado e como proteção para a segurança alimentar. Nos países em desenvolvimento, o crescimento da população e de renda, assim como a diversificação de alimentos, tem proporcionado a crescente demanda de batata na indústria de alimentos rápidos, lanches e alimentos preparados. Essa escala moderna da indústria de fabricação de alimentos, dos sistemas de distribuição e das empresas de refeições rápidas tem ditado a necessidade de melhoria dos procedimentos sistêmicos para a manutenção da segurança e da vida útil. Atualmente o consumidor não busca apenas qualidade, mas também produtos que promovam o menor impacto possível sobre os recursos naturais durante seu processo de produção, além de respeitar a qualidade de vida do trabalhador (ZAMBOLIM *et al.*, 2011; FAO, 2008b; HAN e GENNADIOS, 2005).

A alteração dos hábitos alimentares da população mudou a forma de consumo de muitos produtos hortifrutícolas, incluindo a batata. Analisando os consumidores de países produtores de elevada produção per capita do tubérculo – acima de 100 kg/hab/ano –, pode-se observar que a batata *in natura* está perdendo espaço na cesta de compras da população, principalmente entre os de renda mais elevada da Europa, e esse menor consumo é devido ao aumento do poder aquisitivo da população, que impulsiona a compra do processado e a substituição da batata por outros alimentos, inclusive o arroz (NAKANO, DELEO e BOTEON, 2006). No Brasil, o consumo ainda é muito baixo e um dos fatores que poderia estimular o crescimento é a comercialização do produto processado, de tal modo que o consumidor já possa adquiri-la para a finalidade a que se propõe, ou seja, para fritura, assada, cocção, etc (ZAMBOLIM *et al.*, 2011).

2.1.1 Cultivares

No Brasil, para que uma cultivar possa ser comercializada é necessário que a mesma passe por análises de determinação do valor de cultivo e uso e seja registrada no Registro Nacional de Cultivares (RNC) do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Embora o efeito genético influencie o sucesso no rendimento, outros fatores como o ambiente em que a planta será desenvolvida e o manejo do produtor também podem afetá-lo. O número de cultivares registradas no Brasil não é muito expressivo se comparado ao número das disponíveis nos principais países produtores da Europa e América do Norte, porém em 2009

esta quantidade representava 17% das cultivares nacionais e 83% de origem estrangeira (PÁDUA *et al.*, 2011).

O volume de batatas processadas pelas indústrias no Brasil está bem abaixo do praticado por países como os Estados Unidos, por exemplo. Apenas 3 a 5 % dos produtos brasileiros de batata entregam seu produto à indústria, enquanto que nos EUA a produção estimada é de 23 milhões de toneladas, correspondendo a aproximadamente dez vezes a produção brasileira. As batatas pré-fritas congeladas consumidas no Brasil são, em grande parte, importadas dos Estados Unidos, Holanda, Canadá, França e Argentina (BERBARI e AGUIRRE, 2002).

A exigência do mercado brasileiro por tubérculos de coloração clara e brilhante após a lavagem e com o mínimo de defeitos externos é a principal razão do baixo índice de aceitação de cultivares mais rústicas e com aptidão culinária diferenciada. A batata frita é a forma preferencial de consumo dos brasileiros, inclusive no preparo doméstico, entretanto a produção de cultivares de dupla finalidade para consumo *in natura* ainda é predominante, uma vez que o Brasil não segue ainda as práticas adequadas de segmentação de mercado. Além disso, nas condições tropicais brasileiras a obtenção de batatas com elevado teor de matéria seca (mais adequadas para fritura) é complexa e a maioria destas cultivares está associada à produção de tubérculos com pele áspera, que são de difícil aceitação pelo mercado consumidor (PÁDUA *et al.*, 2011).

As cultivares de batata são divididas em:

- Exclusivas para cozimento, onde são citadas: Ágata, Almera, Amelie, Arrow, Cupido, Cyrano, Elodie, Florice, Madeleine, Maranca, Melody, Monalisa, Mondial, Matador e Vivaldi, cuja maioria apresenta ciclo precoce e baixo teor de matéria seca;
- Recomendadas para o preparo na forma cozida e assada: Armada, Emeraude, Eole e BRS Elisa;
- Multiuso, por serem tubérculos aptos para uso na forma de cozimento e fritura: Asterix, Caesar, Catucha, Cristal, Éden, Innovator, Markies, Mozart, Naturella, Rodeo y Voyager;
- Adequadas para preparo na forma cozida, assada e de fritura: Baraka, BRS, Ana, Canelle e Opaline.

Além do alto teor de matéria seca, o teor de açúcares redutores é também uma característica importante na escolha da batata para processamento, uma vez que esse atributo exerce influência na qualidade da batata frita. Os principais açúcares presentes na batata são: sacarose, frutose e glicose. Como regra geral, os tubérculos com teor de sólidos totais acima de 20% costumam ser adequados para a obtenção de fritas de qualidade, desde que o teor de açúcares redutores não ultrapasse o valor de 3% do teor de sólidos totais dos tubérculos, para não comprometer a cor do produto (PÁDUA *et al.*, 2011; BERBARI e AGUIRRE, 2002).

2.2 Processamento

Na indústria de processamento dos tubérculos são exigidos alguns requisitos para fritura, como formato uniforme, alto teor de matéria seca e baixo conteúdo de açúcares redutores. O alto teor de matéria seca, acima de 19%, possibilita maior rendimento industrial, menor consumo de óleo, redução do tempo de fritura, e consequentemente redução no custo de produção, além de melhorar a textura, por conferir maior crocância. Todas essas vantagens favorecem a venda por promover um produto com melhor apresentação (PÁDUA *et al.*, 2011).

Baixa temperatura de armazenamento é um fator desejável do ponto de vista da extensão da vida útil, embora especial atenção deva ser dada aos efeitos indesejáveis destas temperaturas, devido ao acúmulo de açúcares redutores que tendem a aprimorar as reações de escurecimento não-enzimáticas (NOURIAN, RAMASMAWY e KUSHALAPPA, 2003). Os tubérculos usados para fritura são normalmente armazenados entre 7,2 e 8,8 °C. O armazenamento em temperaturas mais frias promove a rápida conversão do amido a açúcares redutores (glicose), enquanto que acima de 10 °C a respiração e degradação de amido estão em equilíbrio entre si, então os níveis de glicose e sacarose não aumentam. Este equilíbrio se deslocará para uma maior degradação do amido se os tubérculos tratados sofrerem estresse durante o armazenamento, aumentando os níveis de glicose e escurecimento não-enzimático durante a fritura (SMITH, 1977). Atualmente, o binômio teor de açúcar x temperatura é ainda mais importante devido à crescente preocupação científica sobre o seu papel na formação de acrilamida em produtos de batata frita.

Vitti *et al.* (2011) afirmaram que o armazenamento de batatas a 15 °C somente foi possível por um período de cinco dias, independente do tratamento, devido ao excesso de

acúmulo de água dentro da embalagem, que também foi responsável por odores e um alto número de manchas escuras no produto.

2.3 Escurecimento enzimático

Batatas minimamente processadas são suscetíveis a reações enzimáticas que podem levar ao escurecimento dos tecidos em poucos minutos. O escurecimento enzimático, além de indesejável, é responsável por qualidades sensoriais desagradáveis e por perdas do valor nutricional e econômico dos alimentos. Além disso, em virtude da cor ser um importante atributo levado em conta no momento da aquisição de produtos minimamente processados, este escurecimento acaba tornando-os menos atrativos (ERAT, SAKIROGLU e KUFREVIOGLU, 2006; GARCIA e BARRETT, 2002).

A polifenoloxidase (PPO) é a principal enzima responsável por essa reação em tecidos vegetais e frutas, sendo outros fatores determinantes a concentração de compostos fenólicos, pH, temperatura e disponibilidade de oxigênio. O pH ótimo varia em uma ampla faixa que depende da fonte da enzima e do substrato. Em muitos casos, essa faixa varia de 4-7 (ERAT, SAKIROGLU e KUFREVIOGLU, 2006; MARTINEZ e WHITAKER, 1995; VÁMOS-VIGYÁZÓ, 1981). Em relação à temperatura, a resistência desta enzima ao calor varia de acordo com a espécie e cultivar, mas em geral a atividade ótima varia desde valores próximos à temperatura ambiente até temperaturas mais elevadas, entre 50 e 65 °C; já a temperaturas acima de 80 °C ela é completamente destruída (BELLUZZO, 2008; VÁMOS-VIGYÁZÓ, 1981).

A PPO é uma enzima que contém íon cobre no sítio ativo, e está presente em fungos e bactérias, na maioria das plantas e em todos os mamíferos (MARTINEZ e WHITAKER, 1995). Em tecidos vivos, o substrato e a enzima encontram-se separados dentro das células. Qualquer tratamento que danifique a estrutura celular colocará a enzima em contato com seu substrato, permitindo que a reação ocorra. As *o*-quinonas formadas são instáveis e rapidamente se condensam para produzir polímeros escuros relativamente insolúveis (melaninas), cuja tonalidade de cor pode variar de acordo com os compostos fenólicos presentes num dado tecido, resultando em pigmentos marrons, avermelhados ou negros. Além da formação de compostos escuros, as *o*-quinonas formadas também reagem com aminoácidos, peptídeos e proteínas, causando alterações estruturais e funcionais, e conseqüente diminuição do valor

nutritivo dos alimentos (DINCER *et al.*, 2002; SERRADELL *et al.*, 2000; ESCRIBANO *et al.*, 1997).

A atividade da PPO está estritamente ligada às mudanças de cor devido à formação de polímeros coloridos. Além disso, medições da cor poderiam ser consideradas como um índice indireto da atividade da polifenoloxidase e amostras que não mostraram escurecimento ou outras alterações na cor foram consideradas com baixa atividade desta enzima (SEVERINI *et al.*, 2003).

Alguns autores sugerem que o escurecimento resulta tanto da oxidação enzimática (PPO) e não enzimática de compostos fenólicos e normalmente prejudica a qualidade sensorial dos produtos por causar mudanças associadas a cor, flavor e amaciamento (provavelmente devido à ação de enzimas pécticas). Uma vez que as membranas e paredes celulares perdem sua integridade, a oxidação enzimática acontece com mais rapidez (MARTINEZ e WHITAKER, 1995). Brandelli e Lopes (2005) estudaram a atividade da PPO, o potencial de escurecimento e a quantidade de compostos fenólicos em pêssego da variedade Premier. Concluiu-se que a atividade da polifenoloxidase aumentou com o tempo de estocagem, assim como a taxa de escurecimento. Já a quantidade de fenólicos totais diminuiu com o armazenamento, porém a diferença não foi significativa. Nesse caso o potencial de escurecimento está relacionado com a taxa de escurecimento, mas não com a quantidade de fenólicos.

Segundo Mayer e Harel (1979), os inibidores que atuam diretamente sobre a enzima PPO podem ser divididos em dois grupos de acordo com a forma de ação. O primeiro grupo inclui inibidores que interagem com íon cobre e o segundo aqueles que atuam no sítio ativo. Os inibidores que atuam como quelante ou através de interação com íon metálico incluem azida, cianeto, monóxido de carbono, tropolene e dietilcarbamato de sódio, os quais são menos específicos para o cobre. No segundo grupo, encontram-se ácidos aromáticos como carboxílico, benzóico e cinâmico, considerados como inibidores competitivos da PPO, devido à similaridade estrutural com os substratos fenólicos, o que muitos indicam como uma inibição dependente do substrato usado, podendo ser competitivo, não competitivo ou ambos.

A eficiência dos compostos que controlam as reações de escurecimento por inibir a atividade da PPO depende da natureza e da concentração do inibidor, da fonte da enzima e da disponibilidade do substrato (O₂, fenólicos), pH e temperatura (VÁMOS-VIGYÁZÓ, 1981;

MAYER e HAREL, 1979). Em pêssegos, a atividade da polifenoloxidase foi inibida em aproximadamente 100% após o uso de inibidores como ácido ascórbico, metabissulfito de sódio, β -mercaptoetanol e L-cisteína nas concentrações de 5,0 e 10,0 mM (BELLUZZO, 2008).

Refrigeração é um meio tradicional de diminuir a atividade das enzimas polifenoxidase e peroxidase, uma vez que baixas temperaturas (0-4 °C) não são o ponto ótimo de atividade das mesmas. Possíveis mudanças na atividade das enzimas durante o armazenamento refrigerado podem ocorrer, entretanto são dependentes de outros fatores como tipo de produto (inteiro ou minimamente processado), grau de maturação e umidade relativa (TOMÁS-BARBERÁN e ESPÍN, 2001).

De acordo com Gasull e Becerra (2006), a atividade da enzima presente em frutas e vegetais pode ser inibida por aquecimento ou remoção de alguns de seus componentes necessários, como oxigênio molecular, o Cu^{+2} ou o substrato. Agentes redutores, antioxidantes e inibidores enzimáticos previnem o escurecimento enzimático através da redução das *o*-quinonas a difenóis, inibindo a atividade da enzima por diminuição do pH, e o seqüestro de Cu^{+2} do alimento.

O ajuste de pH utilizando-se ácidos orgânicos, como ácido málico, fumárico, para valores abaixo de 4,0 também é empregado para inibir a ação da enzima em sucos e frutas em pedaços. Sendo a enzima dependente de O_2 , a utilização de embalagens impermeáveis ao oxigênio, com atmosfera de CO_2 ou N_2 , também é prática comum na prevenção do escurecimento. Entretanto, o método mais empregado para inibição da PPO consiste na utilização de agentes redutores, como ascorbato e bissulfito, que além de promover a inativação também atuam na redução de benzoquinonas a *o*-dihidroxifenóis. O aminoácido L-cisteína atua na inibição da PPO de duas formas: primeiro estendendo a fase lag da PPO, e segundo, combinando-se com quinonas e impedindo a polimerização (MARTINEZ e WHITAKER, 1995). Além da PPO, a peroxidase (POD) também é uma enzima responsável pelo escurecimento de frutas e hortaliças.

A POD faz parte de um grande grupo de enzimas chamadas de oxirredutases, as quais são largamente distribuídas na natureza e catalisam a oxidação de um grande número de fenóis com anéis aromáticos que ocorrem em tecidos vivos e estão associadas a mudanças deteriorativas no sabor e coloração de frutas e vegetais armazenados (ROBINSON, 1991; BURNETTE, 1977). Na reação enzimática o peróxido de hidrogênio ou outro peróxido

orgânico, como o peróxido de metila ou o etil hidrogênio, é reduzido, enquanto que um doador de elétrons (AH_2) é oxidado. O doador de elétrons pode ser ascorbato, fenóis, aminas ou outros compostos orgânicos. Em muitos casos o produto da oxidação é colorido e serve como base para a determinação colorimétrica da atividade da peroxidase (BRITO *et al.*, 2005). A geração de peróxido de hidrogênio na oxidação de alguns fenóis catalisados pela polifenoloxidase poderia indicar uma possível ação sinérgica entre essas enzimas, o que sugere o envolvimento da peroxidase nos processos de escurecimento (SUBRAMANIAN *et al.*, 1999).

Entretanto, a interferência desta enzima no teor de escurecimento dos alimentos é muito menor que a da PPO. Belluzo (2008) estudou as atividades da PPO e POD em pêssegos congelados e observou que a atividade da primeira enzima é 46% mais alta, indicando que a PPO é a principal enzima responsável pelas reações de escurecimento em pêssegos, e tem atividade máxima acima de 80% a 20 °C.

Cano, Ancos e Lobo (1995) em seus estudos sobre atividade de POD e PPO em mamão, observaram um aumento da atividade da POD quando a fruta foi armazenada a -18 °C. O congelamento produziu um aumento na quantidade solúvel da enzima, possivelmente devido ao rompimento de membranas, liberando o catalisador das reações, uma vez que os solutos estão mais concentrados devido ao congelamento.

Vários compostos que atuam como agentes redutores são capazes de inibir a ação da peroxidase. Muitos desses compostos inibem a enzima de forma irreversível, utilizando para isso, mecanismos que envolvem oxigênio e íon ferro. Acredita-se que isso se dá pela formação de espécie reativa de oxigênio na posição do sítio ativo ocupado pelo íon ferro. Dentre os agentes redutores que apresentam esta propriedade pode ser citado ditiotreitol (DDT), 2-mecaptoetanol e ascorbato (YOUNG e SOO, 1998).

2.3.1 Agentes antiescurecimento

Um método muito usado para estender a vida-útil de batatas minimamente processadas é o uso de modificação ativa da atmosfera da embalagem, porém este método por si só não é capaz de evitar o escurecimento destes produtos. Assim, o uso de agentes inibidores do escurecimento poderia ser um aliado à modificação da atmosfera na prevenção ou retardamento deste processo químico (PINELI *et al.*, 2005; GUNES e LEE, 1997).

2.3.1.1 Ácido cítrico

O ácido cítrico é o principal ácido orgânico de frutas e hortaliças e sua aplicação em produtos minimamente processados, por imersão e associado a outros ácidos, tem apresentado resultados satisfatórios, tanto em relação à prevenção do escurecimento enzimático quanto na redução da carga microbiana (CALDER *et al.*, 2011; CHIUMARELLI *et al.*, 2011; LIMBO e PIERGIOVANNI, 2007; LEE *et al.*, 2003; AHVENAINEN, 1996; WILEY, 1994).

É o principal agente acidulante utilizado na indústria alimentícia para prevenção do escurecimento, por possuir capacidade de bloquear a atividade da enzima tirosinase através da sua ação quelante e da redução do pH, além de ser sensorialmente aceito pela maioria dos consumidores quando utilizado a reduzidas concentrações. Por não haver uma legislação específica no Brasil sobre a concentração de ácido cítrico a ser utilizada em alimentos, a definição deste parâmetro se dá por avaliações sensoriais, químicas e físicas (ROCCULI *et al.*, 2007; MODA *et al.*, 2005).

Chiumarelli (2008) afirma que a imersão de mangas ‘Tommy Atkins’ minimamente processadas em solução de ácido cítrico (5 g L^{-1}) é eficiente na preservação dos parâmetros de cor e também reduzem a atividade respiratória, mas agem negativamente sobre a perda de peso e as propriedades mecânicas destes produtos.

Segundo Rocculi *et al.* (2007), o uso de ácido cítrico, ácido ascórbico e L-cisteína, na faixa de concentração compreendida entre 0,5 e 2,0 % por 2 minutos aumenta a atividade metabólica e influencia a composição de açúcares de batatas minimamente processadas.

2.3.1.2 Branqueamento

O branqueamento é um dos procedimentos usados durante a preparação de vegetais frescos antes de processos de conservação, como conservas e congelamento. Seu principal objetivo é a inativação de enzimas responsáveis por reações de deterioração. Entretanto, esta operação tem alguns inconvenientes como perdas de qualidade do produto, impacto ambiental e gasto energético (ARROQUI *et al.*, 2002). É um método também muito usado em batatas minimamente processadas na prevenção do escurecimento enzimático por inativar a ação da polifenoloxidase (SEVERINI *et al.*, 2003), melhorar e preservar a textura e reduzir a absorção de óleo de produtos fritos (MIRANDA e AGUILERA, 2006). Entretanto, pode causar

importantes perdas de ácido ascórbico, um de seus principais nutrientes (AUGUSTIN *et al.*, 1979). Esta vitamina é frequentemente usada com indicador de severidade do processo. É assumido que se o ácido ascórbico está retido no alimento, então a porcentagem de retenção de todos os outros nutrientes é tão elevada ou superior (SELMAN, 1994; SCHWARTZBERG e CHAO, 1982).

Os benefícios do uso de branqueamento diferem entre os autores. Moreira, Castell-Perez e Barrufet (1999) afirmaram que fatias de batata branqueadas apresentam cor mais uniforme após a fritura, além de formar uma camada de amido gelatinizada que limita a absorção e melhora a textura. Já Alvarez, Morillo e Canet (2000) observaram que este tratamento leva à perda de firmeza e de outros atributos de qualidade do produto, como nutrientes, flavor e cor. Segundo Rimac-Brneié *et al.* (2004) o branqueamento afeta significativamente o teor de óleo de batatas fritas. Outros autores afirmam que o branqueamento promove também a redução da umidade da superfície e selagem dos poros intercelulares devido a expansão celular, além de reduzir a carga microbiana (ONER e WALKER, 2011). Severini *et al.* (2003) ao avaliarem como o tempo de tratamento e concentrações de cloreto de sódio ou cálcio e ácido láctico afetaram o branqueamento de fatias de batata, observaram que estas apresentaram maiores valores de luminosidade (L*) em comparação com as amostras que não foram branqueadas.

Como desvantagens, o branqueamento pode levar a uma redução da firmeza, devido à perda da pressão de turgor que muda os constituintes das paredes da célula e leva ao amolecimento do produto. Além disso, mudanças em outros atributos de qualidade do produto, como nutrientes, flavor e cor podem ocorrer (ALVAREZ, MORILLO e CANET, 2000). Há indícios de fortes ligações celulares, que são atribuídas à modificação de substâncias pécticas pela polimetilesterase e que alteram a firmeza das batatas fritas que foram submetidas ao branqueamento. Segundo Alvarez, Morillo e Canet (2000) o branqueamento produz descoloração de tiras de batata Monalisa e aumenta a quantidade de óleo absorvida durante a fritura, além de contribuir para um decréscimo da qualidade sensorial. Já Oner e Walker (2011) observaram que a combinação de branqueamento em duas etapas e embalagem semi-asséptica foi um processo não químico efetivo na extensão da vida útil e na manutenção da qualidade de fatias de batatas armazenadas sob refrigeração.

A indústria alimentícia tem se concentrado geralmente na inativação de microrganismos e enzimas pelo uso de eficientes métodos físicos que muitas vezes envolvem calor. Entretanto, ao passo que o calor pode ajudar na preservação do alimento, ele também pode causar deterioração, como perda de nutrientes e redução das propriedades organolépticas do material (HE e LUO, 2007). Por isso, tem-se buscado métodos alternativos para preservação de alimentos usando diferentes estratégias ou princípios físicos.

2.3.1.3 Ultrassom

O ultrassom é uma operação não térmica eficiente no processamento de alimentos por melhorar as reações químicas e influenciar os processos de cristalização. A técnica consiste em fenômenos físicos e químicos fundamentalmente diferentes dos aplicados nos processos convencionais de extração, processamento e preservação. O efeito é devido a cavitação acústica, um processo que envolve a formação, crescimento e colapso violento de pequenas bolhas no líquido como resultado da flutuação da pressão acústica e pode acelerar reações químicas, aumentar as taxas de difusão, dispersar os agregados, quebrar pequenas partículas e materiais poliméricos, como enzimas, e inativar microrganismos (CHEMAT, ZILL-e-HUMA e KHAN, 2011; KNORR *et al.*, 2004; SALA *et al.*, 1995).

Os tratamentos térmicos convencionais inativam os microrganismos vegetativos e alguns esporos, além de inativar enzimas. Entretanto, o binômio tempo-temperatura responsável pelo processo é proporcional a quantidade de nutrientes perdida, desenvolvimento de sabores indesejáveis e deterioração de propriedades funcionais dos alimentos. O ultrassom é uma técnica de preservação que poderia eliminar a atividade microbiana sem causar danos tão severos se alguns fatores são levados em consideração, como, por exemplo, amplitude das ondas, tempo de exposição ou contato, volume de alimento processado, temperatura do processo, composição do alimento e tipo de microrganismo (CHEMAT *et al.*, 2011; PIYASENA, MOHAREB e McKELLAR, 2003).

Este método tem sido utilizado na indústria de alimentos, como na redução do tempo de eclosão de ovos de peixe, no tempo de germinação de sementes e como pré-tratamento para facilitar a perda de água e reduzir o tempo de secagem (JAMBRAK *et al.*, 2007). Jambrak *et al.* (2010) ao estudarem o efeito do tratamento com ultrassom no pH da α -lactoalbumina não

encontraram diferença significativa deste atributo após a aplicação do tratamento, entretanto foi observado aumento significativo da condutividade elétrica após 20 kHz de sonicação.

Devido à série de rápidas contrações e expansões que ocorrem no tecido no momento da sonicação, podem ocorrer alterações no teor de água dos produtos submetidos a esse tratamento (NOWACKA *et al.*, 2012). Estes autores observaram que o uso de ultrassom por 30 minutos no pré-tratamento de cubos de maçã resultou em perda de massa das frutas, embora essa redução tenha sido inversamente proporcional ao tempo de exposição.

Poucas mudanças foram observadas na estrutura do tecido celular e no teor de umidade de fatias de abacaxi submetidas a 20 minutos de tratamento com banho ultrassom com frequência de 25 kHz. Entretanto, o aumento do tempo de exposição ao tratamento provocou a distorção da estrutura celular (FERNANDES, GALLÃO & RODRIGUES, 2009). Jang e Moon (2011) avaliaram o efeito do tratamento com ultrassom utilizado de forma individual ou em combinação com ácido ascórbico e observaram que a combinação dos métodos promoveu a inativação de enzimas responsáveis pelo escurecimento de maçãs minimamente processadas, enquanto que o tratamento individual teve efeito inverso e limitado nas enzimas, revelando assim que o uso de ácido ascórbico e ultrassom atuaram sinergisticamente sobre o efeito inibitório das enzimas relacionadas com o escurecimento enzimático.

No entanto, a consequência dos tratamentos com ultrassom em alguns componentes específicos do alimento não tem sido estudado o suficiente e o efeito real da degradação pelo uso deste tratamento não é completamente conhecido, principalmente no setor de minimamente processados (JAMBRAK *et al.*, 2010; MIZRACH, 2008). Sabe-se que as ondas de ultrassom são capazes de produzir um efeito positivo na atividade enzimática, embora intensidades muito altas possam provocar a ruptura de células e desnaturação de enzimas por meio da despolimerização (CHEMAT, ZILL-e-HUMA e KHAN, 2011; MASON, PANIWNKY e LORIMER, 1996). Mesmo as ondas de baixa intensidade são capazes de modificar o metabolismo das células. Em combinação com o calor, o ultrassom pode acelerar a taxa de esterilização dos alimentos, diminuindo assim a duração e intensidade do tratamento térmico e o consequente dano. As vantagens em relação à esterilização incluem a minimização da perda de flavor, maior homogeneidade e significativa economia de energia. Além disso, oferece grandes vantagens em termos de produtividade e rendimento ao melhorar o tempo de

processamento, garantir qualidade e reduzir danos físicos e mecânicos (CHEMAT ZILL-e-HUMA e KHAN, 2011).

Com relação ao amido, o aumento da intensidade e do poder ultrassom provoca maiores gradientes de pressão devido ao colapso violento das bolhas, que acarreta aumento na temperatura dos produtos e poderia resultar em quebra do amido (JAMBRAK *et al.*, 2010). Uma descrição das mudanças que ocorrem no grão de amido após o tratamento com ultrassom é mostrado na figura 1. O inchaço devido à hidratação aumenta o diâmetro do grânulo; a estrutura do anel se torna visível. O aumento da temperatura causa inchaço dos grânulos e provoca rompimento homogêneo da superfície granular em partículas de aproximadamente 400 nm; estas partículas são então deslocadas da posição inicial nos anéis e aparecem aleatoriamente distribuídas dentro do grânulo. A solução gelatinizada irá retrodegradar para formar um sólido viscoso. O ultrassom pode acelerar o processo de despolimerização do gel de amido pela separação da amilopectina, lixiviando a amilose a partir da entidade coletiva que permaneceu na fase de gel amorfo (IIDA *et al.*, 2008; ATKIN *et al.*, 1998).

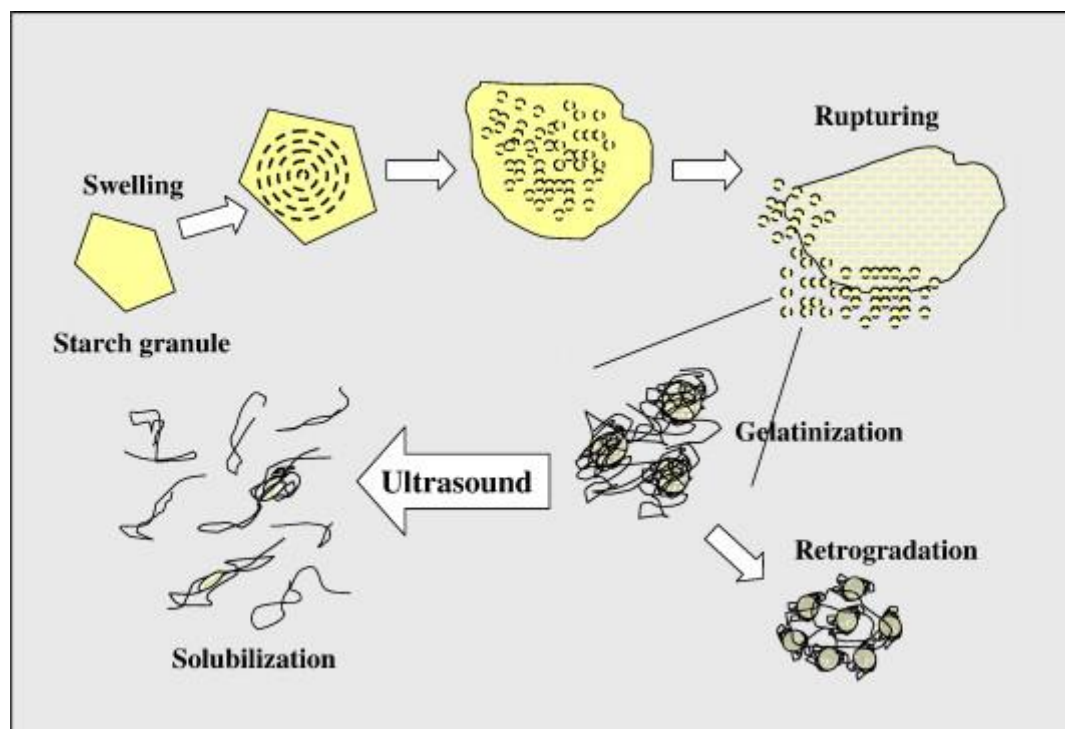


Figura 1. Diagrama descritivo do inchaço e gelatinização do grão de amido após a aplicação de ultrassom. Fonte: IIDA *et al.* (2008)

De acordo com Chandrapala *et al.* (2012) o aumento do inchaço está associado à capacidade de absorção de água e solubilidade dos grânulos. Imagens de microscopia tem mostrado o impacto do ultrassom na estrutura e tamanho de grânulos de amido.

2.3.2 Coberturas comestíveis

Filmes comestíveis e coberturas são produzidos a partir de biopolímeros comestíveis e aditivos de grau alimentício. São sistemas promissores para a manutenção da qualidade, aumento da vida útil, segurança e funcionalidade, embora a eficiência e propriedades funcionais destes materiais são altamente dependentes de características inerentes dos materiais formadores do filme, ou seja, biopolímeros (como as proteínas, carboidratos e lipídios) que são compostos relativamente hidrofílicos quando comparados com os materiais plásticos comerciais, plastificantes e outros aditivos. (HAN e GENNADIOS, 2005; GENNADIOS e KURTH, 1997).

Os filmes comestíveis e as coberturas protegem o produto de danos físicos causados por impacto mecânico, pressão, vibrações e outros fatores mecânicos (HAN e GENNADIOS, 2005). Alguns trabalhos fazem relação ao uso de coberturas comestíveis e a redução da absorção de óleo durante a fritura de batatas (BALASUBRAMANIAM *et al.*, 1997; KROCHTA e MULDER-JONHSTON, 1997; SENSIDONI e PERESSINI, 1997). No entanto, questões de segurança relacionadas com o potencial de toxicidade ou alergenicidade ou a mudança de microflora devem ser observados no uso dos filmes comestíveis. Além disso, outros fatores como preço final do produto, relutância dos consumidores a novos materiais, além de instruções sobre como abrir a embalagem e consumo do produto devem ter especial atenção (HAN e GENNADIOS, 2005). Alguns outros fatores também podem ser limitantes para uso comercial de filmes comestíveis e recobrimentos. Eles podem incluir a complexidade do processo de produção, tamanho do investimento para instalação de equipamentos, potencial conflito com sistemas de embalagem convencionais e assuntos regulatórios, já que uma vez que estes filmes são parte integrante dos produtos, eles devem seguir todos os regulamentos a respeito dos produtos alimentares (HAN e GENNADIOS, 2005).

2.3.2.1 Alginato

O alginato é derivado da parede celular de algas marinhas marrons (Phaeophyceae). São polissacarídeos usados como agentes de gelificação na indústria alimentícia e de grande interesse pelo potencial de cobertura resultantes de suas propriedades coloidais únicas, que em contato com cátions multivalentes como o cálcio formam géis fortes ou polímeros insolúveis (RHIM, 2004; MANCINI e McHUGH, 2000; YANG e PAULSON, 2000). O mecanismo de gelificação envolve interações entre íons cálcio e grupos carboxílicos que são produzidas pela mistura dos componentes e formações dos filmes, ou incorporação da solução catiônica num filme já moldado e seco (RHIM, 2004).

Alguns estudos mostram que o uso desta cobertura pode preservar parâmetros de qualidade de vários produtos, sendo boa barreira aos gases, decrescendo a taxa de respiração e, conseqüentemente, as atividades metabólicas, além de retardar o escurecimento, diminuir a perda de massa ao longo do período de armazenamento e apresentar menor tensão de ruptura, aumentando sua vida útil (CHIUMARELLI *et al.*, 2011; GROPPPO *et al.* 2009; OMS-OLI, SOLIVA-FORTUNY e MARTIN-BELLOSO, 2008; ROJAS-GRAÜ, TAPIA e MARTIN-BELLOSO, 2008; TAPIA *et al.*, 2008). Fontes *et al.* (2008), ao avaliarem o uso de películas comestíveis (dextrina de fécula de mandioca, fécula de mandioca e alginato de sódio) em associação com solução conservadora (ácido ascórbico e ácido cítrico), na preservação de maçãs da cultivar Royal Gala minimamente processadas (MP) durante armazenamento refrigerado, observaram que o uso das películas não foi percebido visualmente, com exceção do produto com alginato, no qual a película formada foi mais espessa, brilhante e, também, mais visível macroscopicamente. Entretanto, o tratamento com película de alginato de sódio foi o mais eficiente dentre os tratamentos no controle da taxa respiratória das maçãs MP. Olivas, Mattinson e Barbosa-Cánovas (2007) observaram que as coberturas com alginato de sódio foram boas barreiras na redução da perda de aromas voláteis ou afetando o metabolismo da sua produção em maçãs minimamente processadas. No entanto, o uso de películas a base de polissacarídeos por si só não parece contribuir substancialmente para o melhoramento da capacidade antioxidante de peras minimamente processadas (OMS-OLI, SOLIVA-FORTUNY e MARTIN-BELLOSO, 2008). Garcia e Barret (2002) afirmam que o uso de coberturas pode minimizar as mudanças de cor em produtos minimamente processados, mas o uso combinado com agentes antiescurecimento pode reduzir o escurecimento enzimático mais eficientemente.

Chiumarelli *et al.* (2011) não encontraram diferenças significativas entre amostras de manga ‘Tommy Atkins’ minimamente processadas cobertas com alginato de sódio com e sem glicerol como plastificante com respeito a perda de peso, propriedades mecânicas e cor durante o armazenamento refrigerado.

Miguel *et al.* (2009), ao avaliarem o efeito da aplicação de película à base de alginato de sódio (0,25; 0,50; 0,75 e 1,00 %) na conservação pós-colheita de uva ‘Itália’ armazenada a $4 \pm 0,7$ °C por 29 dias, concluíram que a concentração de 1% foi a que apresentou melhores resultados de perda de massa, manutenção da textura, teores de umidade e de sólidos solúveis, além de propiciar menor intensidade no escurecimento das bagas.

2.4 Fritura e textura

A fritura pode ser considerada como uma combinação rápida de secagem e cocção, onde ocorrem diversas mudanças químicas e físicas, como a gelatinização do amido, desnaturalização de proteínas, vaporização de água e formação de crocância (RIMAC-BRNEIÉ *et al.*, 2004; SAGUY e PINTHUS, 1995). Além disso, é inerente da fritura a transferência de calor e massa. A primeira ocorre por convecção do óleo circundante para a superfície e subsequente condução para o interior do produto. Já na transferência de massa, quando as tiras de batata são imersas no óleo aquecido (160-180 °C), a temperatura da superfície aumenta rapidamente, a água do produto entra em ebulição e alcança a superfície na forma de bolhas. Imediatamente após a imersão e dependendo da quantidade de produto adicionada a temperatura do óleo é reduzida voltando a aumentar até a temperatura selecionada. Como resultado do processo da fritura, uma crosta é formada e mais internamente a cocção do núcleo (TANGDUANGDEE, BHUMIRATANA e TLA, 2003). A espessura da crosta produzida continua a aumentar e o número de bolhas de vapor é reduzido (MIRANDA e AGUILERA, 2006).

Estas mudanças influenciam na textura, atributo sensorial determinante para a aceitabilidade do produto. O grau de absorção do óleo é afetado significativamente por fatores como tratamentos aplicados, temperatura e tempo de processo, características físico-químicas, origem e composição química do óleo. A qualidade do óleo também exerce certa influência na absorção do mesmo pelos alimentos durante a fritura e nas características nutritivas e organolépticas (RIMAC-BRNEIÉ *et al.*, 2004). A seleção do óleo considera a degradação

sofrida durante o uso e a ausência de gorduras saturadas e trans. Em batatas fritas o teor de óleo final deve estar em torno de 10-15% base úmida (MIRANDA e AGUILERA, 2006).

Alguns atributos do produto, como o teor de matéria seca e gravidade específica refletem a quantidade de amido presente e são indicadores de qualidade do processo de fritura. A crocância do produto frito foi reportada como dependente do teor de matéria seca das batatas frescas, sendo que tubérculos com altos teores de matéria seca promovem uma textura mais crocante e menor teor de óleo (GAMBLE e RICE, 1987). Em geral, tubérculos com alto teor de matéria seca (20-22%), alto teor amilose-amilopectina e baixo teor de açúcares redutores são mais recomendados. O teor de açúcares interfere na cor final do produto, uma vez que altos teores deste composto podem promover um escurecimento das batatas, em virtude da reação de Maillard. Além disso, aliados a baixos níveis de amido podem apresentar amolecimento após os processos de cocção (ADAMS, 2004).

O escurecimento não enzimático ou reação de Maillard é um problema sério em produtos de batata e envolve uma série de passos que iniciam com a reação entre o grupamento carbonila ou cetona do açúcar redutor e o grupo amino de aminoácidos, peptídeos ou proteínas. Essa reação sofre influência decisiva da temperatura, com velocidade variando de lenta, a 67 °C, até violenta, a 150 °C. As temperaturas altas do óleo no processo de fritura representam um desencadeante dessa reação (LOW *et al.*, 1989). Outro fator extremamente importante pelo escurecimento indesejável de tubérculos processados é o alto nível de açúcares, que pode variar entre cultivares (SCHWOBE e PARKIN, 1990). Entretanto, Rodriguez-Saona e Wrolstad (1997) sugerem que o teor de açúcares redutores por si só não é um estimador confiável da mudança de cor de chips de batata, uma vez que tubérculos com diferentes concentrações deste carboidrato apresentaram chips de cor semelhante.

2.4.1 Formação de acrilamida

A acrilamida é produzida naturalmente em alguns alimentos cozidos ou processados em altas temperaturas, sendo que os níveis variam de acordo com o tempo e o modo de aquecimento e tem correlação com o escurecimento do produto (AHN *et al.*, 2002). A sua formação se dá durante a reação de Maillard, onde os principais agentes desta reação são a asparagina e os açúcares redutores frutose e glicose (3-6). A asparagina, que é encontrada em grande quantidade em batatas, foi identificada como sendo o principal precursor da acrilamida,

uma vez que a presença deste aminoácido em misturas de aminoácido e açúcares redutores submetidos a altas temperaturas aumentou o nível de acrilamida, principalmente acima de 120 °C (*et al.*; 2003; MOTTRAM, WEDZICHA e DODSON, 2002; STADLER *et al.*, 2002). A asparagina é o suporte principal da molécula de acrilamida, enquanto que os açúcares redutores são os co-reagentes essenciais na formação de N-glicosídeos intermediários que levam a formação da acrilamida. Batatas fritas pertencem à categoria de alimentos com, provavelmente, as maiores concentrações de acrilamida já registradas, uma vez que o processo de fritura é a condição ideal da sua formação. Já em relação aos açúcares redutores, alguns autores observaram que a frutose é mais eficiente que a glicose na formação de acrilamida (ROBERT *et al.*, 2004; STADLER *et al.*, 2004).

Becalski *et al.* (2004) ao verificarem a influência de aminoácidos e açúcares na formação de acrilamida de batatas fritas concluíram que os níveis de açúcares estão bem correlacionados com os níveis de acrilamida, enquanto que os níveis de asparagina isoladamente não foram fortes preditores do aumento no nível de acrilamida dos produtos fritos.

Produtos que contém altos teores de acrilamida são produtos fritos derivados da batata e produtos assados, os quais têm na crosta formada a alta quantidade de acrilamida, indicando que a formação deste composto é somente superficial. Estas condições promovem o escurecimento através da caramelização e reação de Maillard, reações que são importantes por conferir aos produtos o aroma, gosto e aparência que o consumidor deseja (WICKLUND *et al.*, 2006).

Alguns tratamentos que reduzem o pH dos produtos podem limitar a formação de acrilamida. Jung, Choi e Ju (2003) constataram que o branqueamento ou imersão em solução de ácido cítrico antes da cocção ou fritura reduz substancialmente a formação de acrilamida em *snacks* de milho e batatas fritas. Kita *et al.* (2004) reportaram que o branqueamento (70 °C/3 minutos) com ácido acético ou ácido cítrico diminui de 40-60 % o teor de acrilamida de fatias de batata. Entretanto, o uso deste último ácido provoca modificação no gosto das batatas fritas, sugerindo que o ácido acético pode ser um pré-tratamento acidulante mais eficiente.

O binômio tempo-temperatura também afeta de forma significativa a formação de acrilamida. Entretanto, se a temperatura é diminuída, será necessário aumentar o tempo de fritura, o que poderia afetar igualmente o teor de acrilamida (KITA *et al.*, 2004). Taubert *et al.*

(2004) avaliaram a influência de parâmetros do processamento na formação de acrilamida durante a fritura de batatas e concluíram que a área de superfície e o tempo de fritura são fatores determinantes na formação deste composto, e que em temperatura de 120 °C já se pode observar a sua formação.

2.5 Referências bibliográficas

ABBA. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE BATATA. **A batata – História da batata**. Disponível em: <http://www.abbabatatabrasileira.com.br/2008/abatata.asp?id_BAT=2>. Acesso em: 02 de outubro de 2011.

ADAMS, J.B. Raw materials quality and the texture of processed vegetables. In: **Texture in Foods**. Cambridge: Woodhead Publ. Ltd., p. 342–363, 2004.

AHN, J.S.; CASTLE, L.; CLARKE, D.B.; LLOYD, A.S.; PHILO, M.R.; SPECK, D.R. Verification of the findings of acrylamide in heated foods. **Food Additives and Contaminants**, v. 19, n. 12, p. 1116-1124, 2002.

AHVENAINEN, R. New Approaches in Improving the Shelf Life of Minimally Processed Fruit and Vegetables. **Trends in Food Science & Technology**, v. 07, n. 06, p. 179-187, Jun, 1996.

ALVAREZ, M.D.; MORILLO, M.J.; CANET, W. Characterization of the frying process of fresh and blanched potato strips using response surface methodology. **European Food Research and Technology**, v. 211, n. 05, p. 326-335, 2000.

ARROQUI, C.; RUMSEY, T.R.; LOPEZ, A.; VIRSEDA, P. Losses by diffusion of ascorbic acid during recycled water blanching of potato tissue. **Journal of Food Engineering**, v. 52, n. 01, p. 25–30, 2002.

ATKIN, N.J.; ABEYSEKERA, R.M.; CHENG, S.L.; ROBARDS, A.W. An experimentally-based predictive model for the separation of amylopectin subunits during starch gelatinization. **Carbohydrate Polymers**, v. 36, p. 173–192, 1998.

AUGUSTIN, J.; SWANSON, B.G.; TEIZEL, C.; JOHNSON, S.R.; PAMETTO, S.F.; ARTZ, W.E.; HUANG, C.P.; SCHOMAKER, C. Changes in nutrient composition during commercial processing of frozen potato products. **Journal of Food Science**, v. 44, n. 03; p. 807-809, 1979.

BALASUBRAMANIAM, V.M.; CHINNAN, M.S.; MALLIKARJUNAN, P; PHILIPS, R.D. The effect of edible film on oil uptake and moisture retention of a deep-fat fried poultry product. **Journal of Food Processing and Engineering**, v. 20, n. 01, p.17-29, 1997.

BECALSKI, A.; BENJAMIN, P.Y.L.; LEWIS, D.; SEAMAN, S.W.; HAYWARD, S.H.; SAHAGIAN, M.; RAMESH, M.; LECLERC, Y. Acrylamide in French fries: influence of free amino acids and sugars. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 52, n. 12, p. 3801-3806, 2004.

BELLUZZO, A.S.F. **Caracterização parcial da polifenoloxidase e avaliação de compostos fenólicos e antioxidantes em pêssgo (cv. Biuti)**. 98 p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2008.

BERBARI, S.A.G.; AGUIRRE, J.M. **Alternativas para o aproveitamento industrial de batata**. Batata Show, n. 04, 2002. Disponível em: <http://www.abbabatatabrasileira.com.br/revista04_018.htm>. Acesso em: 29 de março de 2012.

BRANDELLI, A.; LOPES, C.H.G.L. Polyphenoloxidase activity, browning potential and phenolic content of peaches during postharvest ripening. **Journal of Food Science**, v. 29, n. 06, p. 624-637, 2005.

BRITO, C.A.K.; SATO, H.H.; SPIRONELLO, A.; SIQUEIRA, W.J. Características da Atividade de Peroxidase em Abacaxis (*Ananas comosus*(L) Merrill) da Cultivar IAC Gomo-de-Mel e do Clone IAC-1. **Ciências e Tecnologia de Alimentos**, v. 25, n. 02, p. 244-249, 2005.

BURNETTE, F.S., Peroxidase and its relationship to food flavour and quality: a review. **Journal of Food Science**, v. 42, n. 01, p. 1-6, 1977.

CALDER, B.L.; KASH, E.A.; DAVIS-DENTICI, K.; BUSHWAY, A.A. Comparison of Sodium Acid Sulfate to Citric Acid to Inhibit Browning of Fresh-Cut Potatoes. **Journal of Food Science**, v. 76, n. 03, p. S164-S169, 2011.

CANO, P.M.; ANCOS, B.; LOBO, G. Peroxidase and Polyphenoloxidase activities in Papaya during postharvest ripening and after freezing/thawing. **Journal of Food Science**, v. 60, n. 04, p. 815-820, 1995.

CHANDRAPALA, J.; OLIVER, C.; KENTISH, S.; ASHOKKUMAR, M. Ultrasonics in food processing. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 19, p. 975–983, 2012.

CHEMAT, F.; ZILL-e-HUMA; KHAN, M.K. Applications of ultrasound in food technology: Processing, preservation and extraction. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 18, n. 04, p. 813–835, 2011.

CHIUMARELLI, M. **Avaliação da vida útil de manga (*Mangifera indica* cv 'Tommy Atkins' minimamente processada pré-tratada com ácido cítrico e coberturas comestíveis**. 102p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.

CHIUMARELLI, M.; FERRARI, C.C.; SARANTÓPOULOS, C.I.G.L.; HUBINGER, M.D. Fresh cut 'Tommy Atkins' mango pre-treated with citric acid and coated with cassava (*Manihot esculenta* Crantz) starch or sodium alginate. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 12, n. 03, p. 381–387, 2011.

DINCER, B.; COLAK, A.; AYDIN, N.; KADIOGLU, A.; GÜNER, S. Characterization of polyphenoloxidase from Medlar fruits (*Mespilus germanica* L., Rosacea). **Food Chemistry**, v. 77, n. 01, p. 1-7, 2002.

ERAT, M.; SAKIROGLU, H.; KUFREVIOGLU, O. I. Purification and characterization of polyphenol oxidase from *Ferula* sp. **Food Chemistry**, v. 95, n. 03, p. 503-508, 2006.

ESCRIBANO, J.; CABANES, J.; CHAZARRA, S.; GARCIA-CARMONA, F. Characterization of monophenolase activity of table beet polyphenol oxidase. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, v. 45, n. 11, p. 4209-4214, 1997.

FAO a. **El mundo de la papa**. Disponível em: <<http://www.potato2008.org/es/mundo/index.html>>. Acesso em: 22 agosto 2013.

FAO b. **Las papas, la nutrición y la alimentación**. Disponível em: <<http://www.potato2008.org/es/lapapa/hojas.html>>. Acesso em: 20 janeiro de 2011.

FERNANDES, F.A.N.; GALLÃO, M.I.; RODRIGUES, S. Effect of osmosis and ultrasound on pineapple cell tissue structure during dehydration. **Journal of Food Engineering**, v. 90, p. 186–190, 2009.

FONTES, L.C.B.; SARMENTO, S.B.S; SPOTO, M.H.F.; DIAS, C.T.S. Conservação de maçã minimamente processada com o uso de películas comestíveis. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 28, n. 04, p. 872–880, 2008.

GAMBLE, M.H.; RICE, P. Effect of pre-fry drying on oil uptake and distribution in potato crisp manufacture. **International Journal Food Science Technology**, v. 22, n. 05, p. 535–548, 1987.

GARCIA, E.; BARRETT, D.M. Preservative treatments for fresh-cut fruits and vegetables. In: LAMIKANRA, O. (Ed.), **Fresh-cut fruits and vegetables: science, technology and market**, Boca Raton: CRC Press, p. 267–304, 2002.

GASULL, E.; BECERRA, D. Caracterización de Polifenoloxidasa Extraída de Pêra (CV. Packam's Triumph) y Manzana (cv. Red Delicious). **Información Tecnológica**, v. 17, n. 06, p. 69-74, 2006.

GENNADIOS, A.; KURTH, L.B. Application of edible coatings on meats, poultry and seafoods: a review. **LWT - Food Science and Technology**, v. 30, n. 04, p. 337–350, 1997.

GROPPO, V.D.; SPOTO, M.H.F.; GALLO, C.R.; SARMENTO, S.B.S. Efeito do cloreto de cálcio e da película de alginato de sódio na conservação de laranja 'Pera' minimamente processada. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 29, n. 01, p. 107-113, 2009.

GUNES, G.; LEE, C.Y. Colour of minimally processed potatoes as affected by modified atmosphere packaging and antibrowning agents. **Journal of Food Science**, v. 62, n. 03, p. 572-575, 1997.

HAN, J.H.; GENNADIOS, A. Edible films and coatings: a review. In: **Innovations in Food Packaging**, Amsterdam: Elsevier Science & Technology Books, p. 239-262, 2005.

HE, Q.; LUO, Y. Enzymatic browning and its control in fresh-cut produce. **Stewart Postharvest Review**, v. 6, n. 03, p. 1-7, 2007.

IIDA, Y.; TUZIUTI, T.; YASUI, K.; TOWATA, A.; KOZUKA, T. Control of viscosity in starch and polysaccharide solutions with ultrasound after gelatinization. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 09, p. 140–146, 2008.

JAMBRAK, A.R.; MASON, T.J.; PANIWNKY, L.; LELAS, V. Accelerated drying of button mushrooms, brussels sprouts and cauliflower by applying power ultrasound and its rehydration properties. **Journal of Food Engineering**, v. 81, n. 01, p. 88–97, 2007.

JAMBRAK, A.R.; MASON, T.J.; LELAS, V.; KRESIC, G. Ultrasonic effect on physicochemical and functional properties of α -lactalbumin. **LWT - Food Science and Technology**, v. 43, n. 02, p. 254–262, 2010.

JANG, J.H.; MOON, K.D. Inhibition of polyphenol oxidase and peroxidase activities on fresh-cut apple by simultaneous treatment of ultrasound and ascorbic acid. **Food Chemistry**, v. 124, n. 02, p. 444–449, 2011.

JUNG, M.Y.; CHOI, D.S.; JU, J.W. A novel technique for limitation of acrylamide formation in fried and baked corn chips and in French fries. **Journal Food Science**, v. 68, n. 04, p. 1287–1290, 2003.

KITA, A.; BRATHEN, E.; KNUTSEN, S.H.; WICKLUND, T. Effective Ways of Decreasing Acrylamide Content in Potato Crisps during Processing. **Journal of Agriculture Food Chemistry**, v. 52, n. 23, p. 7011–7016, 2004.

KNORR, D.; ZENKER, M.; HEINZ, V.; LEE, D. Applications and potential of ultrasonics in food processing. **Trends in Food Science and Technology**, v. 15, n. 05, p. 261–266, 2004.

KROCHTA, J.M.; MULDER-JOHNSTON, C. Edible and biodegradable polymer films: challenges and opportunities. **Food Technology**, v. 51, n. 02, p. 61–74, 1997.

LEE, J.Y.; PARK, H.J.; LEE, C.Y.; CHOI, W.Y. Extending shelf-life of minimally processed apples with edible coatings and antibrowning agents. **LWT - Food Science and Technology**, v. 36, n. 03, p. 323–329, 2003.

LIMBO, S.; PIERGIOVANNI, L. Minimally processed potatoes: part 2. Effects of high oxygen partial pressures in combination with ascorbic and citric acid on loss of some quality traits. **Postharvest Biology and Technology**, v. 43, n. 02, p. 221–229, 2007.

LOW, N.; JIANG, B.; OORAIKUL, B.; DOKHANI, S.; PALCIC, M.M. Reduction of glucose content in potatoes with glucose oxidase. **Journal of Food Science**, v. 54, n. 01, p.118-121, 1989.

MANCINI, F.; McHUGH, T.H. Fruit–alginate interactions in novel restructured products. **Nahrung**, v. 44, n. 03, p. 152–157, 2000.

MARTINEZ, M.V.; WHITAKER, J.R. The biochemistry and control of enzymatic browning. **Trends in Food Science and Technology**, v. 06, n. 06, p. 195-200, 1995.

MASON, T.J.; PANIWNYK, L.; LORIMER, J.P. The uses of ultrasound in food technology. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 03, n. 03, p. S253–S260, 1996.

MAYER, A.M.; HAREL, E. Polyphenol oxidases in plants. **Phytochemistry**, v. 18, n. 02, p. 193-215, 1979.

MELO, P.C.T.; ROSSI, F.; MELO, M.F.F.T.; MELO, R.A. Valor nutricional da batata. In: **Produção Integrada da Batata**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2011.

MIGUEL, A.C.A.; DIAS, J.R.P.S.; ALBERTINI, S.; SPOTO, M.H.F. Pós-colheita de uva 'Itália' revestida com filmes à base de alginato de sódio e armazenada sob refrigeração. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 29, n. 02, 2009.

MIRANDA, M.L.; AGUILERA, J.M. Structure and Texture Properties of Fried Potato Products. **Food Reviews International**, v. 22, n. 02, p.173–201, 2006.

MIZRACH, A. Ultrasonic technology for fruit quality evaluation in pre and postharvest processes – a review. **Postharvest Biology and Technology**, v. 48, n. 03, p. 315–330, 2008.

MODA, E. M.; SPOTO, M. H. F.; HORII, J.; ZOCCHI, S. S. Uso de peróxido de hidrogênio e ácido cítrico na conservação de cogumelos *Pleurotus sajor-caju* 'in natura'. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 25, n. 2, p. 291-296, 2005.

MOREIRA, R.G.; CASTELL-PEREZ, M.E.; BARRUFET, M.A. **Deep-fat frying: fundamentals and applications**. Gaithersburg: Aspen Publishers, 1999.

MOTTRAM, D.S.; WEDZICHA, B.L.; DODSON, A. Acrylamide is formed in the Maillard reaction. **Nature**, v. 419, n. 6906, p. 448-449, 2002.

NAKANO, D.H.; DELEO, J.P.B.; BOTEON, M. Choque de competitividade. **Hortifruti Brasil**, n. 51, p. 6-17, 2006.

NOURIAN, F; RAMASWAMY, HS; KUSHALAPPA, AC. Kinetics of quality change associated with potatoes stored at different temperatures. **LWT - Food Science and Technology**, v. 36, n. 01, p. 49–65, 2003.

NOWACKA, M.; WIKTOR, A.; ŚLEDŹ, M.; JUREK, N.; WITROWA-RAJCHERT, D. Drying of ultrasound pretreated apple and its selected physical properties, **Journal of Food Engineering**, v. 113, p. 427–433, 2012.

OLIVAS, G.I.; MATTINSON, D.S.; BARBOSA-CÁNOVAS, G.V. Alginate coatings for preservation of minimally processed ‘Gala’ apples. **Postharvest Biology and Technology**, v. 45, n. 01, p. 89–96, 2007.

OMS-OLIU, G.; SOLIVA-FORTUNY, R.; MARTIN-BELLOSO, O. Edible coatings with antibrowning agents to maintain sensory quality and antioxidant properties of fresh-cut pears. **Postharvest Biology and Technology**, v. 50, n. 01, p. 87–94, 2008.

ONER, M.E.; WALKER, P.N. Effect of Processing and Packaging Conditions on Quality of Refrigerated Potato Strips. **Journal of Food Science**, v. 76, n. 01, p. S35-S40, 2011.

PÁDUA, J.G.; DUARTE, H.S.S.; ZAMBOLIM, L.; CARMO, E.L.; MESQUITA, H.A.; DIAS, J.P.T. Cultivares de batata. In: **Produção Integrada da Batata**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2011.

PIYASENA, P.; MOHAREB, E.; McKELLAR, R.C. Inactivation of microbes using ultrasound: a review. **International Journal Food Microbiology**, v. 87, n. 03, p. 207–216, 2003.

PINELI, L.L.O.; MORETTI, C.L.; ALMEIDA, G.C.; ONUKI, A.C.A.; NASCIMENTO, A.B.G. Caracterização química e física de batatas ‘Ágata’ minimamente processadas, embaladas sob diferentes atmosferas modificadas ativas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 10, p. 1035-1041, out. 2005.

RHIM, J.W. Physical and mechanical properties of water resistant sodium alginate films. **LWT - Food Science and Technology**, v. 37, n. 03, p. 323–330, 2004.

RIMAC-BRNEIE, S.; LELAS, V.; RADE, D.; SIMUNDIC, B. Decreasing of oil absorption in potato strips during deep fat frying. **Journal of Food Engineering**, v. 64, n. 02, p. 237–241, 2004.

ROBERT, F.; VUATAZ, G.; POLLIEN, P.; SAUCY, F.; ALONSO, M.I.; BAUWENS, I.; BLANK, I. Acrylamide formation from asparagine under low- moisture Maillard reaction conditions. 1. Physical and chemical aspects in crystalline model systems. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 52, n. 22, p. 6837-6842, 2004.

ROBINSON, D.S. Peroxidases e Catalases in Foods. In: D.S.R. Robinson, N.A.M. Eskin, **Oxidative Enzymes in Foods**, London: Elsevier, 1991.

ROCULLI, P.; GALINDO, F.G.; MENDOZA, F.; WADSÖ, L.; ROMANI, S.; ROSA, M.D.; SJOHOLM, I. Effects of the application of anti-browning substances on the metabolic activity and sugar composition of fresh-cut potatoes. **Postharvest Biology and Technology**, v. 43, n. 01, p. 151–157, 2007.

RODRIGUEZ-SAONA, L.E.; WROLSTAD, R.E. Influence of potato composition on chip color quality. **American Potato Journal**, v. 74, n. 02, p. 87-106, 1997.

ROJAS-GRAÜ, M.A.; TAPIA, M.S.; MARTIN-BELLOSO, O. Using polysaccharide-based edible coatings to maintain quality of fresh-cut Fuji apples. **LWT - Food Science and Technology**, v. 41, n. 01, p. 139–147, 2008.

SAGUY, I.S.; PINTHUS, E.J. Oil uptake during deep fat frying: factors and mechanism. **Food Technology**, v. 49, n. 04, p. 142–149, 1995.

SALA, F.J.; BURGOS, J.; CODON, P.; LOPES, P.; RASO, J. Effect of heat and ultrasound on microorganisms and enzymes. In: G. W Gould (Ed.), **New Methods in Food Preservation**, Blackies, 1995.

SCHWARTZBERG, H.G.; CHAO, R.T. Solute diffusivities in leaching processes. **Food Technology**, v. 36, n. 02, p. 73-86, 1982.

SCHWOBE, M.A.; PARKIN, K.L. Effect of low temperature and modified atmosphere on sugar accumulation in potatoes (*Solanum tuberosum* L.). **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 14, n. 3, p. 241-252, 1990.

SELMAN, J.D. Vitamin retention during blanching of vegetables. **Food Chemistry**, v. 49, n. 02, p. 137–147, 1994.

SENSIDONI, A.; PERESSINI, D. Edible films: potential innovation for fish products. **Industrie Alimentari**, v. 36, n. 356, p. 129-133, 1997.

SERRADELL, M.A.; ROZENFELD, P.A.; MARTÍNEZ, G.A.; CIVELLO, P.M.; CHAVES, A.R.; AÑÓN, M.C. Polyphenoloxidase activity from strawberry fruit (*Fragaria ananassa*, Duch., cv Selva): characterization and purification. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 80, n. 09, p. 1421- 1427, 2000.

SEVERINI, C.; BAIANO, A.; DE PILLI, T.; ROMANIELLO, R.; DEROSI, A. Prevention of enzymatic browning in sliced potatoes by blanching in boiling saline solutions. **LWT - Food Science and Technology**, v. 36, n. 07, p. 657–665, 2003.

SMITH, O. **Potatoes: Production, Storing, Processing**, 2 ed. Westport Connecticut: The AVI Publishing, 1977.

STADLER, R.H.; BLANK, I.; VARGA, N.; ROBERT, F.; HAU, J.; GUY, P.A.; ROBERT, M.C.; RIEDIKER, S. Acrylamide from Maillard reaction products. **Nature**, v. 419, n. 6906, p. 449-450, 2002.

STADLER, R.H.; ROBERT, F.; RIEDIKER, S.; VARGA, N.; DAVIDEK, T.; DEVAUD, S.; GOLDMANN, T.; HAU, J.; BLANK, I. In-depth mechanistic study on the formation of acrylamide and others vinylogous compounds by the Maillard reaction. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 52, n. 17, p. 5550-5558, 2004.

SUBRAMANIAN, N.; VENKATESH, P.; GANGULI, S.; SINKAR, V.P. Role of polyphenol oxidase and peroxidase in the generation of black tea theaflavins. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, v. 47, n. 07, p. 2571-2578, 1999.

TANGDUANGDEE, C.; BHUMIRATANA, S.; TLA, S. Heat and mass transfer during deep-fat frying of frozen composite foods with thermal protein denaturation as quality index. **Science Asia**, v. 29, p. 355–364, 2003.

TAPIA, M.S.; ROJAS-GRAÜ, M.A.; CARMONA, A.; RORIGUEZ, F.J.; SOLIVA-FORTUNY, R.; MARTIN-BELLOSO, O. Use of alginate- and gellan-based coatings for

improving barrier, texture and nutritional properties of fresh-cut papaya. **Food Hydrocolloids**, v. 22, n. 08, p. 1493-1503, 2008.

TAUBERT, D.; HARLFINGER, S.; HENKES, L.; BERKELS, R.; SCHÖMIG, E. Influence of Processing Parameters on Acrylamide Formation during Frying of Potatoes. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, v. 52, n. 09, p. 2735-2739, 2004.

TOMÁS-BARBERÁN, F.A.; ESPÍN, J.C. Phenolic compounds and related enzymes as determinants of quality in fruits and vegetables. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 81, n. 09, p. 853-876, 2001.

VÁMOS-VIGYÁZÓ, L. Polyphenol oxidase and peroxidase in fruits and vegetables. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 15, n. 01, p.49-127, 1981.

VITTI, M.C.D.; SASAKI, F.F.; MIGUEL, P.; KLUGE, R.A.; MORETTI, C.L. Activity of Enzymes Associated with the Enzymatic Browning of Minimally Processed Potatoes. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 54, n. 05, p. 983-990, 2011.

WICKLUND, T., OSTLIE, H., LOTHE, O., KNUTSEN, S.H., BRATHEN, E., KITA, A. Acrylamide in potato crisp-the effect of raw material and processing. **LWT - Food Science and Technology**, v. 39, n. 05, p. 571-575, 2006.

WILEY, R.C. **Minimally processed refrigerated fruits and vegetables**. New York: Chapman e Hall, 368p, 1994.

YANG, L.; PAULSON, A.T. Effects of lipids on mechanical and moisture barrier properties of edible gellan film. **Food Research International**, v. 33, n. 07, p. 571–578, 2000.

YOUNG, L.M.; SOO, K.S. Inactivation and cleavage of radish peroxidase by various reducing agents. **Phytochemistry**, v. 49, n. 01, p. 23-27, 1998.

ZAMBOLIM, L.; CÁSSIA, R.M.; PICANÇO, M.C. *et al.* Produção integrada: Base da sustentabilidade da bataticultura. In: **Produção Integrada da Batata**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2011.

CAPÍTULO 3. Effect of Citric Acid on Browning of Fresh-cut Potatoes and on Texture after Frying

- Submetido a revista Acta Horticulturae, por participação no II ISHS International Conference on Quality Management of Fresh Cut Produce; Convenience food for a Tasteful Life, em julho de 2011.

Effect of Citric Acid on Browning of Fresh-cut Potatoes and on Texture after Frying

R.D.A. Amaral and B.C. Benedetti
Faculdade de Engenharia Agrícola
Universidade Estadual de Campinas
Campinas
Brazil

M.Pujola and I.Achaerandio
Departament d'Enginyeria Agroalimentària i
Biotecnologia
Escola Superior d'Agricultura de Barcelona,
Universitat Politècnica de Catalunya
Castelldefels (Barcelona)
Spain

Keywords: *Solanum tuberosum* L., browning, minimal processing, refrigeration, package, shelf life.

Abstract

Fresh-cut potato (*Solanum tuberosum* L.) is a product widely consumed, but the susceptibility of this tuber to browning is a drawback and limiting factor for shelf life. This study aimed to evaluate the susceptibility of different potato cultivars for being minimally processed, the effect of citric acid in inhibiting browning and the quality of the fried potato during the product shelf life. For this purpose potatoes of cultivars Agata, Agria and Caesar were acquired from local producer, selected, washed in tap water, manually peeled, cut into strips and immersed in citric acid (3%) for 5 minutes. Strips were centrifuged and vacuum packed in polyethylene bags and stored at 3 ± 1 °C for 17 days. Color (Croma), dry matter content and pH were analyzed at every 2 days in fresh-cut samples. On days 2, 9 and 16 of storage, samples were fried in oil at 180 °C for 5 minutes to Agata and 7 minutes for Agria and Caesar. In fried potatoes, plus these attributes, texture was also analyzed. The use of citric acid decreased the

pH of all samples and kept this trend during the entire period of storage. Fresh cut and fried samples of Agata had lower values of dry matter content. The others cultivars showed slight variations, increasing the values of these attributes, as well for values of Chroma for the fried potatoes, that were lower for Agata regardless the use of citric acid during the storage. There was an increase in the texture of fried potatoes in all samples during the storage, although this increase was lower in Agata. Agria and Caesar showed greater susceptibility to frying because they had higher dry matter content. The color, pH, dry matter content and texture allowed discrimination between Agata and the others varieties.

Introduction

Potato is widely consumed product and its minimally processed form play an important role in the commercialization. However, the shelf life of minimally processed potatoes is limited by enzymatic browning, a common secondary reaction of minimally processing, that causes an alteration in the sensorial visual properties of the product, decreasing more fast the food quality because it implies spoilage (Tomás-Barberán and Spín, 2001; Cantos *et al.*, 2002). Furthermore, if browning occurs after the product is ready for consumption implies in considerable economic losses, because the costs of processing, packaging and storage have been incurred (He *et al.*, 2007).

To avoid this, antibrowning agents can be used, such as sulfites, though there is the purpose of governments to prohibit the use of these food additives because they are related to asthma attacks. Then, researching for others effective antibrowning agents are been done. A possibility is citric acid, which is also used for the prevention of browning, because it inhibits the polyphenoloxidase (PPO) by reducing the pH and by chelating the copper to the enzyme-active site (McEvily and Iyengar, 1992; Junqueira *et al.*, 2009).

It is very important understanding the effects of antibrowning treatments, like on metabolism, color changes, texture and chemical composition on the fresh-cut products, together with packaging and refrigeration, to reduce the rapid loss of quality and increase the shelf life product (Roculli *et al.*, 2007). For this purpose, this study aimed to evaluate the susceptibility of different potato cultivars for being minimally processed, the effect of citric acid in inhibiting browning and the quality of the fried potato during the product shelf life.

Materials and Methods

Raw material

Potato tubers (*Solanum tuberosum* L.) of cultivars Agata, Agria and Caesar were acquired from local producer, selected, washed in tap water and stored at ambient temperature prior to be processed.

Processing

Potato tubers free of defects were hand-peeled with a sharp knife and both extremes of each tuber were discarded. From the remaining tuber, samples were cut into strips (1 cm of thickness) and immersed in solution of citric acid (3% w/w) for five minutes at room temperature. Control treatment was composed of strips dipped in clean water for the same contact time. Then the strips were centrifuged in a manual centrifuge to eliminate water excess and vacuum packed in high density polyethylene bags of 100 g. Packages were stored at 3 ± 1 °C for 17 days. On days 2, 9 and 16 of storage, samples were fried in oil at 180 °C for 5 minutes to Agata and 7 minutes for Agria and Caesar.

Evaluations during the storage

Analyses in fresh-cut samples were carried out at every two days and on days 2, 9 and 16 for fried potatoes.

pH: directly measured by pontentiometry, which consists in immersion of digital pH meter on the homogenized sample, either fresh-cut and fried (AOAC, 1990). It was performed with triplicate and the results expressed in units of pH.

Dry matter content: samples of 5 g of homogenized tissue were dried at 70 °C for 24h (AOAC, 1990); dry matter content was done by comparing the sample weight loss and analysis was conducted in triplicate for both, fresh-cut and fried samples.

Color: determined in slices before and after frying, with Hunter Lab colorimeter, CIELab (L*, a*, b*) scale. Five measurements were made and changes in the minimally processed potato were expressed in Chroma (McGUIRE, 1992).

Texture: performed in fried samples using the texture analyzer (Model: TA.XT Plus, Stable Micro Systems Co. Ltd., UK) connected with a Warner Bratzler blade set with speed of 1 mm.s^{-1} . Twenty measurements of each treatment are made and the results expressed in maximum force.

Statistical analysis

All instrumental data were subjected to analyses of variance (Minitab 16) to determine the statistical effects of storage on the treatments and the differences were determined using Tukey's test ($p < 0.05$).

Results and Discussion

Storage also had significant influence on pH of all samples analyzed (Fig. 1). The pH of all samples treated with solution of citric acid was lower compared with samples washed only with water and maintained this behavior during the whole period of storage. For the samples washed only with water (control) the pH varied from 5,87 to 6,14 immediately after the processing and decrease with the storage, but kept higher than in samples treated with citric acid.

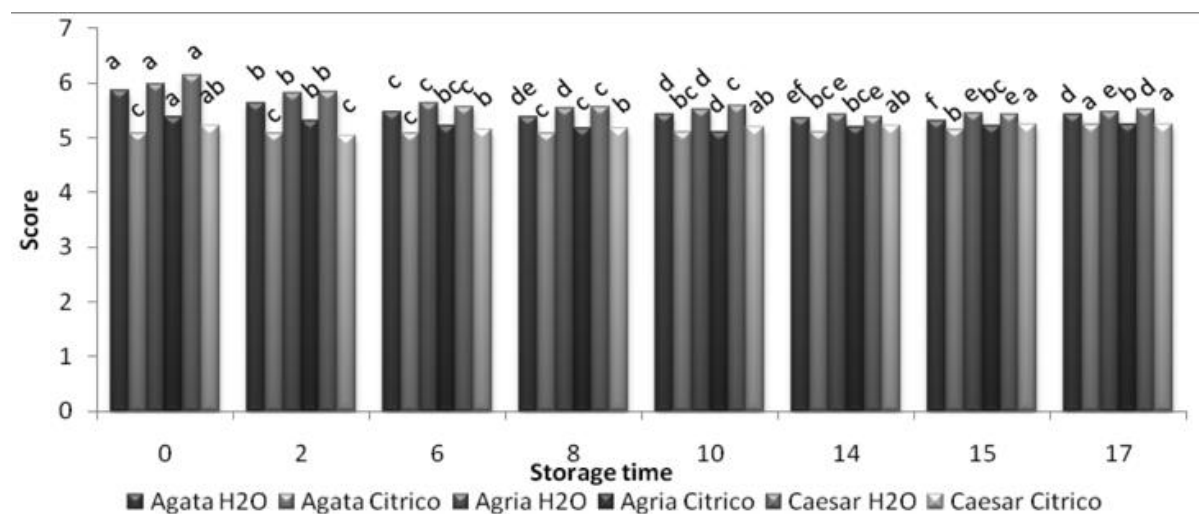


Fig. 1. Values of pH from fresh-cut potatoes submitted to citric acid after storage for up 17 days at $3 \pm 1 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

After frying, pH of samples decreased with the storage, both to samples washed with citric acid and water (Fig. 2).

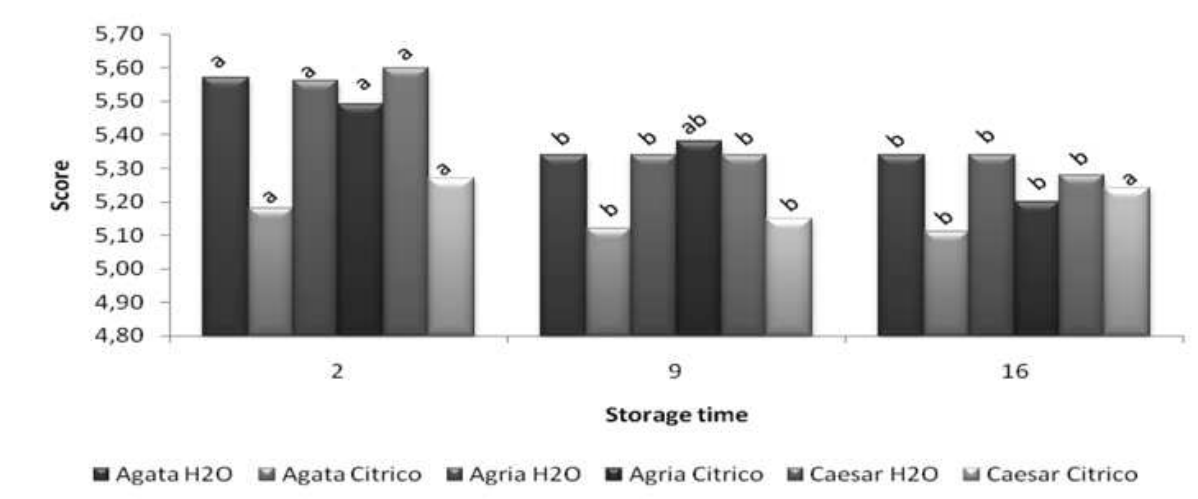


Fig. 2. Values of pH from fried potatoes submitted to citric acid after storage for up 17 days at 3 ± 1 °C.

Dry matter content during the storage was very similar to initial values and the cultivar Agata presented the lowest values compared with the others varieties (Fig. 3). Storage had significant influence in samples of Agria soaked in citric acid. Erturk and Picha (2007) found different results with decreasing of dry matter content during storage in sweet potato slices from three bags types and two storage temperatures.

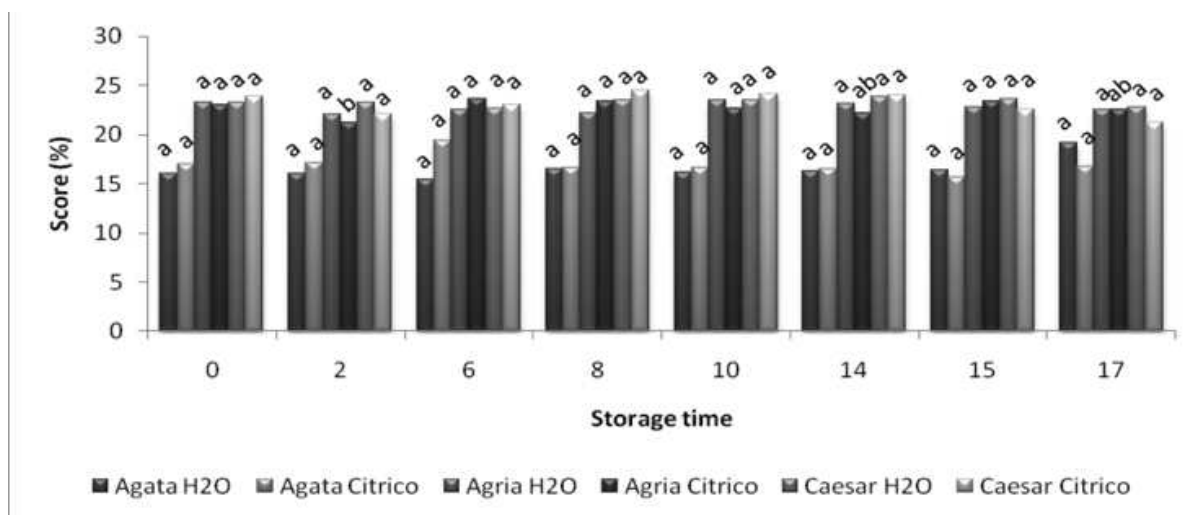


Fig. 3. Dry matter content from fresh-cut potatoes submitted to citric acid after storage for up to 17 days at 3 ± 1 °C.

After frying, the content of dry matter was higher than before frying, probably due to the loss of water that occurs on frying. According to Pedreschi *et al.* (2005) frying is a method used to create unique flavors, colors and textures in processed foods, improving their overall palatability. Dry matter content of the fried samples increased during the storage (Fig. 4). This behavior was different than was observed in minimally processed samples which had not pronounced increases in the same period.

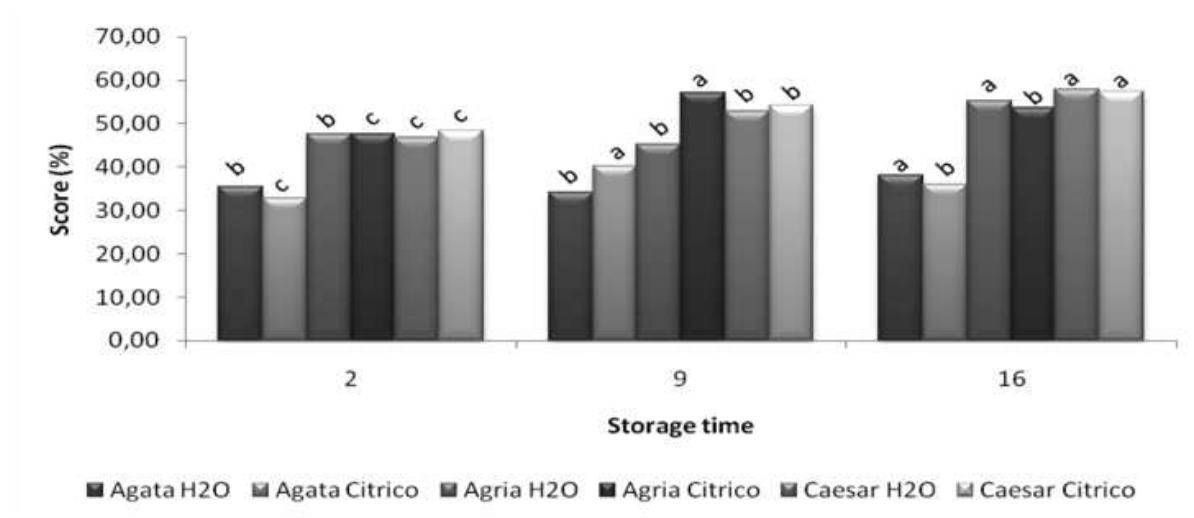


Fig. 4. Dry matter content from fried potatoes submitted to citric acid after storage for up to 17 days at 3 ± 1 °C.

Initial values of Chroma varied from 22.36 (Agata) to 29.26 (Agria), showing variability between cultivars (Fig. 5). Cabezas-Serrano *et al.* (2009) found lower values of Chroma to the same varieties (17.1 and 28.3 respectively). During the cold storage the values of Chroma were different for all samples, either with use the solution of citric acid or water. The more intense color of potatoes was obtained with Agria samples. The others varieties showed similar intensity of color.

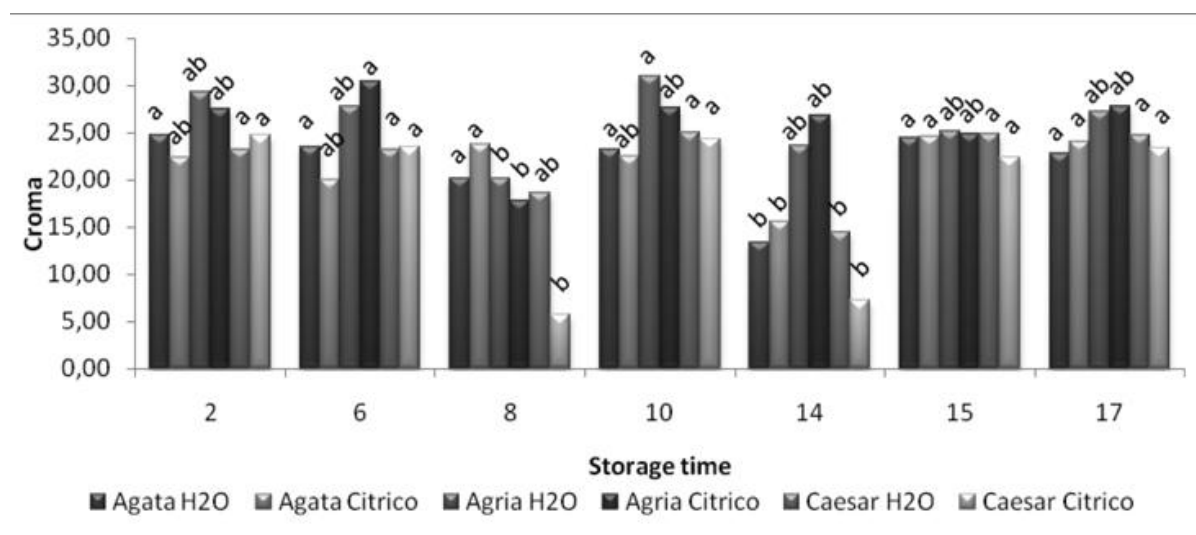


Fig. 5. Color from fresh-cut potatoes submitted to citric acid after storage for up 17 days at 3 ± 1 °C.

After frying, values of Chroma were higher than fresh-cut products; Caesar had values more similar to Agria and Agata kept with the less intense color (Fig. 6). Coelho *et al.* (1999) also reported higher values in color of potatoes between the cold storage and room temperature. Cantos *et al.* (2002) evaluated different varieties of potato (Monalisa, Spunta, Liseta, Cara e Agria) and observed that Agria was the least susceptible to browning.

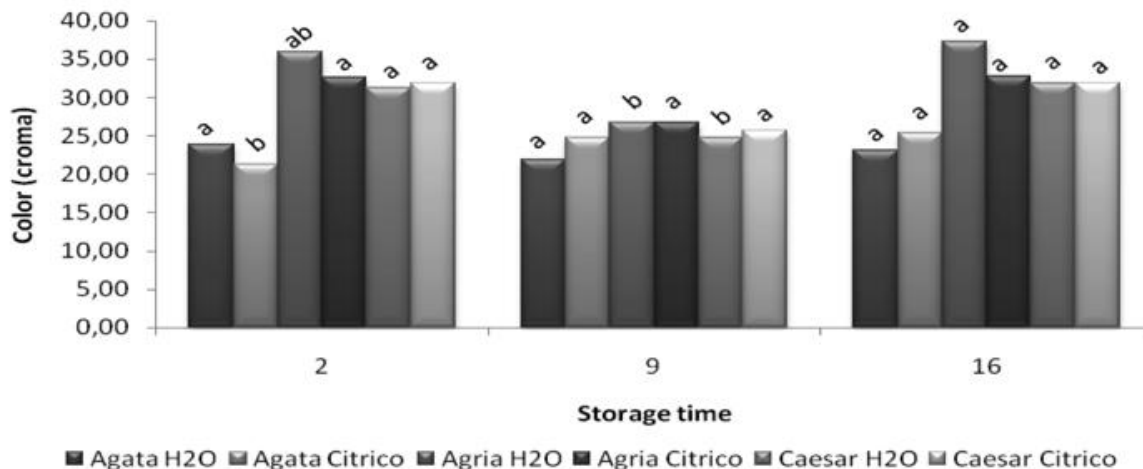


Fig. 6. Color from fried potatoes submitted to citric acid after storage for up 17 days at 3 ± 1 °C.

Maximum force varied for all samples, increasing during the storage (Fig. 7). At the beginning of analysis, varieties had similar values of maximum force, changing this behavior with the storage. In the end of shelf life Caesar had the highest values and Agata the lowest. The same trend of growth was also observed in dry matter content after frying, although correlation tests have not been made. Pedreschi e Moyano (2005) evaluated the maximum force in samples of blanched and no blanched samples and concluded that this parameter increase while moisture content decrease, corresponding to an increase in the crispness of the chips.

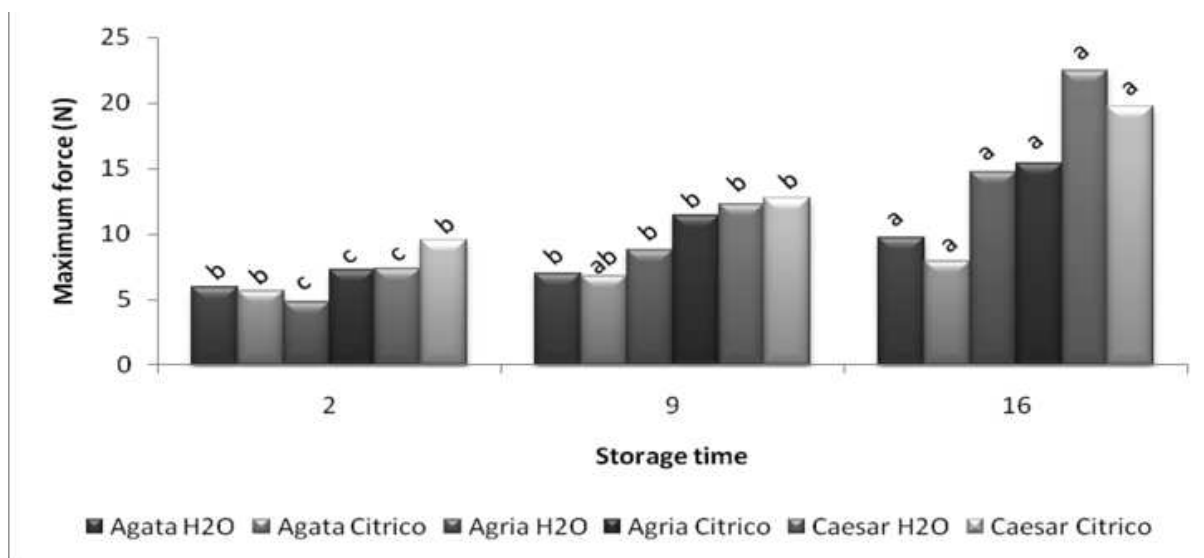


Fig. 7. Texture from fried potatoes submitted to citric acid after storage for up 17 days at 3 ± 1 °C.

Conclusions

The use of citric acid decreased the pH of all samples and kept this trend during the entire period of storage.

Agata presented lower values of dry matter content and Chroma, regardless the use of citric acid.

Texture of fried potatoes increased during the storage in all samples analyzed, however Agria and Caesar showed greater susceptibility to frying.

Agata had the lowest values to the attributes analyzed, which allowed discrimination for this variety.

Literature Cited

- AOAC. Association of Official Analytical Chemists. 1990. Official methods of analysis, 15 ed. Gaithersburg.
- Cabezas-Serrano, A.B., Amodio, M.L., Cornacchia, R., Rinaldi, R. and Colelli, G. 2009. Suitability of five different potato cultivars (*Solanum tuberosum* L.) to be processed as fresh-cut products. *Post. Biol. and Tech.* 53:138-144.

- Cantos, E., Tudela, J.A., Gil, M.I. and Espín, J.C. 2002. Phenolic compounds and related enzymes are not rate-limiting in browning development of fresh-cut potatoes. *Journal of Agric. Food Chem.* 50:3015-3023.
- Coelho, A.H.R., Vilela, E.R., and Chagas, S.J.R. 1999. Qualidade de batata (*Solanum tuberosum* L.) para fritura, em função dos níveis de açúcares redutores e de amido, durante o armazenamento refrigerado e à temperatura ambiente com atmosfera modificada. *Cienc. e agrotec.* 23:899-910.
- Erturk, E. and Picha, D.H. 2007. Effect of temperature and packaging film on nutritional quality of fresh-cut sweet potatoes. *Journal of Food Quality.* 30:450-465.
- He, Q. and Luo, Y. 2007. Enzymatic browning and its control in fresh-cut produce. *Stewart Post. Rev.*, 6:1-7.
- Junqueira, M.S., Soares, N.F.F., Reis, R.C., Carneiro, J.D.S., Benicio, R.T. and Yokota, S.R.C. 2009. Efeito de embalagens ativas no escurecimento enzimática de batatas (*Solanum tuberosum*) fatiadas e minimamente processadas. *Semina: Ciências Agrárias.* 30:613-618.
- McEvily, A.J. and Iyengar, R. 1992. Inhibition of enzymatic browning in foods and beverages. *Crit. Rev. Food Sci.* 32:253–273.
- McGuire, R.G. 1992. Reporting objective color measurements. *HortScience.* 27:1254-1255.
- Pedreschi, F. and Moyano, P. 2005. Oil uptake and texture development in fried potato slices. *Journal of Food Eng.* 70:557-563.
- Pedreschi, F., Moyano, P., Kaack, K. and Granby, K. 2005. Color changes and acrylamide formation in fried potato slices. *Food Research Int.* 38: 1–9.
- Roculli, P., Galindo, F.G., Mendoza, F., Wadso, L., Romani, S., Rosa, M.D., and Sjöholm, I. 2007. Effects of the application of anti-browning substances on the metabolic activity and sugar composition of fresh-cut potatoes. *Post. Biol. and Tech.* 43:151–157.
- Tomás-Barberán, F.A. and Espín, J.C. 2001. Phenolic compounds and related enzymes as determinants of quality in fruits and vegetables. *J. Sci. Food Agric.* 81:853-876.

CAPÍTULO 4. A first approach of using ultrasound as an alternative for blanching in fresh-cut potato

Rivia D.A. Amaral ^{1,2}, Benedito C. Benedetti ¹, Montserrat Pujolà^{*2}, Isabel Achaerandio ²,
Mara L.B.Bachelli ¹

¹ Postharvest Laboratory, Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Av. Candido Rondon, 501, 13083-875, Campinas, São Paulo, Brazil

² Departament d'Enginyeria Agroalimentària i Biotecnologia, Universitat Politècnica de Catalunya BarcelonaTech (UPC), C/Esteve Terradas, 8, 08860 Castelldefels (Barcelona), Spain

Contact information for corresponding author

*Montserrat Pujolà

Departament d'Enginyeria Agroalimentària i Biotecnologia, Universitat Politècnica de Catalunya BarcelonaTech (UPC), C/Esteve Terradas, 8, 08860 Castelldefels (Barcelona), Spain
Tel. +34 93 552 10 16, fax. +34 93 552 11 21

montserrat.pujola@upc.edu

ABSTRACT: The effect of ultrasound (US) (40 kHz, 200 W, 3 min), blanching (85 °C, 3.5 min) and the combination of both methods was evaluated on the quality of vacuum packaged potato strips stored at 3±1 °C for up to 10 days. For this study two cultivars of potatoes were assessed. For blanched Agata samples, the lightness (L*) decreased over 12 % (p < 0.05). Moreover, their hue increased up to 100, obtaining lesser yellow potato strips. In contrast, US did not affect the hue values. The losses of firmness of blanched potato strips were notable (35

% for Agata and 51 % for Agria), whereas US did not change this property ($p < 0.05$). Nevertheless, no significant differences were found in the total starch content at 10 days. Agata and Agria showed different metabolic behavior of sucrose in the refrigerated storage. Therefore Agria cultivar retained better colour after frying. These results suggest that US could delay browning and improve the firmness in fresh-cut potato strips with no added chemicals.

Keywords: Colour, firmness, starch content, reducing sugars, vacuum packaging

Introduction

The fast-paced lifestyles of modern consumers along with the desire to eat healthy foods have led to the current rise in the production and consumption of fresh-cut fruit and vegetables due their convenience and freshness. Potatoes are an example of this type of product – a product that, in its raw form, is losing its place on many consumers' shopping lists due to a general increase in income, which has resulted in a rise in the purchase of processed foods (Oms-Oliu et al. 2010). However, minimal processing operations can induce undesirable changes in the colour and appearance of these products during storage, caused mainly by enzymatic browning. This can accelerate the loss of quality and reduce the product's shelf life (Tomás-Barberán and Espín 2001; Cantos et al. 2002).

Blanching is a method commonly used in minimally processed potatoes to prevent enzymatic browning by inactivating polyphenol oxidase. However, research conducted to date has yielded differing results with regard to the use of blanching. Moreira, Castell-Perez and Barrufet (1999) reported that blanched potato slices have a more uniform colour after frying.

Additionally, a layer of gelatinized starch is formed, which limits oil absorption and improves texture. Severini et al. (2003) achieved the inactivation of polyphenol oxidase in potatoes through blanching treatments and the combination with calcium chloride, which promoted increased lightness (L^*), probably due to its chelating properties. Meanwhile, Alvarez, Morillo and Canet (2000) observed that this treatment leads to a loss of firmness and of other quality attributes of the product, such as nutrients, flavor and colour.

To prevent the undesirable effects of blanching, ultrasound may be a viable method for non-thermal processing and in recent years it is increasingly used in the industry of fruits and vegetables (Stojanovic and Silva 2007; Walkling-Ribeiro et al. 2009; Meng, Zhang and Adhikari 2014). Its effect is due to acoustic cavitation, a process that involves the formation, growth and collapse of small bubbles in liquid as a result of acoustic pressure fluctuation. It can accelerate chemical reactions, increase diffusion rates, disperse aggregates, inhibit enzymes and destroy microorganisms (Sala et al. 1995; Knorr, Ade-Omowaye and Heinz 2002). Meng, Zhang and Adhikari (2014) reported that the combination of ultrasonic treatments (40 kHz) with nano-ZnO coating in fresh-cut kiwifruit showed lower production of ethylene and carbon dioxide, water loss and texture. Similarly, it was found the synergistic inhibitory effect of the use of ultrasound and ascorbic acid on several enzymes related to the enzymatic browning of fresh-cut apple (Jang and Moon 2011). Zuo et al. (2012) studied the behavior of high intensity low-frequency ultrasound (20 kHz) on potato starch granules and observed that treatment by ultrasound resulted in the damage to the starch surface and in some cases in the shattering of the granules. Furthermore, the increase in the number of defect was found to be linear with the sonication power.

The effectiveness of the use of ultrasound (45 kHz; 10 min) with commercial sanitizers in the extent the decontamination of minimally processed cherry tomatoes was achieved, indicating

the potential of using ultrasound as auxiliary strategy in the sanitization of these products (São José and Vanetti 2012). Furthermore, it can be used to positively affect enzyme activity, although if the intensity is too high or the sonication time is lengthy the enzymes can be denatured (Mason, Paniwnyk and Lorimer 1996). Some studies have been published about the effects of ultrasound on potatoes. Comandini et al. (2013) studied the application of ultrasound produced through a 35 kHz sonotrode during immersion freezing of potatoes and concluded that the treatment affected important freezing parameters, like the anticipation of nucleation and the reduction of freezing time. Karizaki et al. (2013) investigated the possibility of using ultrasound-assisted osmotic dehydration as a pretreatment prior to frying and its effects on the quality of fried potatoes. The authors concluded that the association with ultrasound reached the goal by reducing oil and moisture content as compared to that of untreated ones.

Despite these applications, the use of ultrasound as a means of retaining food quality has not progressed as fast in the fresh vegetable industry. Furthermore, its effects on some specific food components have not been sufficiently studied, so the actual effect of degradation due to the use of this treatment is not yet fully understood (Mizrach 2008). For this purpose, this study aimed to evaluate the effect of ultrasound compared to convectional blanching on the colour, pH, firmness and starch content of vacuum-packed fresh-cut potato strips stored at 3 ± 1 °C for up to 10 days. Two cultivars of different dry matter content were selected to evaluate the effect of the treatments on the quality of fresh and fried potato.

Materials and Methods

Materials

Potatoes (*Solanum tuberosum* L.) of the Agata and Agria cultivars were acquired from Mercabarna (Mercados de Abastecimientos de Barcelona SA), selected, washed in tap water to remove surface dirt, dried and stored in the dark at 18 ± 2 °C overnight prior to processing. Agata and Agria are cultivars with different characteristics. While Agata presents values of dry matter around 18.40 ± 1.20 g·100g⁻¹, Agria has more content of this variable (20.95 ± 0.25 g·100g⁻¹).

Ultrasound equipment

An ultrasound bath with 40 kHz of frequency and 200 W of generation power (P-SELECTA 3000617, Barcelona, Spain) was used to sonicate the fresh-cut potatoes. The machine was made of welded aluminum sheet, with a capacity of 9 L, the dimensions were 12 cm x 46 cm x 12 cm (height x width x depth). The operating conditions had previously been optimized (Amaral et al. 2014) and the specific heat and power of dissipation were 47234 kJ·kg⁻¹ and 157.45 W, respectively.

Experimental procedure

Potato tubers, free of defects, were hand-peeled, cut into rectangular strips with a cross-section of 10 x 10 mm with a manual vegetable slicer and immediately rinsed in distilled water. The strips were then centrifuged in a manual centrifuge to eliminate excess water. No postharvest chemical washing treatment was applied in order to achieve the complete antibrowning potential for each treatment. The experimental flow chart is shown in Figure 1.

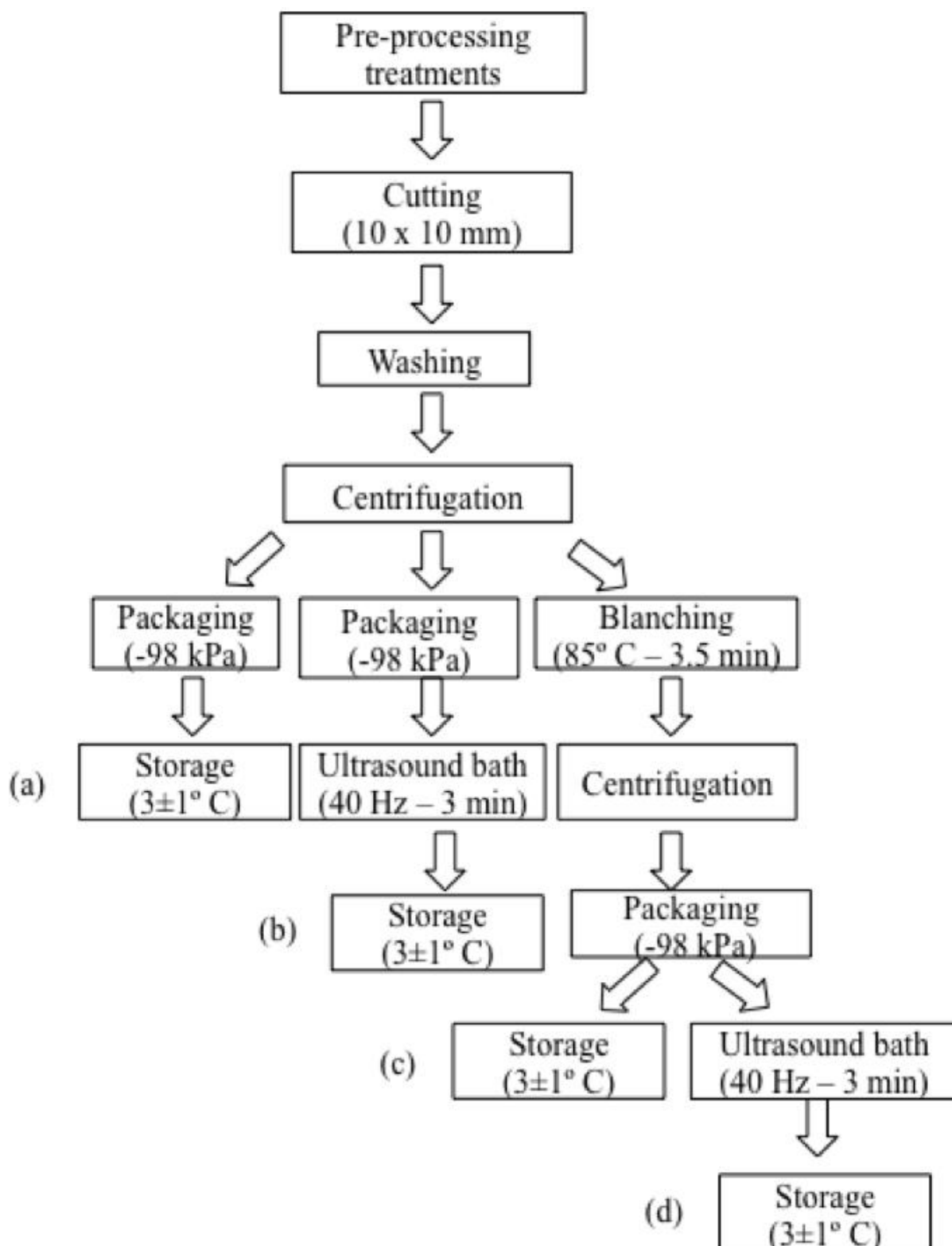


Fig. 1 Flow chart of the fresh-cut potato process

(a): Control; (b): Ultrasound (US); (c): Blanching; (d): Blanching + US

For the treatment phase, potato strips of each variety were separated into two portions: from the first portion, packs of 100 ± 5 g were selected at random from the whole bunch and vacuum packed (-98 kPa, in a vacuum sealer VM-18 ORVED S.p.A., Italy) in coextruded polyamide/high density polystyrene (Coex. PA/PEHD-70/150; thickness: 22 μm ; O_2 transmission rate: $8 \text{ cm}^3/\text{m}^2 \text{ dbar at } 25^\circ\text{C}$) bags (control). This film was selected because it is commonly used in the fresh-cut potato industry and vacuum packaging is considered the best packaging method to preserve the sensory quality of fresh-cut potatoes stored under refrigeration (Beltrán et al. 2005). The bags were then separated to receive either the control treatment or a 3-minute ultrasound treatment at 40 kHz (200 W; P-SELECTA 3000617, Barcelona, Spain). The second portion of the potato strips was blanched (85°C for 3.5 min; Pedreschi and Moyano 2005). The potato:water ratio was 1:4 (w/w). Blanched samples were stored for five minutes at $22 \pm 2^\circ\text{C}$ and centrifuged. They were also vacuum packed (-98 kPa) in PA/PEHD bags. Then, the packages were divided into another two portions: one portion was subjected to sonication and the other refrigerated. All samples were stored at $3 \pm 1^\circ\text{C}$ for up to 10 days. Two replicates of 100 ± 5 g of fresh-cut potatoes were assessed for each treatment and sampling date.

For total starch content and total sugars, samples were collected, immediately frozen at -20°C and subsequently freeze-dried at -54°C and 0.07 mbar vacuum for 40 h by Telstar Cryodos -50 freeze dryer (1 KVA of potency, model 2G-6, Telstar, Barcelona, Spain).

Frying

Prior to frying, 1 L of olive oil (0.5°) was pre-heated in a deep-fat fryer. Then, 200 ± 10 g of each treatment of potato strips were fried at 180 °C (Taurus Professional Compac2 fryer, Spain) for 5 minutes for Agata potatoes and 7 minutes for Agria potatoes. After frying, the strips were removed from the oil, drained for one minute and then air-dried at 22 ± 2 °C for 10 minutes. The colour and firmness of the samples were then assessed.

Physicochemical analysis

Analyses were carried out on days 1, 6 and 10 for the fresh-cut and fried potatoes. The **pH** was measured in triplicate according to AOAC (981.12). **Colour** was determined with a colorimeter (Konica Minolta CR-400, Japan), measuring $L^*a^*b^*$ parameters in the CIE Lab scale using a D_{65} light source and 10° as the observed standard; results are expressed in L^* , Chroma ($C^* = ((a^*)^2 + (b^*)^2)^{1/2}$) and hue ($H^* = \tan^{-1} (a^*/b^*)$). Ten readings were taken on two sites on the surface of the potato strips for each treatment (Oner and Walker 2011). **Firmness** was measured using the texture analyzer (TA.XT Plus, Stable Micro Systems Co. Ltd., UK) equipped with a 30 kg load cell and connected with a Warner Bratzler blade set with a speed of $1 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$. Twenty measurements of each treatment and day were made. Firmness was measured as the maximum shear strength values and expressed as maximum force (N). **Sugars** were extracted and measured as described by (López-Hernández et al. 1998) with slight modifications. Samples of 2g of lyophilized sample were extracted by refluxing for 30 min with 20 mL of 70% ethanol. The extract was vacuum-filtered and the filtrate fillet to 25 mL with ethanol. A 5 mL aliquot of the solution was passed through a Waters Sep-Pak C column, filtered (0.45 μm pore size membrane), and then injected into the HPLC Hewlett Packard series 1100. The instrument was equipped with a Beckman 110B injector and a Beckman

Refraction Index Detector (RID). The fructose, glucose and sucrose separation was performed using a Phenomenex Luna column (250 x 4.6 mm i.d.) at a constant temperature of 28 °C using isocratic elution of acetonitrile-water (78:22 v/v), and the flow rate was 1.2 mL·min⁻¹. The average of the results of three replications were expressed by g·100g⁻¹ of lyophilized weight (LW). **Total starch** analyses were conducted using 100 mg of freeze-dried samples according to AOAC (1996.11; amyloglucosidase/ α -amylase method) and AACC (76.13) procedures. D-glucose was oxidised to D-gluconate, which was quantitatively measured from the absorbance at 510 nm of a colorimetric reactant. The results were expressed by g·100 g⁻¹ of LW. These determinations were made in triplicate.

Statistical analysis

The statistical study of variations after application of treatments and during storage was carried out using two-way ANOVA using Minitab (v.16, MINITAB Inc, State College, PA) at a 95% confidence level. ANOVA was carried out for each cultivar independently. The differences between samples were determined using Tukey's least significant difference test.

Results and Discussion

Effect of the treatments on pH, colour, texture, sugars and starch content of the fresh-cut potato strips

For Agata, the interaction between both factors was significant for all parameters analyzed (Tables 1a and 1b).

Table 1a. F-test for colour, firmness and pH of potato strips stored at 3 ± 1 °C.

Cultivar	Factor	L*	H*	Chroma	Firmness	pH
Agata	Treatment (T)	55.53*	8.88*	46.55*	88.65*	213.00*
	Storage day (S)	27.96*	250.90*	82.64*	6.76*	51.43*
	T x S	12.86*	17.69*	27.18*	7.09*	26.17*
Agria	Treatment (T)	7.02*	2.55 ns	3.51*	185.37*	584.13*
	Storage day (S)	1.71 ns	252.42*	16.13*	1.00 ns	498.76*
	T x S	8.76*	1.38 ns	0.99 ns	3.93*	56.06*

* Statistically significant values ($p \leq 0.05$).

For Agria there were significant differences between the storage time of hue and Chroma. However, the interaction between factors was not significant for these parameters.

Table 1b. F-test for sugars and total starch of potato strips stored at 3 ± 1 °C.

Cultivar	Factor	Fructose	Glucose	Sucrose	Total Starch
Agata	Treatment (T)	713.58*	363.17*	40.04*	10.36*
	Storage day (S)	468.55*	180.59*	71.50*	4.14*
	T x S	650.13*	388.40*	70.16*	2.73*
Agria	Treatment (T)	407.67*	224.72*	354.11*	31.56*
	Storage day (S)	2058.70*	1684.20*	1278.10*	53.57*
	T x S	311.82*	186.44*	616.32*	51.38*

* Statistically significant values ($p \leq 0.05$).

pH of fresh-cut potato strips

Both heat-treated samples (blanched and blanched + US) had significantly higher pH values than the control and US samples at the beginning of the experiment ($p < 0.05$) (Table 2). The increase in pH was found in both potato cultivars but was more noticeable in the Agata than in Agria samples.

Table 2. pH of fresh-cut Agata and Agria potato strips stored at 3 ± 1 °C.

Treatment		Storage time (days)		
		1	6	10
Agata	Control	5.77 $\pm$ 0.01 Ca	5.47 $\pm$ 0.01 Bc	5.67 $\pm$ 0.01 Bb
	Blanching	6.09 $\pm$ 0.01 Bb	6.29 $\pm$ 0.04 Aa	6.11 $\pm$ 0.06 Ab
	US	5.72 $\pm$ 0.01 Ca	5.50 $\pm$ 0.07 Bb	5.41 $\pm$ 0.01 Cb
	Blanching + US	6.48 $\pm$ 0.21 Aa	6.24 $\pm$ 0.02 Aa	5.75 $\pm$ 0.01 Bb
Agria	Control	5.88 $\pm$ 0.01 Ba	5.48 $\pm$ 0.01 Bb	5.25 $\pm$ 0.02 Cc
	Blanching	6.11 $\pm$ 0.01 Aa	5.90 $\pm$ 0.02 Ac	6.01 $\pm$ 0.06 Ab
	US	5.89 $\pm$ 0.01 Ba	5.46 $\pm$ 0.04 Bb	5.36 $\pm$ 0.01 Bc
	Blanching + US	6.10 $\pm$ 0.01 Aa	5.83 $\pm$ 0.05 Ac	5.93 $\pm$ 0.01 Ab

Values are the average $\pm$ standard deviation (n=6). Different capital letters in the same parameter and day of storage indicate significant differences. Different lower case letters in the same parameter and treatment indicate significant differences ($p < 0.05$).

There were slightly significant changes in the pH through the storage period ($p < 0.05$), except for the pH of the blanched Agata fresh-cut strips, which were stable after 10 days at 3 ± 1 °C. Our previous study about the effect of different times of application of ultrasound (40 kHz, 200 W) only observed alterations in pH after 5 minutes of sonication (Amaral et al. 2014). Other

studies on the effect of ultrasound on the pH of food that do not contain starch, like tomato juice, did not find alterations in this parameter ($p > 0.05$) after the application of 20 kHz of ultrasound, regardless of the amplitude level (μm) or the treatment time (Adekunte et al. 2010). Similar results were obtained for orange juice (Tiwari et al. 2008) and apple cider (Ugarte-Romero et al. 2006) after the application of ultrasound.

Instrumental parameters: Colour and firmness of fresh-cut potato strips

The treated Agata potato strips showed a significant decrease ($p < 0.05$) in *lightness* (L^*), indicating that all of the treatments affected colour at one day of storage (Figure 2a). It is important to remember that in potato strips, the higher the L^* value, the lighter the colour (Cantos et al. 2002). Furthermore, both blanched samples showed significantly lower values than the ultrasound-treated ones. These results are in agreement with that found by Oner and Walker (2011), who noted that unprocessed potato strips were lighter in colour than blanched and near-aseptic strips. Enzymatic oxidation occurring before the denaturation of the polyphenol oxidase (PPO) in the blanched samples may be the cause of their darker colour. Moreover, PPO activity is highly dependent on pH, phenolic compound content and the breakage of cell compartmentalization (Parkin 2008). According to our results, the blanching operation leads to increase browning in addition to increase pH in Agata potato strips. Caminiti et al. (2011) reported that apple and cranberry juices were affected by ultrasound (20 kHz); they also found a significant decrease in the L^* values of both products. After six days of storage, the L^* values of the Agata potato strips were higher for the treated samples ($p < 0.05$), but they had decreased over time, and there were no significant differences over time after 10 days of storage at $3 \pm 1^\circ\text{C}$ ($p > 0.05$). Aday et al. (2013) noticed similar results when studying

the effects of different ultrasound powers (30 W, 60 W, 90 W) and treatment times (5 min, 10 min) on the quality of strawberry.

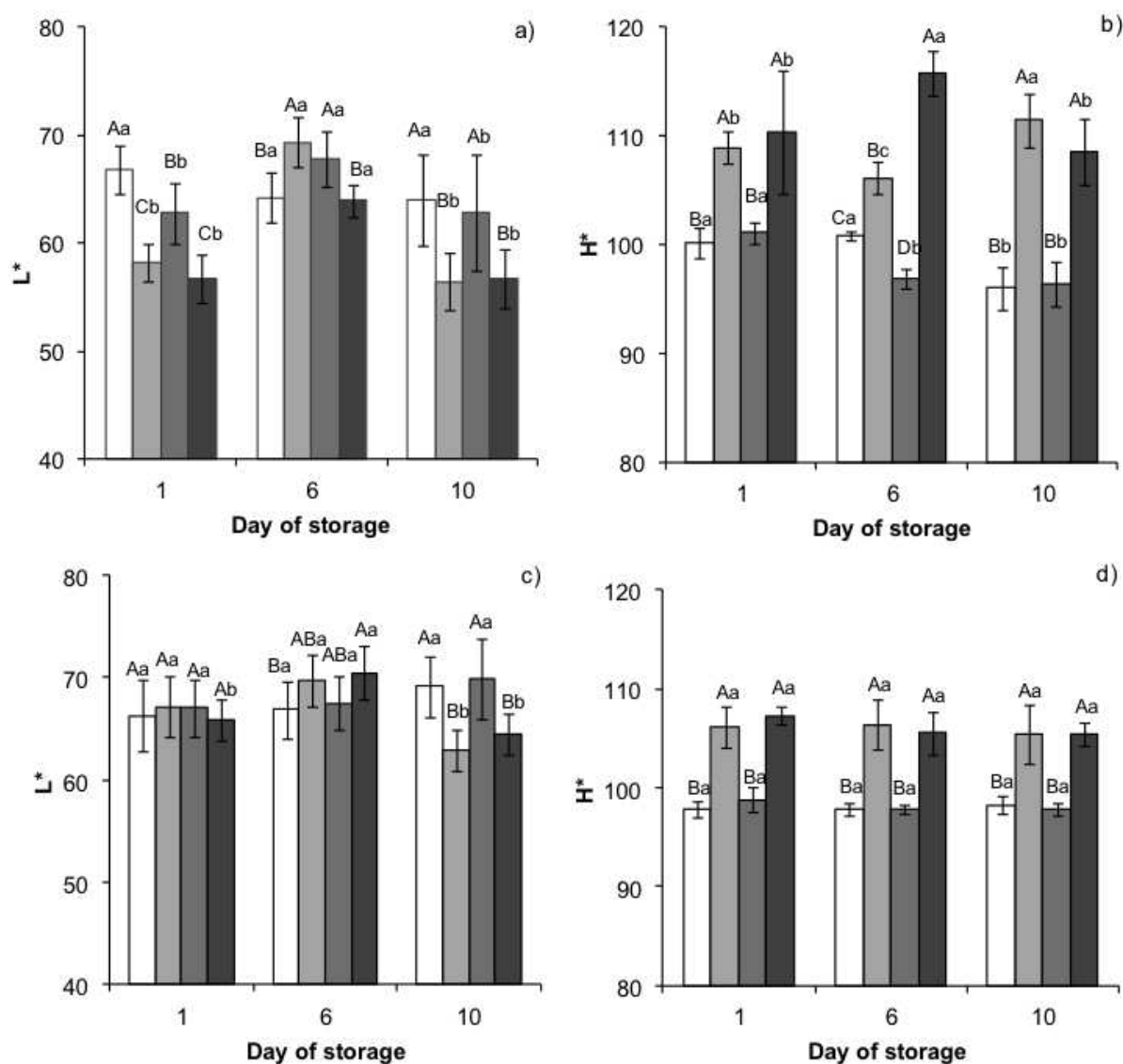


Fig. 2 Changes in L* and H* for fresh-cut Agata (a, b) and Agria (c, d) potato strips stored at 3±1°C

(□) control, (□) blanching, (■) ultrasound and (■) blanching + ultrasound

Values are the average ± standard deviation (n=6). Different capital letters in the same parameter and day of storage indicate significant differences. Different lower case letters in the same parameter and treatment indicate significant differences (p < 0.05)

The L^* values of Agria potato strips were not affected by any treatment at the beginning of the experiment ($p > 0.05$), in contrast with the Agata cultivar (Figure 2c). Cantos et al. (2002) reported that the Agria cultivar was the least susceptible to browning compared to the other four potato cultivars. However, Cabezas-Serrano et al. (2009) found that the least colour variation was found in the Agata cultivar, in a study in which the browning potential and the suitability of five different potato cultivars for processing as fresh-cut product were evaluated, including Agria. Our findings suggest that the Agria cultivar is more suitable as a fresh-cut commodity. Nevertheless, the blanched Agria potato strips were darker than the ultrasound-treated and control potato strips after 10 days of storage, as it was obtained for Agata ($p < 0.05$).

The control and ultrasound samples had lower *hue* (H^*) values than the blanched and blanched + US samples for both of the cultivars assessed (Figure 2b and 2d) ($p < 0.05$). The Agata samples had a higher H^* value than the Agria samples after one day of storage at 3 ± 1 °C (100.12, 97.82, respectively). Cabezas-Serrano et al. (2009) also found lower L^* values for Agata, but the H^* value for this cultivar were higher than in Marabel, Agria and Almera. Our results are consistent with those findings; a higher H^* value indicates that the potato flesh is less yellow. In addition, Agria had higher b^* values than Agata. Analysing the correlation between a^* values of Agata and time of storage, a positive and statistically significant correlation was found ($r = 0.241$; $p < 0.01$; data not shown). Bordoloi, Kaur and Singh (2012) attribute these higher values to a yellowish flesh colour. The H^* values of the blanched Agata samples increased significantly after 10 days of storage, whereas the Agria samples did not change. This may indicate that the colour of the blanched Agata potato became less attractive over time than that of the other cultivar.

Table 3. Firmness (N) of fresh-cut Agata and Agria potato strips stored at 3 ± 1 °C.

Treatment		Storage time (days)		
		1	6	10
Agata	Control	16.02 $\pm$ 2.89 Aa	16.45 $\pm$ 1.85 Ba	16.95 $\pm$ 1.95 Aa
	Blanching	10.44 $\pm$ 2.79 Ba	10.35 $\pm$ 2.86 Ca	11.02 $\pm$ 3.48 Ba
	US	15.21 $\pm$ 2.12 Ab	23.31 $\pm$ 5.80 Aa	17.40 $\pm$ 1.68 Ab
	Blanching + US	9.26 $\pm$ 2.86 Ba	9.20 $\pm$ 3.30 Ca	10.44 $\pm$ 3.85 Ba
Agria	Control	21.21 $\pm$ 3.37 Aa	23.59 $\pm$ 2.18 Aa	20.43 $\pm$ 4.73 Aa
	Blanching	10.33 $\pm$ 2.31 Ba	12.09 $\pm$ 1.94 Ca	10.90 $\pm$ 4.20 Ba
	US	23.54 $\pm$ 3.88 Aa	20.34 $\pm$ 2.43 Bb	22.74 $\pm$ 2.29 Aab
	Blanching + US	12.43 $\pm$ 4.00 Ba	10.46 $\pm$ 1.62 Ca	10.68 $\pm$ 2.00 Ba

Values are the average $\pm$ standard deviation (n=20). Different capital letters in the same parameter and day of storage indicate significant differences. Different lower case letters in the same parameter and treatment indicate significant differences ($p < 0.05$).

There was a significant decrease in *firmness* in both of the blanched potato strips: 35% for Agata and over 51% for Agria, indicating a remarkable softening of the product due to the heat treatment (Table 3). This effect is due to the swelling pressure of starch gelatinization, combined with the hydrothermal degradation of pectin, which weakens the structure of potato parenchyma which occurs when strips are blanched at high temperatures (over 70 °C); meanwhile, the intensity of softening depends on both temperature and time (Liu and Scanlon 2007). Pedreschi and Moyano (2005) reported that blanching induced a reduction of almost 29% in the maximum force of raw slices of potato. Agblor and Scanlon (2000) reported that the higher the blanching temperature (over 70 °C) the lower the textural quality of the potato.

According to Oner and Walker (2011), immersion in hot water inactivates bacteria by fomenting heat transfer through the food surface, although it may sometimes decrease quality. Ultrasound treatment did not change the firmness of either the Agata or the Agria potato strips compared to the control. It has to be pointed out that at the end of the refrigerated storage period, the ultrasound and control samples had similar textural properties ($p > 0.05$) and there were no significant differences over time.

Carbohydrates: Total starch and sugar content of fresh-cut potato strips

No significant differences were observed in the total starch content in either blanched samples or controls ($p > 0.05$) after one day of storage at 3 ± 1 °C (Figure 3a and 3b) in the two cultivars. Wang, Zhang and Mujumdar (2010) did not find significant differences either between unprocessed and blanched potatoes (in boiling water for 5 min); although a slight decrease was noticed due to leaching losses.

Ultrasound affected the total starch content of the potato strips and promoted its reduction, but no significant differences were found compared to the control and blanched samples. The samples treated with the combination of blanching and ultrasound had a slightly higher content of total starch, but no significant differences were detected in the control and blanched potato strips.

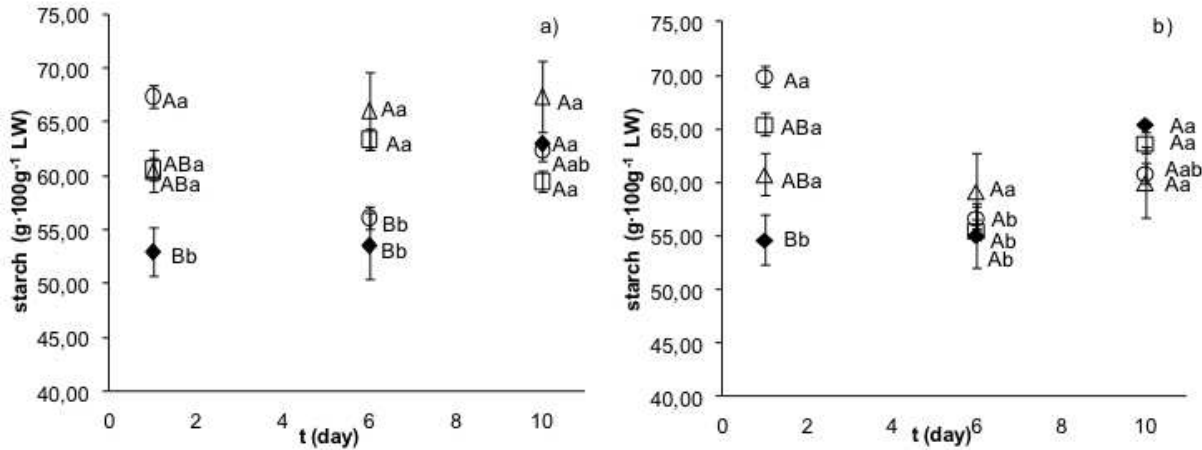


Fig. 3 Total starch content for fresh-cut Agata (a) and Agria (b) potato strips stored at 3 ± 1 °C

(□) control, (△) blanching, (◆) ultrasound and (○) blanching + ultrasound

Values are the average $\pm$ standard deviation (n=3). Different capital letters in the same parameter and day of storage indicate significant differences. Different lower case letters in the same parameter and treatment indicate significant differences ($p < 0.05$)

Ultrasound can expedite the depolymerization process of the starch gel by disruption and then promote the hydrolysis of amylopectin and amylase (Iida et al. 2008; Jackson, Waniska and Rooney 1989). Comparing the two cultivars, there were no significant differences in total starch content over time, except for in the sonicated potato strips (Figure 3A and 3B). For Agria samples, there was a negative correlation between total starch content and day of storage ($r = -0.458$; $p < 0.01$) However, at the end of the experiment, the total starch content of the potato strips was not significantly different between treatments and control samples ($p > 0.05$). According to Jambrak et al. (2010), ultrasound causes changes in the starch granule, such as a decrease in size and, consequently, alterations in the physical-chemical properties of starch. Ultrasound treatment fosters the damage and ruptures of the starch granules and distorts the crystalline region prior to a reversible hydration of the amorphous phase. This results in the

destruction of the granular structure due to the collapse of cavitation bubbles, which induces high pressure gradients and high local velocities of liquid layers in their vicinity (Rubens and Heremans 2000; Blaszczyk et al. 2007). At 10 days, for both of the cultivars assessed, the potato strips did not show changes in their major nutrient.

Agata showed higher concentrations of fructose, glucose and sucrose (Fig 4) compared with Agria. This information differs than that found by Uri et al. (2014) that observed the French fry cultivars have greater amounts of fructose and glucose. In the refrigerated storage the results suggest a different metabolic behavior of sucrose for each cultivar, since Agata accumulates sucrose while the two monosaccharide from which it is composed reduced their quantities in contrast to Agria that presented reduction of the content of sucrose. Folgado et al. (2014) also observed these changes in the metabolic behavior of sugars in different species of tubers osmotic stress and chilling (6 °C). They pointed that the different behavior of sucrose metabolism is due the cold acclimation of each specie of tuber. Although Park et al. (2009) stated that sucrose is a substrate for starch formation; in this work there was no connection with the accumulation of this sugar and the total starch content.

The application of treatments decreased significantly ($p < 0.05$) the contents of fructose, glucose and sucrose of fresh-cut “Agata” potatoes. Besides that, it was observed a negative correlation between sucrose content and b^* values and Chroma ($r = -0.540$ and -0.546 , respectively; $p < 0.01$).

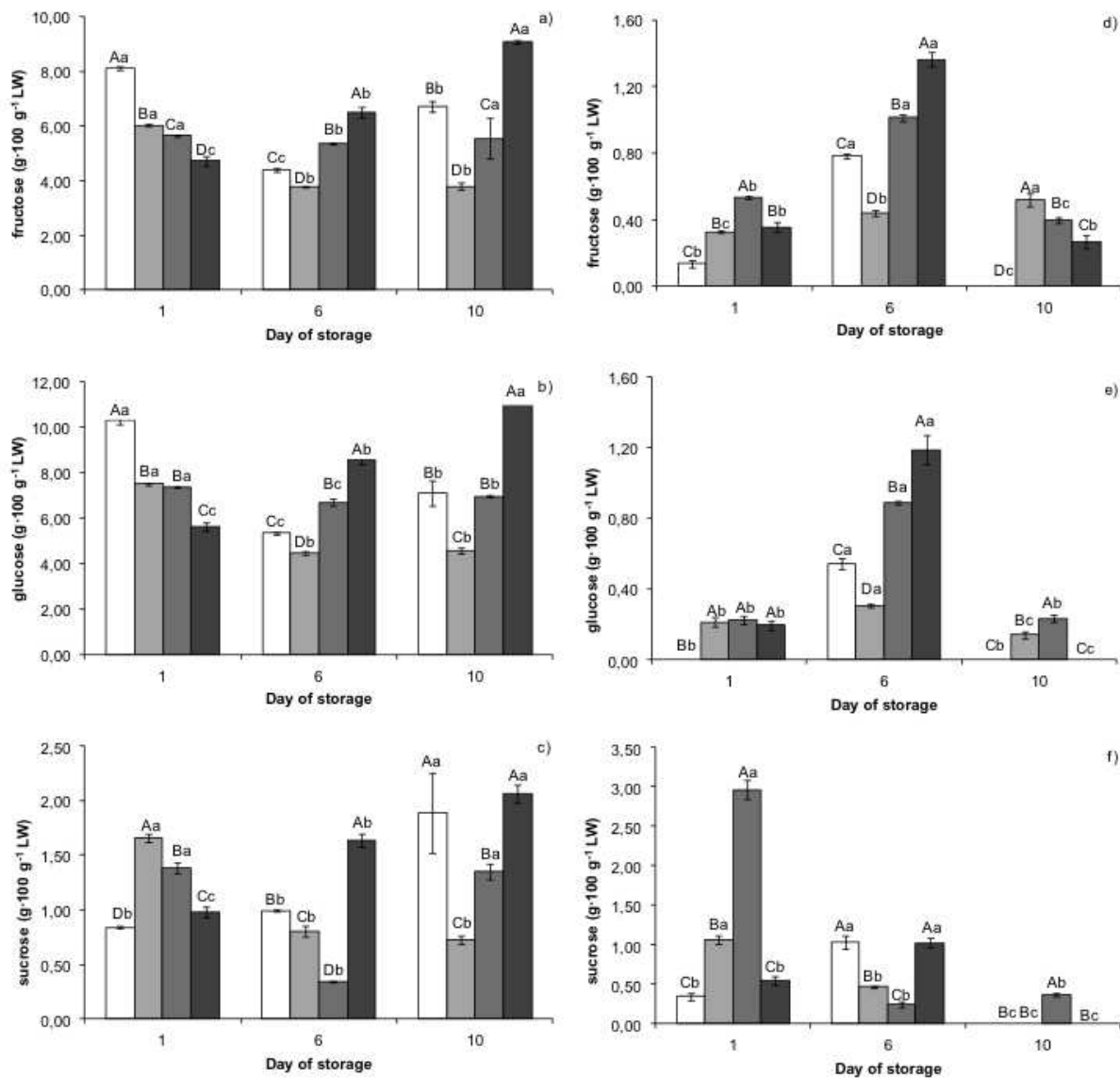


Fig 4. Fructose, glucose and sacarose contents for fresh-cut Agata (a,b and c) and Agria (d, e and f) potato strips stored at 3±1 °C

(□) control, (□) blanching, (■) ultrasound and (■) blanching + ultrasound

Values are the average ± standard deviation (n=3). Different capital letters in the same parameter and day of storage indicate significant differences. Different lower case letters in the same parameter and treatment indicate significant differences ($p < 0.05$)

In contrast, for Agria samples there was observed a slightly increase of three sugars analyzed and a negative correlation between sucrose and day of storage ($r = -0.615$; $p < 0.01$) and positive correlation between fructose and glucose ($r = 0.956$; $p < 0.01$). Samples of Agata submitted to blanching showed the same trend of glucose and fructose contents, but the inverse occurred to sucrose, regardless the association with ultrasound. Moreover, sugar contents showed different results after exposition to ultrasound for both cultivars analyzed. According to Park et al. (2009) sugars are an integral part of metabolism in tubers, and then factors that affects metabolism may affect the sugars content.

Impact of the treatments on instrumental properties of the fried potato strips: colour and firmness

The effects of interaction of both factors were significant for all parameters and the two varieties analyzed, excepted for Chroma (Table 4). The effect of this parameter was significant only for time of storage.

Table 4. F-test for colour, firmness of fried Agata and Agria potato strips stored at $3 \pm 1^\circ\text{C}$.

Cultivar	Factor	L*	H*	Chroma	Firmness (N)
Agata	Treatment (T)	5.68*	5.69*	0.47 ns	11.93*
	Storage day (S)	50.46*	92.43*	1.84 ns	29.43*
	T x S	14.11*	10.76*	1.95 ns	3.49*
Agria	Treatment (T)	24.94*	67.68*	1.16 ns	15.20*
	Storage day (S)	3.54*	8.42*	12.81*	24.73*
	T x S	3.38*	2.85*	1.33 ns	7.35*

* Statistically significant values ($p \leq 0.05$).

Colour

In general, all of the samples of the Agata cultivar displayed a sharper depletion in L^* values (47.9% for control potato strips) after frying than the Agria samples, in which no reduction was noted at the beginning of the experiment (Figures 5a, 5c). Ultrasound-treated Agria potato strips had the highest L^* value (71.68), but no significant differences were found between blanched and control samples ($p > 0.05$). In contrast, none of the treatments retained the lightness value of fewer than 60.00 of the Agata potato strips after frying. Scores under this value indicate a darker, brownish colour for fried potato strips (Oner and Walker 2011). Consequently, the Agata cultivar seems highly suitable for use as a fresh-cut product according to our results, but the colour after frying may be considered less attractive to consumers. Its darker colour after frying may be due to the compounds obtained after the Maillard reaction, which is determined by the superficial reducing sugar and amino acid content. However, it is important to note that for the Agata cultivar, the lightness of the ultrasound-treated samples improved over time ($p > 0.05$), whereas blanched samples became slightly darker.

The H^* values follow the same pattern as the lightness values for the Agata cultivar and confirm their brownish colour (Figure 5b). The hue angle did not change significantly over time for the blanched Agata potato strips ($p > 0.05$); although at the end of storage this was the lowest value ($p < 0.05$). In a global way, it was observed a positive correlation between H^* values and storage ($r = 0.490$; $p < 0.01$). On the other hand, as is shown in Figure 5d, the treatments did not have an impact on the H^* angle of the fried Agria potato strips at the beginning of the experiment ($p > 0.05$). Despite the H^* value of the fresh-cut potato strips, after frying, values were around 90° (yellow) for all the treatments as well as the control. Nevertheless, sonicated and control potato strips had higher H^* values than blanched ones.

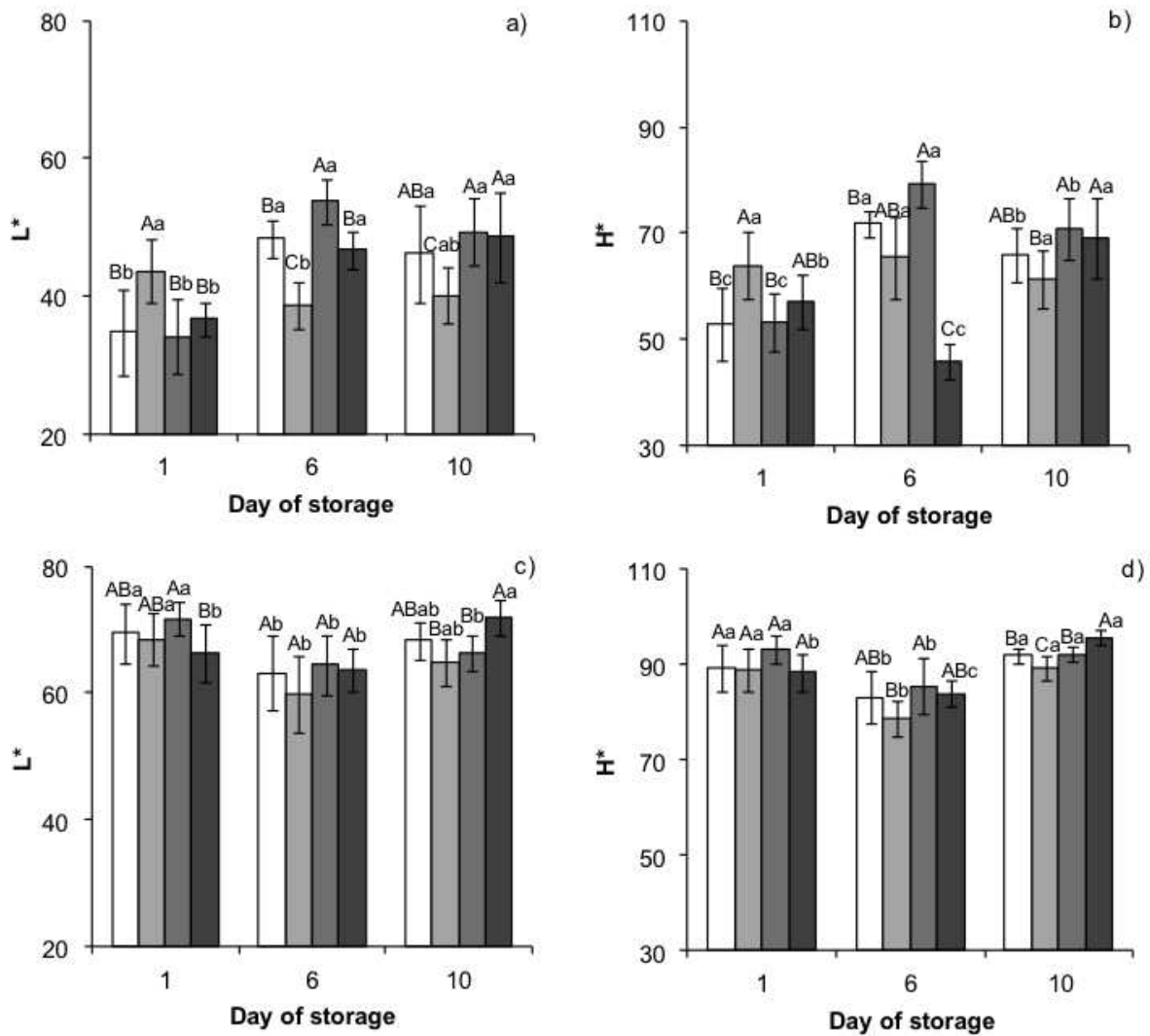


Fig. 5 Changes in L* and H* for fried Agata (a, b) and Agria (c, d) potato strips stored at 3±1 °C

(□) control, (□) blanching, (■) ultrasound and (■) blanching + ultrasound

Values are the average ± standard deviation (n=20). Different capital letters in the same parameter and day of storage indicate significant differences. Different lower case letters in the same parameter and treatment indicate significant differences (p < 0.05)

According to Bingol et al. (2012), higher b^* values and lower a^* values are desirable for French fries. In this study all the samples of fried Agria potato strips had this tendency, although there was a negative correlation between L^* and a^* values ($r = -0.791$; $p < 0.01$). Therefore, all the colour parameters for both fried and fresh cut potato strips confirm the suitability of the Agria cultivar for processing as a fresh-cut product.

Firmness

There were no significant differences in maximum force on fried potato strips on day 1 ($p < 0.05$) but, comparing the two cultivars, the control and sonicated potato strips underwent the greatest losses in firmness after frying ($>70\%$). Nevertheless, the Agria fried potato strips were firmer than the Agata ones (Table 5). According to Nourian and Ramaswamy (2003), within five minutes of frying time, potato strips lose more than 80% of their original texture. This is due to the combination effect of cell rupture, solubilisation of the middle lamellae and the gelatinization of starch. Oner and Walker (2011) obtained a greater loss of firmness in unprocessed potato strips (84%) than in blanched ones (35-47%) for the Russet Burbank cultivar. This trend was similar to both potato cultivars assessed in this work. Pedreschi and Moyano (2005) observed a faster softening of tissue and hardening of the crust as stages in the texture development of potato strips at higher frying temperatures (180 °C), suggesting that dehydration is dependent on temperature and the development process in the external cell layers of fried potatoes as a progressive formation of crust and hardening. During refrigerated storage, the control and blanched samples of the Agata potatoes had significantly higher values than the ultrasound-treated and blanched and sonicated samples. The greatest firmness was found on day 10 for the blanched potato strips, which increased significantly over time. Furthermore, a positive and statistically significant correlation was found between firmness of

Agata and time of storage ($r = 0.389$; $p < 0.01$). In the Agria fried samples, the values were higher for the sonicated potato strips at the end of storage at 3 ± 1 °C. Pedreschi et al. (2009) did not find a significant effect on the texture of fried potatoes that had previously been blanched. Pedreschi and Moyano (2005) reported a similar behaviour for both control and blanched slices of potato and no apparent effect of the frying temperature or treatment on the maximum force of potato slices.

Table 5. Firmness (N) of fried Agata and Agria potato strips stored at 3 ± 1 °C.

Treatment		Storage time (days)		
		1	6	10
Agata	Control	3.67 ± 1.20 Ab	4.95 ± 1.23 Aa	4.99 ± 1.16 ABa
	Blanching	4.13 ± 1.16 Ab	4.72 ± 0.98 Ab	6.55 ± 1.13 Aa
	US	3.82 ± 1.15 Aa	3.50 ± 1.04 Ba	4.68 ± 1.85 Ba
	Blanching + US	3.65 ± 0.99 Ab	3.37 ± 0.88 Bb	4.82 ± 1.20 Ba
Agria	Control	5.41 ± 1.95 Ab	6.59 ± 1.53 Bab	8.08 ± 2.51 Ba
	Blanching	5.51 ± 0.85 Ab	8.14 ± 2.27 ABa	6.74 ± 1.23 BCab
	US	5.15 ± 1.85 Ab	10.58 ± 4.00 Aa	10.40 ± 3.30 Aa
	Blanching + US	5.91 ± 1.68 Aa	6.39 ± 1.74 Ba	5.31 ± 1.86 Ca

Values are the average $\pm$ standard deviation ($n=20$). Different capital letters in the same parameter and day of storage indicate significant differences. Different lower case letters in the same parameter and treatment indicate significant differences ($p < 0.05$).

Conclusions

The use of ultrasound indicated that the firmness, colour and pH of sonicated fresh-cut potato strips were better than blanched. The combination of both techniques (blanched + US) didn't improve the studied parameters. Moreover, the Agria cultivar showed better suitability than the Agata for processing as a fresh-cut potato due to the colour of the fried potato strips. However, the use of ultrasound led to the improvement in the lightness of fried Agata potato strips during refrigerated storage. The starch content of the fresh-cut potato strips differed significantly between the treatments assessed, but at the end of storage (10 days at 3 ± 1 °C) all the treatments had similar starch content. The application of any of the treatments reduced the sugar content of Agata samples. Therefore, ultrasound can be considered by the potato industry as an option to delay browning and the loss of firmness of fresh-cut potato strips with no added chemicals, although further research is needed to understand other important aspects such as the maximum shelf life of this product.

Acknowledgements

This work was supported by the São Paulo Research Foundation - FAPESP (2011/20093-8).

References

- Aday, M.S., Temizkan, R., Büyükcan, M.B. & Caner, C. (2013). An innovative technique for extending shelf life of strawberry: Ultrasound. *LWT- Food Science and Technology*, 52 (2), 93-101.
- Agblor, A. & Scanlon, M.G. (2000). Processing conditions influencing the physical properties of French fried potatoes. *Potato Research*, 43(2), 163-178.

- Adekunte, A.O., Tiwari, B.K., Cullen, P.J., Scannell, A.G.M. & Donnell, C.P.O. (2010). Effect of sonication on colour, ascorbic acid and yeast inactivation in tomato juice. *Food Chemistry*, 122(3), 500-507.
- Alvarez, M.D., Morillo, M.J. & Canet, W. (2000). Characterization of the frying process of fresh and blanched potato strips using response surface methodology. *European Food Research and Technology*, 211(5), 326-335.
- Amaral, R.D.A., Benedetti, B.C., Pujola, M., Achaerandio, I. & Bachelli, M.L.B. (2014). Effect of Ultrasound on Quality of Fresh-Cut Potatoes During Refrigerated Storage. *Food Engineering Reviews*. doi.10.1007/s12393-014-9091-x
- Beltrán, D., Selma, M.V., Tudela, J.A. & Gil, M.i. (2005). Effect of different sanitizers on microbial and sensory quality of fresh-cut potato strips stored under modified atmosphere or vacuum packaging. *Postharvest Biology and Technology*, 37(1), 37-46.
- Bingol, G., Zhang, A., Pan, Z. & McHugh, T.H. (2012). Producing lower-calorie deep fat fried French fries using infrared dry-blanching as pre-treatment. *Food Chemistry*, 132(2), 686–692.
- Blaszczak, J.F., Kiseleva, V.I., Yuryev, V.P., Sergeev, A.I. & Sadowska, J. (2007). Effect of high pressure on thermal, structural and osmotic properties of waxy maize and hylon VII starch blends. *Carbohydrate Polymers*, 68(3), 387–396.
- Bordoloi, A., Kaur, L. & Singh, J. (2012). Parenchyma cell microstructure and textural characteristics of raw and cooked potatoes. *Food Chemistry*, 133(4), 1092–1100.
- Cabezas-Serrano, A.B., Amodio, M.L., Cornacchia, R., Rinaldi, R. & Colelli, G. (2009). Suitability of five different potato cultivars (*Solanum tuberosum* L.) to be processed as fresh-cut products. *Postharvest Biology and Technology*, 53(3) 138–144.

- Caminiti, I.M., Noci, F., Muñoz, A., Whyte, P., Morgan, D.J., Cronin, D.A., & Lyng, J. (2011). Impact of selected combinations of non-thermal processing technologies on the quality of appel and cranberry juice blend. *Food Chemistry*, 124(4), 1387-1392
- Cantos, E., Tudela, J.A., Gil, M.I. & Espín, J.C. (2002). Phenolic compounds and related enzymes are not rate-limiting in browning development of fresh-cut potatoes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(10), 3015-3023.
- Comandini, P., Blanda, G., Soto-Cabellero, M.C., Sala, V., Tylewicz, U., Mujica-Paz, H., Valdez Fragoso, A. & Gallina Toschi, T. (2013). Effects of power ultrasound on immersion freezing parameters of potatoes. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 18 (April), 120–125.
- Folgado, R., Sergeant, K., Renaut, J., Swennen, R., Hausman, J. & Panis, B. (2014). Changes in sugar content and proteome of potato in response to cold and dehydration stress and their implications for cryopreservation. *Journal of Proteomics*, 98, 99-111.
- Iida Y., Tuziuti, T., Yasui, K., Towata, A. & Kozuka, T. (2008). Control of viscosity in starch and polysaccharide solutions with ultrasound after gelatinization. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 9(2), 140-146.
- Jackson, D.S., Waniska, R.D. & Rooney, L.W. (1989). Differential water solubility of corn and sorghum starches as characterized by high-performance size-exclusion chromatography. *Cereal Chemistry*, 66(3), 228-232.
- Jambrak, A.R., Herceg, Z., Šubarić, D., Babić, J., Brnčić, M., Brnčić, S.R., Bosiljkov, T., Čvek, D., Tripalo, B. and Gelo, J. (2010). Ultrasound effect on physical properties of corn starch. *Carbohydrate Polymers*, 79(1), 91–100.

- Jang, J.H. & Moon, K.D. (2011). Inhibition of polyphenol oxidase and peroxidase activities on fresh-cut apple by simultaneous treatment of ultrasound and ascorbic acid. *Food Chemistry*, 124(2), 444-449.
- Karizaki, V.M., Sahi, S., Sumnu, G., Mosavian, M.T.H. & Luca, A. (2013). Effect of ultrasound-assisted osmotic dehydration as a pretreatment on deep fat frying of potatoes. *Food and Bioprocessing Technology*, 6 (12), 3554–3563.
- Knorr, D., Ade-Omowaye, B.I.O. & Heinz, V. (2002). Nutritional improvement of plant foods by non-thermal processing. *Proceedings of the Nutrition Society*, 61(2), 311-318.
- López-Hernández, J., González-Castro, M.J., Naya Alba, I., & de la Cruz García C. (1998). High-Performance liquid chromatographic determination of mono-and oligosaccharides in vegetables with evaporative light-scattering detection and refractive index detection. *Journal of Chromatographic Science*, 36 (6), 293-298
- Liu, E.Z. & Scanlon, M.G. (2007). Modelling the effect of blanching conditions on the texture of potato strips. *Journal of Food Engineering*, 81(2), 292–297.
- Mason, T.J., Paniwnyk, L. & Lorimer, J.P. (1996). The uses of ultrasound in food technology. *Ultrasonics Sonochemistry*, 03, S253–S260.
- Meng, X., Zhang, M. & Adhikari, B. (2014). The effects of ultrasound treatment and nano-zinc oxide coating on the physiological activities of fresh-cut kiwifruit. *Food and Bioprocessing Technology*, 07(1), 126-132.
- Mizrach, A. (2008). Ultrasonic technology for quality evaluation of fresh fruit and vegetables in pre- and postharvest processes. *Postharvest Biology and Technology*, 48(3), 315-330.
- Moreira, R.G., Castell-Perez, M.E. & Barrufet, M.A. (1999). *Deep-fat frying: fundamentals and applications*, Gaithersburg. Aspen Publishers.

- Nourian, F. & Ramaswamy, H.S. (2003). Kinetics of quality change during cooking and frying of potatoes: part I, Texture. *Journal of Food Process Engineering*, 26(4), 377-394.
- Oms-Oliu, G., Rojas-Graü, M.A., González, L.A., Varela, P., Soliva-Fortuny, R., Hernando, M.I.H., Munuera, I.P., Fiszman, S. & Martín-Belloso, O.M. (2010). Recent approaches using chemical treatments to preserve quality of fresh-cut fruit: A review. *Postharvest Biology and Technology*, 57(3), 139–148.
- Oner, M.E. & Walker, P.N. (2011). Effect of Processing and Packaging Conditions on Quality of Refrigerated Potato Strips. *Journal of Food Science*, 76(1), S35-S40.
- Park, S.W., Jeon, J.H., Kim, H.S., Hong, S.J., Aswath, C. & Joung, H. (2009). The effect of size and quality of potato microtubers on quality of seed potatoes in the cultivar ‘Superior’. *Scientia Horticulturae*, 120(1), 127-129.
- Parkin, K. L. (2008). Enzymes. In: *Fennema’s Food Chemistry* (edited by S. Damodaran, K.L. Parkin & O. R. Fennema). Pp 407-414. 4th Edition. Boca Raton, USA: CRC Press.
- Pedreschi, F. & Moyano, P. (2005). Oil uptake and texture development in fried potato slices. *Journal of Food Engineering*, 70(4), 557–563.
- Pedreschi, F., Travisany, X., Reyes, C., Troncoso, E. & Pedreschi, R. (2009). Kinetics of extraction of reducing sugar during blanching of potato slices. *Journal of Food Engineering*, 91(3), 443-447.
- Rubens, P. & Heremans, K. (2000). Pressure–temperature gelatinization phase diagram of starch: An in situ Fourier transforms infrared study. *Biopolymers*, 54(7), 524-530
- Sala, F.J., Burgos, J., Codon, P., Lopes, P. & Raso, J. (1995). Effect of heat and ultrasound on microorganisms and enzymes. In: *New Methods in Food Preservation*, edited by G. W Gould Pp. 176-204, Gaithersburg, USA: Aspen Publishers.

- São José, J.F. & Vanetti, M.C.D. (2012). Effect of ultrasound and commercial sanitizers in removing natural contaminants and *Salmonella enterica* Typhimurium on cherry tomatoes. *Food Control*, 24(1-2), 95-99.
- Severini, C., Baiano, A., De Pilli, T., Romaniello, R. & Derossi, A. (2003). Prevention of enzymatic browning in sliced potatoes by blanching in boiling saline solutions. *LWT-Food Science and Technology*, 36(7), 657–665.
- Stojanovic, J. & Silva, J.L. (2007). Influence of osmotic concentration, continuous high frequency ultrasound and dehydration on antioxidants, colour and chemical properties of rabbiteye blueberries. *Food Chemistry*, 101(3), 898-906.
- Tomás-Barberán, F.A. & Espín, J.C. (2001). Phenolic compounds and related enzymes as determinants of quality in fruits and vegetables. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 81(9), 853-876.
- Tiwari, B.K., Muthukumarappan, K., O'Donnell, C.P. & Cullen, P.J. (2008). Colour degradation and quality parameters of sonicated orange juice using response surface methodology. *LWT-Food Science and Technology*, 41(10), 1876-1883.
- Ugarte-Romero, E., Feng, H., Martin, S.E., Cadwallader, K.R. & Robinson, S.J. (2006). Inactivation of *Escherichia coli* with power ultrasound in apple cider. *Journal of Food Science*, 71(2), 102-108.
- Uri, C., Juhász, Z., Polgár, Z. & Bánfalvi, Z. (2014). A GC–MS-based metabolomics study on the tubers of commercial potato cultivars upon storage. *Food Chemistry*, doi:10.1016/j.foodchem.2014.03.010.
- Zuo, Y.Y.J., Hébraud, P., Hemar, Y. & Ashokkumar, M. (2012) Quantification of high-power ultrasound induced damage on potato starch granules using light microscopy. *Ultrasonics Sonochemistry*, 19(3), 421-426.

Walkling-Ribeiro, M., Noci, F., Cronin, D.A., Lyng, J.G., & Morgan, D.J. (2009). Shelf life and sensory evaluation of orange juice after exposure to thermosonication and pulsed electric fields. *Food and Bioprocess Processing*, 87(2), 102-107.

Wang, R., Zhang, M. & Mujumdar, A.S. (2010). Effects of vacuum and microwave freeze drying on microstructure and quality of potato slices. *Journal of Food Engineering*, 101(2), 131–139.

CAPÍTULO 5. Ultrasound in fresh-cut potatoes: Effect of time of application on color, firmness and starch content

- Artigo publicado na revista Food Engineering Reviews, em agosto de 2014.

DOI 10.1007/s12393-014-9091-x

AMARAL, R. D. A.; BENEDETTI, B. C.; PUJOLA, M.; ACHAERANDIO, I.; BACHELLI, M. L. B. Effect of Ultrasound on Quality of Fresh-Cut Potatoes During Refrigerated Storage. Food Engineering Reviews, v. 01, p. 1-9, 2014.

Effect of Ultrasound on Quality of Fresh-Cut Potatoes During Refrigerated Storage

R. D. A. Amaral · B. C. Benedetti · M. Pujola ·
I. Achaerandio · M. L. B. Bachelli

Received: 30 January 2014 / Accepted: 4 August 2014
© Springer Science+Business Media New York 2014

Abstract In the industry of fresh-cut potatoes, controlling browning and delaying the loss of texture are important factors to obtain a high-quality product. The use of ultrasound can avoid these undesirable phenomena due to its power to inactivate enzymes by breaking the cell membranes because the cavitation activities and formation of free radicals. For this purpose, this study aimed to evaluate the effect of different times of contact of ultrasound (40 kHz, 200 W for 1, 5 and 10 min) on quality parameters (browning, firmness and total starch content) of fresh-cut potatoes during the product shelf life (12 days; 3 ± 1 °C) and cell microstructure. Ultrasound was applied to asterix strips (rectangular, 10×10 mm). Results showed that the time of sonication and storage affected significantly to the pH of the samples. Treated samples for 5 and 10 min presented the lower values of pH. No color degradation was noticed immediately after the application of treatments (Hue and Chroma). However, a slight decrease in Hue angle of fresh-cut potatoes during storage has been observed. The use of 5 min of sonication inhibited 50 % of polyphenol oxidase (PPO) activity for the first 4 days of storage. Samples submitted to 5 and 10 min of ultrasound also had maintained more uniform firmness

after frying during storage time. However, the longest time of immersion (10 min) caused damage in the potato cells.

Keywords Browning · PPO · Fried potatoes · Minimal processing

Introduction

New food processing technologies are being developed by searching the reduction in thermal processes that can affect some components of product. The innovative processes need to use techniques to produce safe, healthy and environmental friendly products. Additionally, the main purpose of food preservation technologies is to extend shelf life. In products that have a quick browning, such as potato, it can be achieved by preventing enzymatic reactions and microbial spoilage, which causes damage of the product. On the other hand, these technologies also cannot promote great alterations in flavor, color and texture. With regard to these technologies, the use of ultrasound (US) is interesting because it is relatively simple, rapid and energy saving, besides the efficiency on extending the product shelf life. Furthermore, the ultrasonic process does not require any chemicals and additives and it will not induce large changes in the chemical structure [2, 15, 28].

There are two approaches in the application of US in food technology: The first one, in the MHz range, is defined as low-energy diagnostic US, and it is used for nondestructive testing. At low treatment intensities and amplitudes, the pressure waves induce acoustic streaming. The second one is called high-power US (20–100 kHz range) results in local pressures below the vapor pressure of the liquid, and it is used for material alteration. It can induce effects on the physical, mechanical or chemical/biochemical properties of foods [2, 25].

R. D. A. Amaral · B. C. Benedetti · M. L. B. Bachelli
Faculty of Agricultural Engineering, University of Campinas
(UNICAMP), Av. Cândido Rondon, 501, Campinas 13083-875,
Brazil

R. D. A. Amaral · M. Pujola (✉) · I. Achaerandio
Departament d'Enginyeria Agroalimentària i Biotecnologia,
Escola Superior d'Agricultura de Barcelona, Universitat
Politécnica de Catalunya BarcelonaTech (UPC), C/Esteve
Terradas, 8, 08860 Castelldefels, Spain
e-mail: montserrat.pujola@upc.edu

The effects of ultrasound are provided by cavitation, which is formed when attractive forces of the molecules on liquid are exceeded at sufficiently high power of rarefaction cycle and form cavitation bubbles. These bubbles will collapse generating the energy for chemical and mechanical effects [28]. High-power US possesses energy that can break down fruit matrices to facilitate the extraction of valuable bioactive compounds [18]. However, these authors observed that low-intensity (20 kHz), when limited to 10 min, is more effective for the extraction of bioactive compounds in red raspberry puree than 490 and 986 kHz.

Ultrasound can be used in food processing for various purposes, and the media, through which it propagates, affects the properties of ultrasound. It can be used in the inactivation of enzymatic activity to enhance shelf life and quality of food products [41], color changes [40], microbial inactivation [12], reduction in product viscosity, [33] and depolymerization and viscosity control of starch and polysaccharide solutions after gelatinization [20, 22]. In potatoes, Schössler, Thomas and Knorr (2012) [37] evaluated the effect of ultrasound on the modification of cell structure and mass transfer and concluded that this treatment induced cell disruption (an outer layer of less than 1 mm thickness). The injury observed in deeper layers was only attributed to structural changes associated with the water removal.

Ultrasound has been also studied for replace sanitizing with chemical solutions, like chlorine and for enzyme inactivation, due to the disruption of hydrogen bonding and van der Waals interactions in polypeptide chains which causes alterations of the secondary and tertiary structures of the protein. However, the effectiveness is variable and depends on frequency and power of the equipment, enzyme and microorganism type, concentration, medium pH, temperature and type of fruits and vegetables [7, 35]. Huang et al. [19] studied the effectiveness of combination of ultrasound (170 kHz; 10 min) and chlorine dioxide (20 and 40 mg L⁻¹) on apples and lettuce increased *Salmonella* reduction by more than 2 log compared with the use of chlorine dioxide alone in apples. The effect of ultrasound in inactivation of enzymes, like peroxidase (POD), was analyzed in tomatoes by Ercan and Soysal [16]. They observed that when ultrasound was applied for 150 s at 50 % ultrasonic power, the inactivation of tomato POD was 100 %. The anti-browning effectivity measured as polyphenol oxidase (PPO) and POD activities increase when of ultrasound (40 kHz) is combined with ascorbic acid (1 %) in apple fresh-cut in storage at 10 °C during 12 days [24].

Despite the several research works available on the use of ultrasound in food processing, only a limited number of applications are mature enough to be implemented by the food industry. Ultrasound concentrates quite large amounts of energy into very small volumes, and this effect has the potential to change food properties in unexpected ways [15, 28]. For the authors' knowledge, there is limited literature

about the effect of low-frequency ultrasound (<100 kHz) on the quality and browning inhibition of fresh-cut potatoes. Therefore, the main objective of this study was to investigate the effect of different times of application of ultrasound (40 kHz, 200 W) on the main components and sensorial attributes of fresh-cut potatoes during storage at 3 ± 1 °C.

Materials and Methods

Materials

Fresh Potatoes

Potatoes (*Solanum tuberosum* L.) of the asterix cultivar were acquired from Mercabarna (Mercados de Abastecimientos de Barcelona SA), selected, washed in tap water to remove surface dirt and stored in the dark at cooling temperature (12 °C) prior to processing.

Ultrasound Equipment

The ultrasound bath was made of welded aluminum sheet, with a capacity of 9 L, the dimensions were 12 × 46 × 12 cm (height × width × depth), and the frequency was 40 kHz and 200 W of generation power (P-SE-LECTA 3000617, Barcelona, Spain). Table 1 shows the treatment conditions. Ultrasound power of the treatments was calculated according to [18, 23], and the specific energy (E_s) was calculated using the formula described by [9]. The distribution of ultrasonic intensity was measured by the method of aluminum foil [42]. Figure 1 shows this distribution and indicates that there is no difference in damage in the different locations of the bottom of the basket at the three times of immersion.

Experimental Procedure

Potato Strips Preparation

Potato tubers, free of defects, were hand-peeled, cut into rectangular strips with a cross section of 10 × 10 mm with a manual vegetable slicer and immediately rinsed in

Table 1 Ultrasound power (P), specific energy (E_s) and temperature elevation (ΔT) during sonication

Time (min)	P (W)	E_s (kJ/kg)	ΔT (°C)
1	250.80	25.08	0.28 ± 0.10
5	1,279.08	639.54	1.94 ± 0.27
10	1,329.24	1,329.24	4.26 ± 0.22

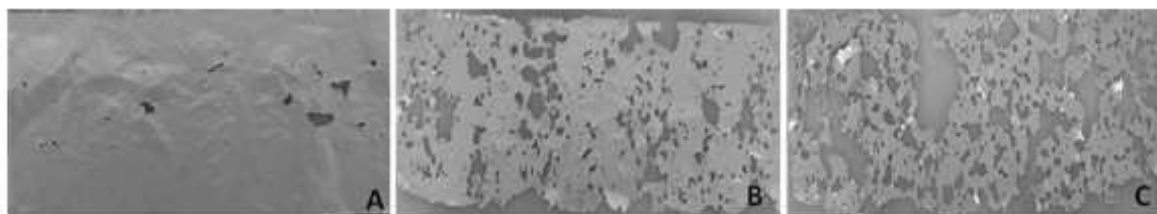


Fig. 1 Damage to aluminum foil treated for 1 min (a), 5 min (b) and 10 min (c) due to the acoustic field

distilled water. The strips were then centrifuged in a manual centrifuge to eliminate excess water. No postharvest chemical washing treatment was applied in order to achieve the complete anti-browning potential for each treatment. For the sonication treatment, a batch of 600 g of potato strips was dipped for three different times (1, 5 and 10 min) in an ultrasound bath with 40 kHz frequency, 200 W and no agitation process was applied. The potato/water ratio was 1:4 (w/w). Then, 100 ± 5 g were selected at random from the whole bunch and vacuum packed (-98 kPa) in high-density polyethylene (HDPE) bags. Nontreated potato strips were used as control samples. HDPE film was selected because it is commonly used in the fresh-cut potato industry and vacuum packaging is considered the best packaging method to preserve the sensory quality of fresh-cut potatoes stored under refrigeration [4]. The bags were then stored at 3 ± 1 °C for up to 12 days. Two replicate plastic bags of 100 ± 5 g of fresh-cut potatoes were assessed for each treatment and sampling date.

Frying

Prior to frying, 1 L of sunflower oil (0.5 g linoleic/ 100 g $^{-1}$) was preheated in a deep-fat fryer. Then, for each treatment, 200 ± 10 g of potato strips were fried at 180 °C for 6 min. After frying, the strips were removed from the oil, drained for 1 min and then air-dried at room temperature for 10 min. The color and firmness of the samples were then assessed.

Analysis

All the analyses were carried out on days 1, 4, 8 and 12 for the fresh-cut and fried potatoes, except for the optical microscopy. For total starch content, samples were collected, immediately frozen at -20 °C and subsequently freeze-dried at -54 °C and 0.07 mbar vacuum for 40 h by Telstar Cryodos -50 freeze dryer (Telstar, Barcelona, Spain).

pH

The pH was measured with a potentiometer according to AOAC (981.12). The analysis was performed in triplicate.

Color

Lightness to darkness (L^*) (100 to 0), redness (+) to greenness (−) (a^*), and yellowness (+) to blueness (−) (b^*) color parameters in the CIE Lab scale were determined with a colorimeter (Konica Minolta CR-400), using a D_{65} light source and 10° as the observed standard; results are expressed in L^* , Hue [$H^\circ = \tan^{-1}(a^*/b^*)$] and Chroma [$C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$]. Five readings were taken on two sites on the surface of the potato strips for each treatment and replicated bag [31].

Firmness

The firmness was measured using the texture analyzer (TA.XT Plus, Stable Micro Systems Co. Ltd., UK) equipped with a 30-kg load cell and connected with a Warner–Bratzler blade set with a speed of 1 mm s $^{-1}$. Ten measurements of each treatment and day were taken in any replicated bag. Firmness was measured as the maximum shear strength values and expressed as maximum force (N).

Dry Matter Determination

The dry matter content of the raw and fried samples was determined by drying 5 g of potato at 65 °C for 24 h (AOAC 931.04). The dry matter content was calculated from the weight difference (g 100 g $^{-1}$ of fresh weight, FW). These determinations were made in triplicate.

Total Starch

Total starch analysis was performed by enzymatic hydrolysis. Analyses were conducted using 100 mg of freeze-dried samples according to AOAC 996.11 and AACC 76.13 procedures. The absorbance of the resulting red complex was measured at $\lambda = 510$ nm, and the results were expressed by (g 100 g $^{-1}$ of lyophilized weight, LW). These determinations were made in triplicate.

Polyphenol Oxidase Activity

Three samples of 3 g of frozen tissue were homogenized in 18 mL of McIlvaine buffer solution, pH 6.5, together with

5 % of polyvinylpyrrolidone (PVP), and 1 M NaCl. The solution was centrifuged at $12,000\times g$ for 15 min. The supernatant was used for PPO activity measured by determining the absorbance increase at 410 nm over a period of 3 min. The reaction mixture contained 1.5 mL of extract, 1 mL of phosphate buffer and 0.5 mL of 100 mM 4-methylcatechol. The results were expressed as units of enzymatic activities. One unit of PPO activity was defined as a change in absorbance at 400 nm per min and mL of enzymatic extract. The initial reaction rate was estimated from the linear portion of the plotted curve [10, 38]. These determinations were made in triplicate.

Optical Microscopy

It was pointed a thin section removed of frozen potato crust through optical microscopy with a $200\times$ increase. Analyses were performed on the first day of storage.

Statistical Analysis

Data were the mean of duplicate replications. They were subjected to one-way analyses of variance (ANOVA) using MINITAB (v.16, MINITAB Inc, State College, PA) to compare the statistical effects of the time of US application and the effect of the storage on the treatments at a 95 % confidence level. The differences between samples were determined using Tukey's least significant difference test.

Results and Discussion

pH

At day 1, the use of ultrasound altered the pH values of fresh-cut potato reducing significantly ($p < 0.05$) after 5 and 10 min of treatment (Fig. 2). However, the pH (5.97–5.38) of fresh-cut potatoes still lies within the range of other studies [11, 32]. Ultrasound (24 kHz, 400 W, 120 μ m) affected in the same way the pH of other products, such as pineapple, grape and cranberry juices [5]. A negative and statistically significant correlation was found between pH and time of storage ($r = -0.883$; $p < 0.05$). It has been previously reported that there were significant changes in pH during the storage of potatoes [30]. In addition, it was observed that the longer time of ultrasound immersion, the higher reduction in pH. This phenomenon could be accelerated by the application of ultrasound.

Dry Matter Content

The dry matter content of potatoes varied from 21.35 ± 0.74 to 25.23 ± 0.81 g/100 g⁻¹ FW. Tajner-

Czopek et al. [39] determined that tubers selected for frying should contain 20–25 % of dry matter, since it is important for the quality of the final product in terms of oil absorption during and after frying. There was no statistical difference in the dry matter content of fresh-cut potatoes after the application of ultrasound in the first day of analysis (Table 2). The significant differences obtained for the dry matter content in fried potato after 10 min of sonication along time might be due to the changes in the structure of potato cells that could lead to some alterations in the oil absorption during frying. Schössler, Thomas and Knorr (2012) [37] stated that the application of ultrasound increases the water removal from the outermost layers, but the dense structure of nonporous products, like potato, offers fewer pathways for the removal of moisture from inner cell layers, reducing the effect of the contact of ultrasound.

Browning: Color and PPO

Browning is the main problem of the color of fresh-cut potatoes during storage, together with the biochemical changes along time that affect the color after frying, as the increase in reducing sugars. According to Cantos et al. [14], the best indicator of browning appearance in fresh-cut potatoes for frying is the L* parameter. Figure 3a–f shows the changes in L*, Hue and Chroma values of fresh-cut and fried samples at the different times of sonication. The use of ultrasound affected the lightness of fresh-cut potato samples immediately after processing ($p < 0.05$), but not the hue (Fig. 3a, b). However, lightness values of samples submitted to 1 min of sonication were reduced ($p < 0.05$) along the storage. Aday et al. [1] reported similar results by studying the effects of ultrasound (30, 60 and 90 W) and time (5 and 10 min) on quality of strawberries. In contrast, Caminiti et al. [13] observed significant reduction in the lightness of apple juice after application of 20 kHz of ultrasound. In this study, at all times of sonication at 40 kHz, we have observed that there was a slight decrease in the Hue angle during the storage.

After frying, the use of ultrasound for 1 and 10 min promoted the reduction in the Hue angle (Fig. 3e), but it was not observed statistical differences in this parameter after the use of ultrasound for 5 min ($p > 0.05$). The main mechanism behind the color formation of fried potatoes is the Maillard reaction, which requires the presence of reducing sugars and amino acids and is highly dependent of temperature [27]. According to Oner and Walker [31], L* values about 60 are acceptable for these products. Lower values indicate a darker and brownish color, which is not desirable for fries. In this study, fried potatoes exceeded this value and no differences were found on the first day of analysis between treatments ($p > 0.05$). Besides that,

Fig. 2 pH of fresh-cut asterix potato strips submitted to 1 min (checked bar), 5 min (dark checked bar), 10 min (stripped bar) in ultrasound or untreated (white bar) and stored at 3 ± 1 °C for 12 days. Values are the average $\pm$ standard deviation ($n=6$)

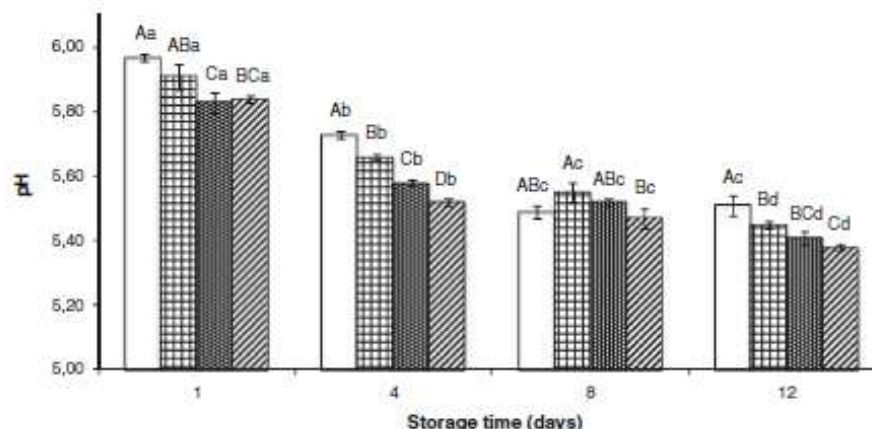


Table 2 Dry matter content ($\text{g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$) of fresh-cut asterix potato before and after frying and submitted to different times of immersion in ultrasound bath and stored at 3 ± 1 °C for 12 days

Treatment	Day of storage			
	1	4	8	12
Fresh-cut potato				
Control	23.97 $\pm$ 3.05 Aa	22.89 $\pm$ 0.55 Ba	23.81 $\pm$ 0.39 Ba	23.77 $\pm$ 0.54 Ba
US 1 min	25.23 $\pm$ 0.81 Aa	24.51 $\pm$ 0.90 Aa	24.52 $\pm$ 0.76 ABa	25.23 $\pm$ 0.32 Aa
US 5 min	23.13 $\pm$ 0.42 Aa	24.08 $\pm$ 0.13 ABa	21.60 $\pm$ 0.57 Cb	23.64 $\pm$ 0.54 Ba
US 10 min	21.35 $\pm$ 0.74 Ac	21.45 $\pm$ 0.22 Cc	25.83 $\pm$ 0.55 Aa	23.95 $\pm$ 0.54 ABb
Fried potato				
Control	47.82 $\pm$ 0.31 Bb	50.56 $\pm$ 0.27 Aa	48.19 $\pm$ 0.11 Ab	47.99 $\pm$ 0.46 Bb
US 1 min	50.31 $\pm$ 0.38 Aa	48.66 $\pm$ 1.03 Aa	44.59 $\pm$ 0.35 Bb	49.07 $\pm$ 0.74 ABa
US 5 min	47.88 $\pm$ 0.22 Ba	43.58 $\pm$ 0.71 Bc	48.83 $\pm$ 0.51 Aa	45.32 $\pm$ 0.84 Cb
US 10 min	46.71 $\pm$ 1.08 Bb	39.49 $\pm$ 1.64 Cc	44.91 $\pm$ 0.95 Bb	50.61 $\pm$ 0.61 Aa

Values are the average of six determinations $\pm$ standard deviation. Values within a column followed by the same capital letter indicate that mean values are not significantly different by Tukey's test ($p < 0.05$) between treatments. Values within the same line followed by the same small letter indicate that mean values are not significantly different by Tukey's test ($p < 0.05$) along time.

samples submitted to 10 min of ultrasound bath showed significant reduction during the storage with final values lower than the other treatments and control ($p < 0.05$) (Fig. 3d).

Chroma parameter indicates the degree of saturation, and it is proportional to the strength of color [6]. In fact, the evaluation of color revealed that samples sonicated for 1 min presented a higher browning incidence during storage. After frying, this trend was maintained for 1-min sonicated samples, which showed the lower values (Fig. 3c, f).

Studies about the association between PPO activity and changes in color differ among authors. According to Severini et al. [36], color measurements could be considered as an indirect index of PPO activity. Cabezas-Serrano et al. [10] also reported a negative correlation between L^* and b^* values and PPO activity. On the other hand, Cantos

et al. [14] observed no correlation between the pattern of PPO activity of minimally processed potatoes and browning susceptibility.

The use of ultrasound alone or in combination with heat and pressure is reported to be effective in enzyme inactivation. In this study, the use of ultrasound for 5 min caused a reduction in the PPO activity in fresh-cut potatoes for the first 4 days of storage (Fig. 4). According to Lagnika, Zhang and Mothibe (2013) [26], cavitation and heat generated by ultrasound can create free radicals that can inactivate enzymes. Additionally, Fonteles et al. [17] stated that the shear force caused by cavitation can alter the conformation of the proteins, although sometimes the enzyme activity may also increase under moderated sonication. Moreover, Baslar and Ertugay [3] noticed that the application of some levels of ultrasound and photsonication applied a 40 °C promoted an increase in PPO activity

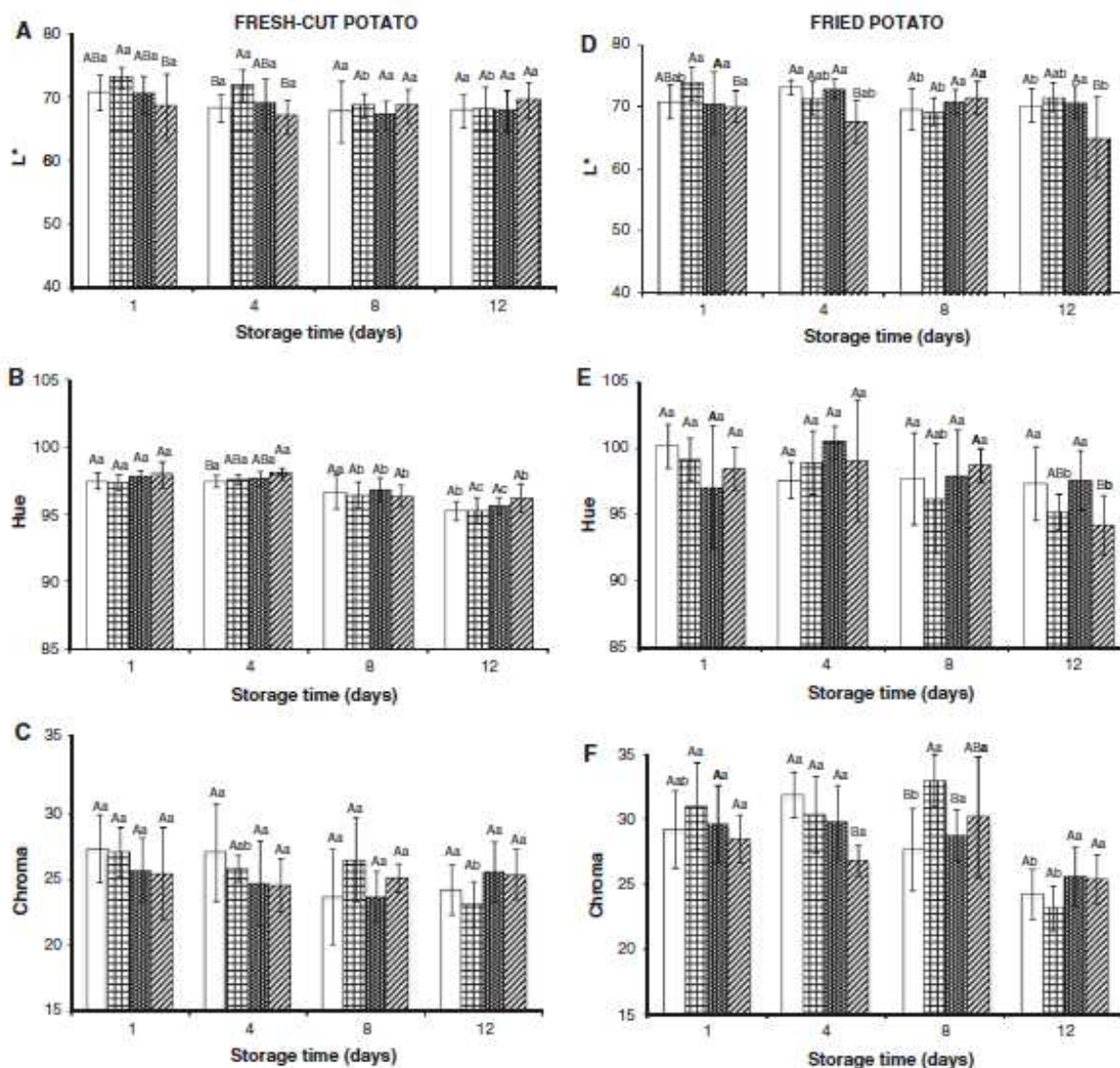


Fig. 3 Color values of fresh-cut and fried asterix potato strips submitted to 1 min (checked bar), 5 min (dark checked bar), 10 min (stripped bar) in ultrasound or untreated (white bar) and stored at 3 ± 1 °C for 12 days. Values are the average $\pm$ standard deviation ($n=10$)

and had negative inactivation. However, in this study, the reduction in PPO activity appears to be reversible, and from the fourth day of storage, the enzyme activity increased again, and at the end of storage, there were no significant differences between this treatment and the others. Despite the reduction obtained, the values of the L^* and Hue of the samples treated by 5 min of ultrasound did not show significant differences with the other samples.

Firmness

It can be observed in Table 3 that the maximum force of samples treated with ultrasound for 1 and 5 min was

different after processing and during all the storage time. Additionally, the contact for 5 min with the ultrasound treatment promoted the lower values of firmness, but no statistical differences were found with control. Although it is reported that storage fosters softening in potatoes, Nourian, Ramaswamy and Kushalappa (2003) [30] stated that lower storage temperatures ($4-8$ °C) delay changes and the excessive softness in these tubers. Moreover, Schössler, Thomas and Knorr (2012) [37] found that ultrasound (24 kHz) affected the water transfer through the complete potato cylinder (1 cm of height) and may be responsible for microstructural effects, like looses on the cell cohesion and the decrease in tissue firmness. It was

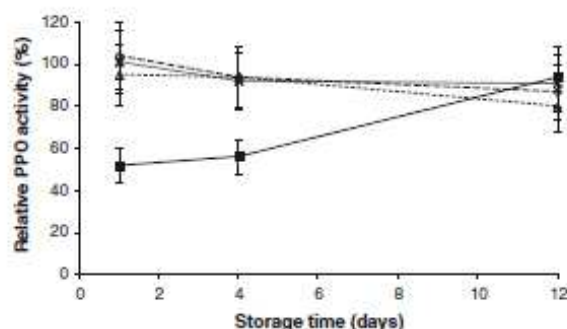


Fig. 4 PPO activity of fresh-cut asterix potato strips submitted to 1 min (triangle), 5 min (filled square), 10 min (times) in ultrasound or untreated (diamond) and stored at 3 ± 1 °C for 12 days. Values are the average $\pm$ standard deviation ($n=5$)

also observed that fried potatoes without treatment (control) and exposed to low times of immersion in ultrasound (1 min) presented an increase in firmness along the storage.

Total Starch Content and Microstructure

Ultrasound causes changes in starch, such as decrease the size and consequent changes in physic-chemical properties, providing the damage and rupture of the granules and distortion of the crystalline region before a reversible hydration of amorphous phase, which results in the destruction of the cellular structure by collapse of bubble that induces high-pressure gradients [8, 15, 22, 34].

In our study, ultrasound affected the total starch content of potatoes in the first day of analysis (Table 4). However, the storage time induced an increase in the total starch content. At 10 min of immersion, the increase obtained

was the highest (12 %). This can be explained by the fact of ultrasound accelerate the depolymerization process of the starch gel [20, 21].

Images of optical microscopy showed differences in the microstructure of potato after immersion in ultrasound bath for 10 min, with disruption of the vacuole and the polygonal cell wall outline (Fig. 5). According to this study, increasing the exposure time to the treatment could have influenced in a higher damage of the cells. Schössler, Thomas and Knorr (2012) [37] have postulated that the effects of the contact of ultrasound on potato cell disruption are limited to a thin layer (<1 mm) and, at deeper tissue layers, structural changes are attributed to the water removal. These authors also affirmed that potato is less sensitive to ultrasound than highly porous products, such as apple. Norwacka et al. [29] studied the utilization of different immersion times (10, 20 and 30 min) of ultrasound (35 kHz) in apples and observed an increase in cell damage with increasing time of exposure to ultrasound. Their study concludes that the longer the treatment, the higher the temperature and destruction of cellular structure.

Conclusions

The pH of all the samples is affected significantly by the storage time; however, the longer the time of sonication, the higher the decrease in pH. The dry matter content was not affected by the ultrasound treatment at the beginning of the experiment. It can be considered that the time of ultrasound influence on the potato microstructure. Nevertheless, there was no effect on the firmness of the potato strips. While 5 min of ultrasound treatment was able to reduce the PPO activity in

Table 3 Firmness (N) of fresh-cut asterix potato strips before and after frying and submitted to different times of immersion in ultrasound bath and stored at 3 ± 1 °C for 12 days

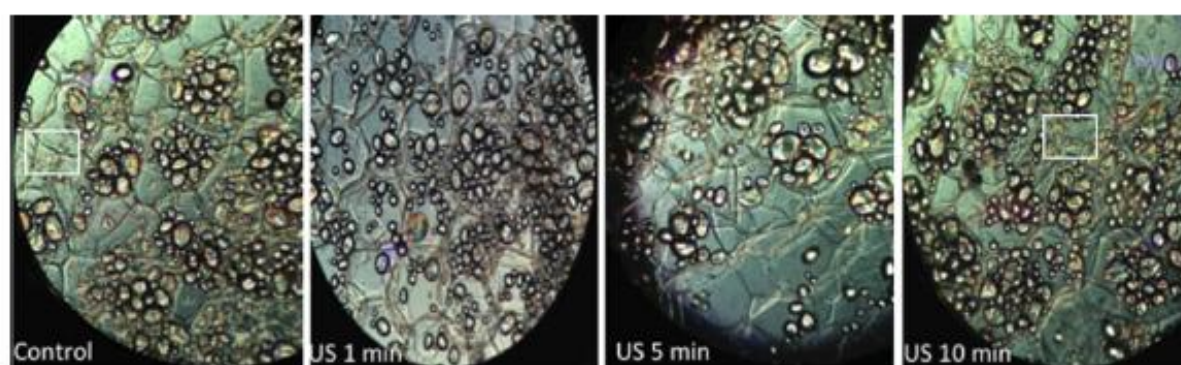
Treatment	Day of storage			
	1	4	8	12
Fresh-cut potato				
Control	8.84 $\pm$ 1.32 ABa	9.18 $\pm$ 1.51 ABa	8.98 $\pm$ 1.66 ABa	10.08 $\pm$ 2.06 ABa
US 1 min	10.26 $\pm$ 2.44 Aa	10.52 $\pm$ 2.22 Aa	10.08 $\pm$ 2.86 Aa	11.02 $\pm$ 2.45 Aa
US 5 min	8.37 $\pm$ 1.26 Ba	8.05 $\pm$ 1.33 Ba	8.29 $\pm$ 0.72 Ba	8.81 $\pm$ 1.67 Ba
US 10 min	9.28 $\pm$ 1.81 ABa	8.57 $\pm$ 1.90 Ba	9.06 $\pm$ 1.29 ABa	9.95 $\pm$ 1.94 ABa
Fried potato				
Control	1.35 $\pm$ 0.44 Ab	1.49 $\pm$ 0.46 Ab	2.43 $\pm$ 0.62 Aa	2.44 $\pm$ 0.47 Aa
US 1 min	1.59 $\pm$ 0.79 Ab	1.54 $\pm$ 0.39 Ab	1.93 $\pm$ 0.51 Aab	2.28 $\pm$ 0.64 Aa
US 5 min	1.57 $\pm$ 0.63 Aab	1.42 $\pm$ 0.45 Ab	2.08 $\pm$ 0.76 Aa	1.92 $\pm$ 0.65 Aab
US 10 min	1.45 $\pm$ 0.31 Ab	1.76 $\pm$ 0.63 Aab	2.32 $\pm$ 0.84 Aa	2.03 $\pm$ 0.81 Aab

Values are the average of twenty determinations $\pm$ standard deviation. Values within a column followed by the same capital letter indicate that mean values are not significantly different by Tukey's test ($p < 0.05$) between treatments. Values within the same line followed by the same small letter indicate that mean values are not significantly different by Tukey's test ($p < 0.05$) along time

Table 4 Total starch (g/100 g⁻¹ LW) of fresh-cut asterix potato strips submitted to different times of immersion in ultrasound bath and stored at 3 ± 1 °C for 12 days

Treatment	Day of storage			
	1	4	8	12
Fresh-cut potato				
Control	68.77 ± 2.98 ABb	80.09 ± 0.62 Aa	77.05 ± 1.05 Aa	74.47 ± 1.46 Ba
US 1 min	64.43 ± 2.52 Bc	74.83 ± 1.43 Aab	76.40 ± 1.80 Aa	70.28 ± 2.03 Cb
US 5 min	72.45 ± 2.73 Aab	72.90 ± 3.54 Aab	69.84 ± 1.66 Bb	78.09 ± 0.14 ABa
US 10 min	72.93 ± 3.05 Ab	73.52 ± 3.32 Ab	78.42 ± 1.67 Aab	81.04 ± 1.33 Aa

Values are the average of six determinations ± standard deviation. Values within a column followed by the same capital letter indicate that mean values are not significantly different by Tukey's test ($p < 0.05$) between treatments. Values within the same line followed by the same small letter indicate that mean values are not significantly different by Tukey's test ($p < 0.05$) along time

**Fig. 5** Optical microcopy images of fresh-cut potatoes strips (200×)

the first 4 days of storage, no effect was noticed in browning because there were no changes on L* and Hue coordinates. Ultrasound may be valid to the fresh-cut industry since the majority of components and sensory attributes are not affected. Furthermore, ultrasound can be considered as an alternative technique to heat treatments and use of additives for treating fresh-cut potatoes.

Acknowledgments This research was supported by FAPESP (São Paulo Research Foundation), Grants 2011/20093-8 and 2012/11520-2.

References

1. Aday MS, Temizkan R, Buykan MB, Caner C (2013) An innovative technique for extending shelf life of strawberry: ultrasound. *LWT Food Sci Technol* 52(2):93–101
2. Awad TS, Moharram HA, Shaltout OE, Asker D, Yousef MM (2012) Applications of ultrasound in analysis, processing and quality control of food: a review. *Food Res Int* 48(2):410–427
3. Baslar M, Ertugay MF (2013) The effect of ultrasound and photosonation treatment on polyphenoloxidase (PPO) activity, total phenolic component and colour of apple juice. *Int J Food Sci Tech* 48(4):886–892
4. Beltrán D, Selma MV, Tudela JA, Gil MI (2005) Effect of different sanitizers on microbial and sensory quality of fresh-cut potato strips stored under modified atmosphere or vacuum packaging. *Postharvest Biol Technol* 37(1):37–46
5. Bermúdez-Aguirre D, Barbosa-Cánovas GV (2012) Inactivation of *saccharomyces cerevisiae* in pineapple, grape and cranberry juices under pulsed and continuous thermo-sonication treatments. *J Food Eng* 108(3):383–392
6. Bico SLS, Raposo MFJ, Morais RSMC, Morais AMMB (2009) Combined effects of chemical dip and/or carrageenan coating and/or controlled atmosphere on quality of fresh-cut banana. *Food Control* 20(5):508–514
7. Bilek SE, Turantas F (2013) Decontamination efficiency of high power ultrasound in the fruit and vegetable industry, a review. *Int J Food Microbiol* 166:155–162
8. Blaszcak JF, Kiseleva VI, Yuryev VP, Sergeev AI, Sadowska J (2007) Effect of high pressure on thermal, structural and osmotic properties of waxy maize and hylon VII starch blends. *Carbohydr Polym* 68(3):387–396
9. Bougrier C, Albasi C, Delgenès JP, Carrière H (2006) Effect of ultrasonic, thermal and ozone pre-treatments on waste activated sludge solubilisation and anaerobic biodegradability. *Chem Eng Process* 45(8):711–718
10. Cabezas-Serrano AB, Amodio ML, Cornacchia R, Rinaldi R, Colelli G (2009) Suitability of five different potato cultivars (*Solanum tuberosum* L.) to be processed as fresh-cut products. *Postharvest Biol Technol* 53(3):138–144
11. Calder BL, Kash EA, Davis-Dentici K, Bushway AA (2011) Comparison of sodium acid sulfate to citric acid to inhibit browning of fresh-cut potatoes. *J Food Sci* 76(03):S164–S169

12. Cameron M, McMaster LD, Britz TJ (2009) Impact of ultrasound on dairy spoilage microbes and milk components. *Dairy Sci Technol* 89:83–98
13. Caminiti IM, Noci F, Muñoz A, Whyte P, Morgan DJ, Cronin DA, Lyng J (2011) Impact of selected combinations of non-thermal processing technologies on the quality of an apple and cranberry juice blend. *Food Chem* 124(4):1387–1392
14. Cantos E, Tudela JA, Gil MI, Espín JC (2002) Phenolic compounds and related enzymes are not rate-limiting in browning development of fresh-cut potatoes. *J Agric Food Chem* 50(10):3015–3023
15. Chandrapala J, Oliver C, Kentish S, Ashokkumar M (2012) Ultrasonics in food processing. *Ultrason Sonochem* 19(5):975–983
16. Ercan SS, Soysal C (2011) Effect of ultrasound and temperature on tomato peroxidase. *Ultrason Sonochem* 18(2):686–695
17. Fonteles TV, Costa MGM, Jesus ALT, Miranda MRA, Fernandes FAN, Rodrigues S (2012) Power ultrasound processing of cantaloupe melon juice: effects on quality parameters. *Food Res Int* 48(1):41–48
18. Golmohammadi A, Möller G, Powers J, Nindo C (2013) Effect of ultrasound frequency on antioxidant activity, total phenolic and anthocyanin content of red raspberry puree. *Ultrason Sonochem* 20(5):1316–1323
19. Huang TS, Xu Ch, Walker K, West P, Zhang S, Weese J (2006) Decontamination efficacy of combined chlorine dioxide with ultrasonication on apples and lettuce. *J Food Sci* 71(4):134–139
20. Iida Y, Tuziuti T, Yasui K, Towata A, Kozuka T (2008) Control of viscosity in starch and polysaccharide solutions with ultrasound after gelatinization. *Innov Food Sci Emerg* 9(2):140–146
21. Jackson DS, Waniska RD, Rooney LW (1989) Differential water solubility of corn and sorghum starches as characterized by high-performance size-exclusion chromatography. *Cereal Chem* 66(3):228–232
22. Jambrak AR, Hecceg Z, Subaric D, Babic J, Brncic M, Brncic SR, Bosiljkov T, Cvek D, Tripalo B, Gelo J (2010) Ultrasound effect on physical properties of corn starch. *Carbohydr Polym* 79(1):91–100
23. Jambrak AR, Lelas V, Mason TJ, Kresic G, Bandajak M (2009) Physical properties of ultrasound treated soy proteins. *J Food Eng* 93(4):386–393
24. Jang JH, Moon KD (2011) Inhibition of polyphenoloxidase and peroxidase activities on fresh-cut apple by simultaneous treatment of ultrasound and ascorbic acid. *Food Chem* 124:444–449
25. Knorr D, Froehling A, Jaeger H, Reineke K, Schlüter O, Schoessler K (2011) Emerging technologies in food processing. *Annu Rev Food Sci Technol* 2:208–235
26. Lagnika C, Zhang M, Modhe KJ (2013) Effects of ultrasound and high pressure argon on physico-chemical properties of white mushrooms (*Agaricus bisporus*) during postharvest storage. *Postharvest Biol Technol* 82:87–94
27. Lee M, Park I (2005) Inhibition of potato polyphenol oxidase by Maillard reaction products. *Food Chem* 91(1):57–61
28. Mason TJ, Riera E, Vereet A, Lopez-Buesa P (2005) Application of ultrasound. In: Sun DW (ed) *Emerging Technologies for Food Processing*. Springer, Amsterdam
29. Norwacka M, Wiktor A, Sledz M, Jurek N, Witrowa-Rajchert D (2012) Drying of ultrasound pretreated apple and its selected physical properties. *J Food Eng* 113(3):427–433
30. Nourian F, Ramaswamy HS, Kusalappa AC (2003) Kinetics of quality change associated with potatoes stored at different temperatures. *LWT Food Sci Technol* 36(01):49–65
31. Oner ME, Walker PN (2011) Effect of processing and packaging conditions on quality of refrigerated potato strips. *J Food Sci* 76(01):S35–S40
32. Pardo JE, Alvaruiz A, Pérez JJ, Gómez R, Varón R (2000) Physical-chemical and sensory quality evaluation of potato varieties (*Solanum Tuberosum* L.). *J Food Quality* 23(2):149–160
33. Riener J, Noci F, Cronin DA, Morgan DJ, Lyng JG (2010) A comparison of selected quality characteristics of yoghurts prepared from thermosonicated and conventionally heated milks. *Food Chem* 119(3):1108–1113
34. Rubens P, Heremans K (2000) Pressure-temperature gelatinization phase diagram of starch: an in situ fourier transforms infrared study. *Biopolymers* 54(7):524–530
35. Sao Jose JFB, de Andrade NJ, Ramos AM, Vanetti MCD, Stringheta PC, Chaves JBP (2014) Decontamination by ultrasound application in fresh fruits and vegetables. *Food Control* 45:36–50
36. Severini C, Baiano A, De Pili T, Romaniello R, Derossi A (2003) Prevention of enzymatic browning in sliced potatoes by blanching in boiling saline solutions. *LWT Food Sci Technol* 36(07):657–665
37. Schössler K, Thomas T, Knorr D (2012) Modification of cell structure and mass transfer in potato tissue by contact ultrasound. *Food Res Int* 49(1):425–431
38. Soliva-Fortuny RC, Biosca-Biosca M, Grigelmo-Miguel N, Martín-Belloso O (2002) Browning, polyphenol oxidase activity and headspace gas composition during storage of minimally processed pears using modified atmosphere packaging. *J Sci Food Agric* 82(13):1490–1496
39. Tajner-Czopek A, Rykiel E, Kita A, Peksa A, Hamouz K (2012) The influence of thermal process of coloured potatoes on the content of glycoalkaloids in the potato products. *Food Chem* 133(4):1117–1122
40. Tiwari BK, Muthukumarappan K, O'Donnell CP, Cullen PJ (2008) Colour degradation and quality parameters of sonicated orange juice using response surface methodology. *LWT Food Sci Technol* 41(10):1876–1883
41. Vereet A, Sánchez C, Burgos J, Montañés L, Lopez-Buesa P (2002) The effects of manothermosonication on tomato pectic enzymes and tomato paste rheological properties. *J Food Eng* 53(3):273–278
42. Zhou B, Feng H, Pearlstein AJ (2012) Continuous-flow ultrasonic washing system for fresh produce surface decontamination. *Innov Food Sci Emerg Technol* 16:427–435

CAPÍTULO 6. Efeito da combinação de tratamentos antiescurecimento na qualidade de batatas minimamente processadas e após a fritura

Introdução

Batatas minimamente processadas são suscetíveis a reações enzimáticas que podem levar ao escurecimento dos tecidos em poucos minutos. O escurecimento enzimático além de indesejável é responsável por qualidades sensoriais desagradáveis e por perdas do valor nutricional e econômico dos alimentos. Além disso, em virtude da cor ser um importante atributo levado em conta no momento da aquisição de produtos minimamente processados, este escurecimento acaba tornando-os menos atrativos (ERAT, SAKIROGLU e KUFREVIOGLU 2006; GARCIA e BARRET, 2002).

Em relação ao produto frito, a firmeza é um atributo muito avaliado na hora do seu consumo e suas alterações são devidas à quantidade de amido nas células, o tamanho dos grânulos e a estrutura da parede celular (Van MARLE *et al.*, 1997; PARKER, NEWSOM e MILLER, 1995; RIDLEY e HOGAN, 1976; BARRIOS, NEWSOM e MILLER, 1963). O aquecimento de produtos a base de amido promove a absorção de água celular por parte dos grânulos e inchamento, além da perda da integridade da membrana celular, resultando em perda de turgescência e livre difusão do conteúdo celular através do tecido (THYGESEN, THYBO e ENGELSEN, 2001).

Tratamentos que reduzem o pH do produto vegetal, como o ácido cítrico, podem ser efetivos na redução do escurecimento por reduzir a atividade da polifenoloxidase, enzima responsável por esse processo. Este tratamento, além de promover a redução do pH, tem ação quelante e age no sítio ativo da enzima (LIMBO e PERGIOVANI, 2007; ROCULLI *et al.*, 2007). Além de tratamentos químicos, outros tratamentos físicos, como o branqueamento e o ultrassom podem ser aplicados na prevenção das reações de escurecimento e no favorecimento do aumento do período de armazenamento de produtos minimamente processados.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da combinação de um tratamento químico (ácido cítrico) e tratamentos físicos (branqueamento e ultrassom) na qualidade de batatas minimamente processadas durante o armazenamento refrigerado e após a fritura.

Material e métodos

Preparo da batata

Batatas (*Solanum tuberosum* L.) da cultivar “Asterix” foram adquiridas do Mercado de Abastecimientos de Barcelona SA (Mercabarna), selecionadas, lavadas em água potável para remoção da sujeira superficial, secas e armazenadas à temperatura ambiente e na ausência de luz até o momento do processamento. Não foi utilizado nenhum tratamento químico na lavagem das batatas a fim de verificar a eficácia antiescurecimento de cada tratamento.

Processamento geral

Os tubérculos livres de defeitos passaram por lavagem em água potável, descascamento manual, descartando as extremidades e corte em tiras retangulares (10 x 10 mm) com o auxílio de cortador manual de hortaliças. Essas tiras foram mantidas em água potável resfriada (10 °C) até o momento da aplicação dos tratamentos, e após esse processo foram centrifugadas em centrífuga manual para retirada do excesso de líquido. Em todos os experimentos o tratamento controle consistia na batata minimamente processada embalada sem nenhum tipo de tratamento. Amostras de 100 ± 5 g foram inseridas em bolsas de polietileno de alta densidade de 0,16 μ m e seladas à vácuo (-0,98 bar). Este filme foi escolhido por ser o filme mais comumente utilizado na indústria de processamento mínimo de batata e este sistema de modificação da atmosfera por ser o melhor método para preservar a qualidade sensorial deste produto armazenado sob refrigeração (BELTRAN *et al.*, 2005). As batatas minimamente processadas foram armazenadas sob refrigeração (3 ± 1 °C) por 12 dias. Oito bolsas de cada tratamento foram utilizadas por dia de análise. O fluxograma está mostrado na figura 1.

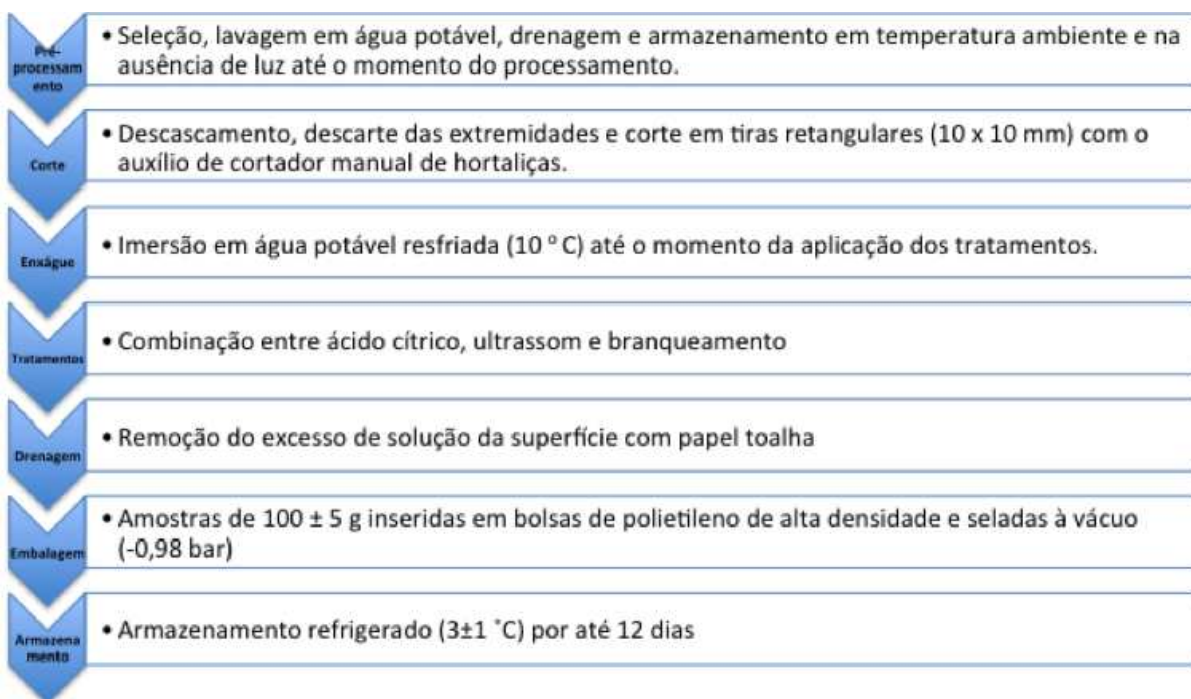


Figura 1. Fluxograma de processamento da batata.

Os tratamentos aplicados foram selecionados a partir dos melhores resultados de ensaios preliminares descritos nos capítulos anteriores e estão descritos a seguir:

- Ácido cítrico (2 %) + banho de ultrassom (42 kHz, 5 minutos);
- Ácido cítrico (2 %) + branqueamento (85 °C por 3 minutos);
- Branqueamento (85 °C por 3 minutos) + banho de ultrassom (42 kHz, 5 minutos).

A proporção batata:água para todos os tratamentos foi de 1:4 (w/w).

Fritura

O conteúdo de duas bolsas (200 g) foi imerso em 4 L de óleo de girassol com temperatura de 180 ±10 °C por 6 minutos. Após a fritura, as tiras foram removidas do óleo, drenadas por 1 minuto na cesta de fios onde foram fritas, e secas ao ar por 5 minutos em papel toalha (ALVAREZ, MORILLO e CANET, 2000).

Potencial hidrogeniônico (pH) - Realizadas com amostras destrutivas, segundo procedimento descrito por AOAC (2005);

Cor - Determinada nas fatias antes e depois da fritura, com colorímetro Hunter Lab., escala CIELab (L^* , a^* , b^*). A aquisição dos dados foi feita por software Universal (versão 4.10). Foram feitas 20 medições e as mudanças na coloração da batata processada foram expressas em L^* , croma ($croma = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$) e Hue ($H^* = \tan^{-1} (a^*/b^*)$);

Matéria seca – Amostras frescas e fritas com peso de 5g foram secas a 65 °C por 24 horas (AOAC, 2005). O teor de matéria seca foi calculado pela diferença entre o peso inicial e o final de cada amostra com três repetições e os resultados expressos em porcentagem;

Firmeza – As medições foram feitas em analisador de textura (TA.XT Plus, Stable Micro Systems Co. Ltd., UK) equipado com célula de carga de 30 kg, probe cilíndrico de aço inoxidável com 2 mm de diâmetro e base plana. A força máxima de penetração, expressa em Newton (N) foi definida como a média de resultados para que o probe penetre 7 mm da amostra crua e 5 mm da amostra frita de quinze tiras de batata a uma velocidade 1 mm.s⁻¹;

Amido - A determinação do teor de amido foi feita em triplicata com 100 ± 0,1 mg de amostra liofilizada, de acordo com o procedimento padrão descrito por MegazymeAssay Kit (K-TSTA, Megazyme International Ireland Ltd., Bray, Co. Wicklow, Ireland), AOAC 996.11 e AACC 76.13. Os valores foram expressos como g 100 g⁻¹ de peso liofilizado;

Atividade de polifenoloxidase (PPO) - Foi utilizado uma amostra liofilizada de 3 g homogeneizada em 18 mL de solução-tampão McIlvane, pH 6,5. Esta solução continha 1M de cloreto de sódio (NaCl) e 5% de polivinilpirolidona (PVP). O homogenato foi centrifugado a 12000xg por 15 minutos a 4 °C. O sobrenadante foi filtrado e em papel Whatman n°1 e usado para determinação da atividade da PPO com leitura da absorbância a 410 nm a cada 5 segundos por um período de 3 minutos. A mistura para a reação continha 1,5 mL de extrato, 1 mL de solução-tampão e 0,5 mL de 0,1M de 4-metilcatecol. Os resultados da média de quatro repetições foram expressos em unidade de atividade enzimática por grama de amostra. Uma unidade de atividade enzimática foi definida como a quantidade de enzima que causa uma mudança de 0,01 na absorbância, dentro da região linear da curva (CABEZAS-SERRANO *et al.*, 2009, SOLIVA-FORTUNY *et al.*, 2002; KAHN, 1977).

Microscopia óptica – Foi feita a observação de uma secção fina retirada sobre a crosta da batata congelada através de microscópio óptico, com aumento de 20x. As análises foram realizadas no primeiro e último dias de armazenamento.

Análise estatística dos resultados

Os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) usando Minitab (v.16, MINITAB Inc, State College, PA) para comparar o efeito estatístico entre tratamentos e o efeito do armazenamento no tratamento a 95% de significância. As diferenças entre amostras foram determinadas usando teste de Tukey.

Resultados e discussão

pH

Analizando a Tabela 1, pode-se observar que a associação do uso de branqueamento e ultrassom provocou aumento no pH das batatas minimamente processadas, com valores superiores ao controle durante todo o período de análise. Já o uso de ácido cítrico, como esperado, promoveu redução do pH, com maior mudança observada após a combinação deste ácido com o branqueamento. Calder *et al.* (2011) observaram comportamento semelhante de batatas tratadas com 1% de ácido cítrico, com redução de 1,77 a 1,19 unidades de pH após a aplicação deste ácido.

Entretanto, a combinação deste ácido com ultrassom causou uma redução menos pronunciada no pH das amostras. Já o uso de branqueamento parece promover a manutenção do pH da batata minimamente processada durante o armazenamento.

Tabela 1. pH de batata “Asterix” minimamente processada submetida a diferentes tratamentos antiescurecimento e armazenada a 3±1 °C for 12 dias^a.

Tratamento	Período de armazenamento (dias)			
	1	4	8	12
Controle	5,60 ± 0,01 Ba	5,37 ± 0,01 Bb	5,29 ± 0,01 Bc	5,39 ± 0,02 Bb
B + C	4,61 ± 0,04 Da	4,59 ± 0,05 Da	4,61 ± 0,02 Da	4,58 ± 0,03 Da
B + US	5,90 ± 0,04 Aa	5,84 ± 0,03 Aa	5,86 ± 0,01 Aa	5,80 ± 0,09 Aa
US + C	5,09 ± 0,04 Ca	4,91 ± 0,01 Cb	4,93 ± 0,01 Cb	4,94 ± 0,01 Cb

a – Média de valores de três determinações ± desvio-padrão. B+C = branqueamento + ácido cítrico, B+US = branqueamento + ultrassom, US+C = ultrassom + ácido cítrico. Letras maiúsculas diferentes na mesma coluna indicam diferenças significativas entre tratamentos para o mesmo dia de análise. Letras minúsculas diferentes na mesma linha indicam diferenças significativas entre dias de armazenamento para o mesmo tratamento (p < 0,05).

Cor

A luminosidade, junto com o chroma ou Hue podem ser indicadores de escurecimento, e varia de 0 (preto) a 100 (branco). Então, a diminuição do L* pode estar relacionada ao escurecimento do produto. Neste estudo, as amostras sem nenhum tratamento antiescurecimento mostraram sinais de escurecimento logo no primeiro dia de armazenameto (Tabela 2). Foi observado também que a associação de ácido cítrico e ultrassom promoveu aumento da luminosidade das amostras de batata. Para as demais amostras não foi notada alteração neste parâmetro um dia apos a aplicação dos tratamentos, em relação ao controle.

Tabela 2. Cor de batata “Asterix” minimamente processada submetida a diferentes tratamentos antiescurecimento e armazenada a 3±1 °C for 12 dias^a.

Tratamento		Período de armazenamento (dias)			
		1	4	8	12
L*	Controle	67,18 ± 4,02 Ba	67,22 ± 2,57 Ba	69,05 ± 2,97 Aa	65,11 ± 4,32 Ca
	B + C	69,87 ± 2,04 ABb	72,16 ± 1,68 Aa	68,83 ± 1,66 Ab	73,18 ± 1,53 Aa
	B + US	69,02 ± 2,48 ABa	69,59 ± 2,23 ABa	69,96 ± 1,83 Aa	68,00 ± 2,93 BCa
	US+ C	71,18 ± 1,62 Aa	68,11 ± 3,30 Bab	63,44 ± 6,18 Bb	70,23 ± 3,85 ABa
Hue	Controle	98,13 ± 0,64 Ba	97,22 ± 0,76 Bab	96,73 ± 1,08 Cb	94,63 ± 1,28 Dc
	B + C	113,05 ± 4,46 Ab	116,30 ± 3,02 Aab	118,86 ± 6,10 Aa	116,93 ± 3,56 Aab
	B + US	112,49 ± 3,10 Aa	113,89 ± 2,57 Aa	113,77 ± 1,72 Ba	111,82 ± 3,22 Ba
	US+ C	98,86 ± 0,88 Ba	98,24 ± 0,75 Ba	98,09 ± 0,88 Ca	98,24 ± 0,64 Ca

a – Média de valores de dez determinações ± desvio-padrão. B+C = branqueamento + ácido cítrico, B+US = branqueamento + ultrassom, US+C = ultrassom + ácido cítrico. Letras maiúsculas diferentes na mesma coluna indicam diferenças significativas entre tratamentos para o mesmo dia de análise. Letras minúsculas diferentes na mesma linha indicam diferenças significativas entre dias de armazenamento para o mesmo tratamento (p < 0,05).

Observou-se aumento do ângulo Hue um dia após o tratamento das tiras de batata com branqueamento, com manutenção desse comportamento durante todo o período de análise. A amostra controle apresentou diminuição nesse ângulo no decorrer do armazenamento, indicando perda da cor amarela, característica da batata.

A cor das batatas fritas é considerada um dos parâmetros mais importantes na definição da qualidade e aceitação destes produtos e é resultado da reação de Maillard, uma reação não enzimática dependente da quantidade de açúcares redutores do tubérculo, da temperatura e tempo de fritura (MARQUEZ e ANON, 1986). Analisando a Tabela 3 e fazendo uma comparação com as amostras antes da fritura, observa-se que este processo afetou de maneira mais pronunciada o Hue que a luminosidade. Além disso, as amostras branqueadas que apresentavam ângulo Hue superior às demais antes da fritura, apresentaram visível escurecimento do produto ao longo do armazenamento ($p > 0,05$).

Tabela 3. Cor após fritura de batata “Asterix” submetida a diferentes tratamentos antiescurecimento e armazenada a 3 ± 1 °C por 12 dias^a.

Tratamento		Período de armazenamento (dias)			
		1	4	8	12
L*	Controle	64,17 ± 4,90 Aa	62,04 ± 6,43 Aa	58,15 ± 7,49 Aa	59,25 ± 6,13 Ca
	B + C	61,02 ± 6,01 ABa	58,92 ± 4,18 Aab	55,01 ± 4,22 Aab	54,09 ± 6,53 Ab
	B + US	61,55 ± 4,30 ABa	59,33 ± 4,73 Aab	55,91 ± 3,43 Ab	55,69 ± 2,74 BCb
	US+ C	54,43 ± 1,70 Ba	61,44 ± 3,13 Aa	57,39 ± 5,01 Aa	59,25 ± 8,10 ABa
Hue	Controle	82,61 ± 5,95 Aa	84,01 ± 4,03 Aa	78,84 ± 6,04 Aa	77,47 ± 5,90 ABa
	B + C	81,32 ± 5,27 ABa	77,23 ± 2,86 Cab	74,78 ± 2,71 ABb	75,36 ± 4,84 ABb
	B + US	79,20 ± 3,52 ABa	78,79 ± 3,54 BCa	73,90 ± 2,84 Bb	73,22 ± 2,15 Bb
	US+ C	76,49 ± 3,33 Bb	81,97 ± 4,62 ABa	78,61 ± 2,98 Aab	79,75 ± 6,00 Aab

a – Média de valores de dez determinações ± desvio-padrão. B+C = branqueamento + ácido cítrico, B+US = branqueamento + ultrassom, US+C = ultrassom + ácido cítrico. Letras maiúsculas diferentes na mesma coluna indicam diferenças significativas entre tratamentos para o mesmo dia de análise. Letras minúsculas diferentes na mesma linha indicam diferenças significativas entre dias de armazenamento para o mesmo tratamento ($p < 0,05$).

Atividade de polifenoloxidase

Como observado em estudos anteriores (AMARAL et al. 2014) o uso de ultrassom é efetivo na inibição da atividade da PPO nos primeiros dias de análise (Fig 2). Entretanto, houve

um aumento na atividade da enzima da batata sem nenhum tratamento durante o armazenamento. Para alguns tempos de exposição, o ultrassom poderia causar ruptura celular do produto e liberação do enzima para o meio, aumentando a atividade enzimática (FONTELES *et al.*, 2012; FERNANDES, GALLAO & RODRIGUES, 2009).

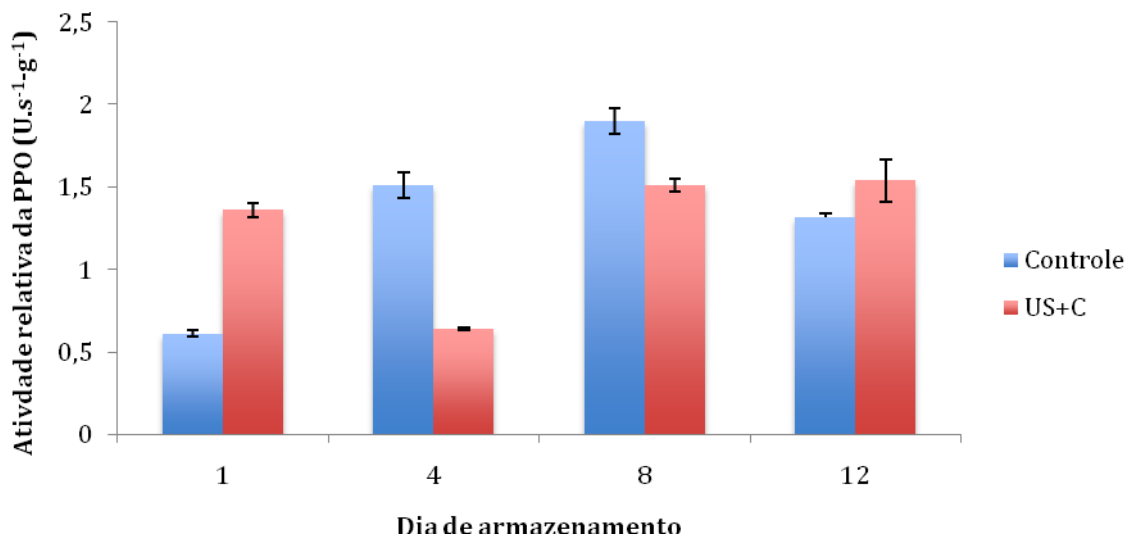


Figura 2. Atividade relativa da polifenoloxidase de batatas minimamente processadas e submetidas a combinação de ultrassom e ácido cítrico.

Matéria seca

A aplicação dos tratamentos afetou o teor de matéria seca das amostras de batata (Tabela 4). O maior aumento relativo foi observado após o uso de ácido cítrico. Entretanto, comportamento inverso foi observado com o decorrer do armazenamento e ao final do período as amostras submetidas a esse tratamento apresentaram o menor teor de matéria seca (diminuição relativa).

Tabela 4. Teor de matéria seca de batata “Asterix” minimamente processada submetida a diferentes tratamentos antiescurecimento e armazenada a 3 ± 1 °C por 12 dias^a.

Tratamento	Período de armazenamento (dias)			
	1	4	8	12
Amostra fresca				
Controle	19,76 $\pm$ 0,33 Cc	20,45 $\pm$ 0,64 Cc	21,62 $\pm$ 0,14 Cb	22,99 $\pm$ 0,28 Ba
B + C	24,36 $\pm$ 0,09 Aa	23,73 $\pm$ 0,14 Ab	22,21 $\pm$ 0,07 Bd	22,72 $\pm$ 0,12 Bc
B + US	22,87 $\pm$ 0,16 Bb	23,15 $\pm$ 0,18 ABb	23,06 $\pm$ 0,16 Ab	26,62 $\pm$ 0,17 Aa
US + C	23,79 $\pm$ 0,47 Aa	22,41 $\pm$ 0,04 Bb	20,67 $\pm$ 0,20 Dc	21,30 $\pm$ 0,80 Cbc
Amostra frita				
Controle	43,22 $\pm$ 0,29 Cc	44,55 $\pm$ 0,21 Cb	48,65 $\pm$ 0,33 Ba	48,28 $\pm$ 0,30 Ba
B + C	44,65 $\pm$ 1,06 Cb	45,31 $\pm$ 0,72 BCb	45,20 $\pm$ 0,56 Cb	48,71 $\pm$ 0,43 Ba
B + US	46,74 $\pm$ 0,46 Bb	46,01 $\pm$ 0,30 Bb	53,93 $\pm$ 0,36 Aa	53,98 $\pm$ 0,57 Aa
US + C	51,51 $\pm$ 0,36 Aa	48,74 $\pm$ 0,56 Ab	44,92 $\pm$ 0,60 Cc	44,45 $\pm$ 0,20 Cc

a – Média de valores de três determinações $\pm$ desvio-padrão. B+C = branqueamento + ácido cítrico, B+US = branqueamento + ultrassom, US+C = ultrassom + ácido cítrico. Letras maiúsculas diferentes na mesma coluna indicam diferenças significativas entre tratamentos para o mesmo dia de análise. Letras minúsculas diferentes na mesma linha indicam diferenças significativas entre dias de armazenamento para o mesmo tratamento ($p < 0,05$).

A mesma tendência de aumento do teor de matéria seca foi observada nas amostras após a fritura, embora após esse processo as amostras tratadas com branqueamento e ácido cítrico foram as que apresentaram um maior aumento relativo deste parâmetro, com valores semelhantes ao controle. Exceto para as batatas fritas anteriormente submetidas a tratamento com ultrassom e ácido cítrico, todas as amostras apresentaram aumento relativo do teor de matéria seca durante o armazenamento.

Firmeza

Os valores de firmeza das batatas Asterix sem tratamento (controle) variaram de 7,53 a 8,21 N (Tabela 5). Estes valores estão próximos dos encontrados por Fernandes *et al.* (2010) e Feltran, Lemos & Vieites (2004) que foram de 9,31 e 8,15, respectivamente.

A força máxima da batata foi afetada pelo branqueamento. Inversamente ao observado para as amostras tratadas com a combinação ultrassom/ácido cítrico, notou-se redução deste atributo após o uso deste tratamento. Em contrapartida, não houve diferença estatística na firmeza das batatas durante o armazenamento. Ao final do período, amostras branqueadas seguiram a tendência de menor força máxima em relação aos demais tratamentos. De acordo

com Singh, Kaur e Rao (2009) as mudanças que ocorrem na textura das batatas após tratamentos térmicos, como o branqueamento, estão associadas à gelatinização e retrodegradação do amido.

Tabela 5. Firmeza (N) de batata “Asterix” minimamente processada submetida a diferentes tratamentos antiescurecimento e armazenada a 3 ± 1 °C por 12 dias^a.

Tratamento	Período de armazenamento (dias)			
	1	4	8	12
Controle	7,53 $\pm$ 0,74 Ba	7,59 $\pm$ 0,66 Aa	8,21 $\pm$ 0,83 Aa	7,95 $\pm$ 0,87 Aa
B + C	6,28 $\pm$ 0,86 Ca	6,71 $\pm$ 0,70 Ba	6,83 $\pm$ 0,71 Ca	6,40 $\pm$ 0,72 Ba
B + US	6,52 $\pm$ 1,19 BCa	6,50 $\pm$ 0,95 Ba	7,28 $\pm$ 1,03 BCa	6,83 $\pm$ 0,85 Ba
US + C	8,57 $\pm$ 1,26 Aa	7,94 $\pm$ 0,72 Aa	7,90 $\pm$ 0,72 ABa	7,87 $\pm$ 0,83 Aa

a – Média de valores de quinze determinações $\pm$ desvio-padrão. B+C = branqueamento + ácido cítrico, B+US = branqueamento + ultrassom, US+C = ultrassom + ácido cítrico. Letras maiúsculas diferentes na mesma coluna indicam diferenças significativas entre tratamentos para o mesmo dia de análise. Letras minúsculas diferentes na mesma linha indicam diferenças significativas entre dias de armazenamento para o mesmo tratamento ($p < 0,05$).

Após a fritura observou-se a influência da aplicação de ácido cítrico, que mesmo com o uso de branqueamento que provoca redução nesse parâmetro antes da fritura, se mostrou com maior força máxima, com tendência mantida durante todo o período de armazenamento (Tabela 6). Assim como nas amostras frescas, não houve variação significativa na força máxima das batatas durante o período de análise.

Segundo Calder *et al.* (2011), a difusão do ácido cítrico pode solubilizar e redistribuir o cálcio e magnésio no tecido da batata, que poderia certamente conduzir a uma maior reticulação das pectinas da parede celular e aumentar a firmeza deste vegetal.

Tabela 6. Firmeza (N) após a fritura de batata “Asterix” minimamente processada submetida a diferentes tratamentos antiescurecimento e armazenada a 3 ± 1 °C por 12 dias^a.

Tratamento	Período de armazenamento (dias)			
	1	4	8	12
Controle	1,47 $\pm$ 0,46 Ba	1,54 $\pm$ 0,67 Ca	2,00 $\pm$ 0,93 Ba	1,64 $\pm$ 0,63 Ca
B + C	4,92 $\pm$ 1,37 Aab	3,70 $\pm$ 1,35 Ab	4,07 $\pm$ 1,37 Ca	5,26 $\pm$ 1,78 Aa
B + US	1,52 $\pm$ 0,54 Bb	3,25 $\pm$ 2,17 ABa	2,52 $\pm$ 1,45 Bab	1,45 $\pm$ 0,69 Cb
US + C	2,26 $\pm$ 0,80 Ba	2,13 $\pm$ 0,61 BCa	2,61 $\pm$ 1,01 Ba	2,75 $\pm$ 0,96 Ba

a – Média de valores de quinze determinações $\pm$ desvio-padrão. B+C = branqueamento + ácido cítrico, B+US = branqueamento + ultrassom, US+C = ultrassom + ácido cítrico. Letras maiúsculas diferentes na mesma coluna indicam diferenças significativas entre tratamentos para o mesmo dia de análise. Letras minúsculas diferentes na mesma linha indicam diferenças significativas entre dias de armazenamento para o mesmo tratamento ($p < 0,05$).

Amido

Analisando a tabela 7, embora fosse esperado que o branqueamento afetasse o teor de amido por perdas de amido solúvel, observa-se que a aplicação dos tratamentos não influenciou este parâmetro. Este comportamento pode ser atribuído ao fato de que as batatas depois do corte ficaram submersas em água até o momento da aplicação dos tratamentos ou do acondicionamento (controle). Igualmente, não foram observadas diferenças significativas no conteúdo de amido das amostras durante o armazenamento.

Tabela 7. Teor de amido de batata “Asterix” minimamente processada submetida a diferentes tratamentos antiescurecimento e armazenada a 3 ± 1 °C por 12 dias^a.

Tratamento	Período de armazenamento (dias)			
	1	4	8	12
Controle	78,06 $\pm$ 4,33 Aab	81,81 $\pm$ 5,59 Aa	69,40 $\pm$ 1,02 Ab	72,02 $\pm$ 1,93 Ab
B + C	79,61 $\pm$ 1,28 Aa	78,50 $\pm$ 2,89 ABa	74,10 $\pm$ 4,29 Aa	77,98 $\pm$ 6,55 Aa
B + US	77,88 $\pm$ 4,76 Aa	79,07 $\pm$ 2,15 Aa	75,73 $\pm$ 8,53 Aa	76,48 $\pm$ 1,85 Aa
US + C	73,33 $\pm$ 1,83 Aa	69,43 $\pm$ 3,96 Ba	73,17 $\pm$ 2,08 Aa	72,29 $\pm$ 1,21 Aa

a – Média de valores de três determinações $\pm$ desvio-padrão. B+C = branqueamento + ácido cítrico, B+US = branqueamento + ultrassom, US+C = ultrassom + ácido cítrico. Letras maiúsculas diferentes na mesma coluna indicam diferenças significativas entre tratamentos para o mesmo dia de análise. Letras minúsculas diferentes na mesma linha indicam diferenças significativas entre dias de armazenamento para o mesmo tratamento ($p < 0,05$).

Microscopia

A microestrutura da batata foi analisada qualitativamente, visando verificar o efeito dos diferentes tratamentos antiescurecimento. Ao analisar as fotos da microscopia, pode-se observar claramente o efeito do branqueamento na estrutura celular da batata (Figura 3). Segundo Hoover (2001) quando moléculas de amido são aquecidas em excesso de água, sua estrutura cristalina é rompida e as moléculas de água se ligam aos grupos hidroxila expostos da amilose e amilopectina por pontes de hidrogênio, provocando um aumento da solubilidade e inchamento dos grânulos.

Já em relação às batatas submetidas ao tratamento de ultrassom associado com ácido cítrico foi observado o início da dispersão dos grânulos dentro do vacúolo. O aumento da temperatura provocado pelo ultrassom pode ter causado o inchaço e aumento da pressão dos

grânulos de amido, resultando em aumento da viscosidade e dispersão desses grânulos, mas como esse aumento de temperatura não é tão pronunciado como no branqueamento, não houve a ruptura completa da parede celular. Zuo *et al.* (2012) ao estudarem o efeito do poder ultrassom em grânulos de amido concluíram que o uso deste tratamento resulta em dano a superfície do amido e, em alguns casos, rompimento dos grânulos.

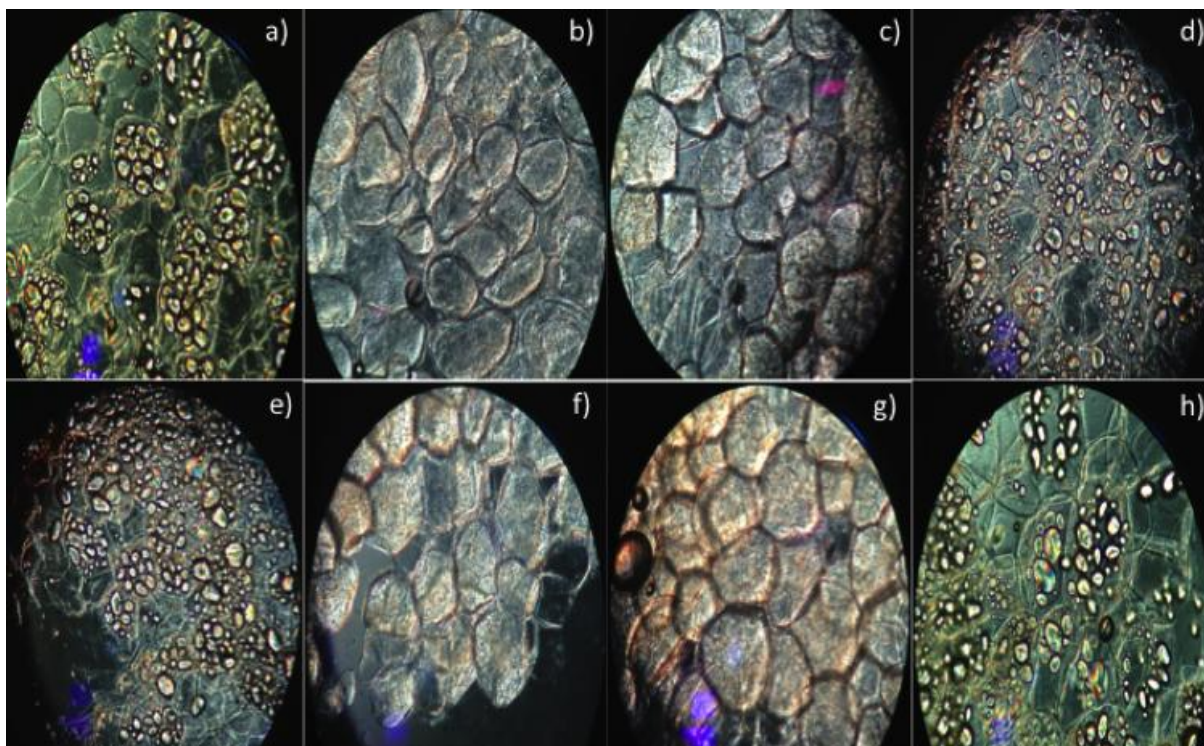


Figura 3. Fotos de batata minimamente processada submetida a diferentes métodos antiescurecimento feitas usando microscopia óptica com aumento de 200x; controle (a), branqueamento + ácido cítrico (b), branqueamento + ultrassom (c), ultrassom + ácido cítrico (d), um dia após a aplicação dos tratamentos e no último dia de armazenamento (Controle (e), branqueamento + ácido cítrico (f), branqueamento + ultrassom (g), ultrassom + ácido cítrico (h)).

Conclusões

A aplicação dos tratamentos agiu positivamente na inibição do escurecimento das batatas minimamente processadas logo após o processamento.

O pH das amostras foi alterado pelo uso dos tratamentos, com redução logo após a imersão das batatas em ácido cítrico. Já o uso de branqueamento causou aumento deste parâmetro nas batatas minimamente processadas. Entretanto, foram observadas alterações indesejáveis na firmeza, cor e estrutura celular dos tubérculos após o branqueamento.

Embora a associação de ácido cítrico e de ultrassom tenha provocado o início da dispersão dos grânulos dentro do vacúolo, este tratamento não causou grandes alterações nas características das batatas, além de conseguir manter constante a atividade da polifenoloxidase.

Houve um aumento no teor de matéria seca após a fritura da batata em todos os tratamentos estudados; este aumento pode ser atribuído à desidratação e absorção de óleo durante a fritura.

Referências

- ALVAREZ, M.D.; MORILLO, M.J.; CANET, W. Characterization of the frying process of fresh and blanched potato strips using response surface methodology. **European Food Research and Technology**, v. 211, n. 05, p. 326-335, 2000.
- AMARAL, R.D.A; BENEDETTI, B.C.; PUJOLA, M.; ACHAERANDIO, I.; BACHELLI, M.L.B. Effect of Ultrasound on Quality of Fresh-Cut Potatoes During Refrigerated Storage. **Food Engineering Reviews**. doi.10.1007/s12393-014-9091-x, 2014.
- AOAC. ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis**, 18 ed. Gaithersburg, 2005.
- BARRIOS, E.P.; NEWSON, D.W.; MILLER, J.C. Some factors influencing the culinary quality of Irish potatoes. II. Physical characters. **American Potato Journal**, v. 40, p. 200–206, 1963.
- BELTRAN, D.; SELMA, M.V.; TUDELA, J.A.; GIL, M.I. Effect of different sanitizers on microbial and sensory quality of fresh-cut potato strips stored under modified atmosphere and vacuum packaging. **Postharvest Biology and Technology**, v. 37, n. 01, p. 37–46, 2005.
- CABEZAS-SERRANO, A.B.; AMODIO, M.L.; CORNACCHIA, R.; RINALDI, R.; COLELLI, G. Suitability of five different potato cultivars (*Solanum tuberosum* L.) to be

processed as fresh-cut products. **Postharvest Biology and Technology**, v. 53, n. 03, p. 138–144, 2009.

CALDER, B.L.; KASH, E.A.; DAVIS-DENTICI, K.; BUSHWAY, A.A. Comparison of Sodium Acid Sulfate to Citric Acid to Inhibit Browning of Fresh-Cut Potatoes. **Journal of Food Science**, v. 76, n. 03, p. S164-S169, 2011.

ERAT, M.; SAKIROGLU, H.; KUFREVIOGLU, O. I. Purification and characterization of polyphenol oxidase from *Ferula* sp. **Food Chemistry**, v. 95, n. 03, p. 503-508, 2006.

FELTRAN, J.C.; LEMOS, L.B.; VIEITES, R.L. Technological quality and utilization of potato tubers. **Scientia Agricola**, v. 61, p. 598-603, 2004.

FERNANDES, F.A.N.; GALLÃO, M.I.; RODRIGUES, S. Effect of osmosis and ultrasound on pineapple cell tissue structure during dehydration. **Journal of Food Engineering**, v. 90, p. 186–190, 2009.

FERNANDES, A.M.; SORATTO, R.P.; EVANGELISTA, R.M.; NARDIN, I. Qualidade físico-química e de fritura de tubérculos de cultivares de batata na safra de inverno. **Horticultura Brasileira**, v. 28, p. 299-304, 2010.

FONTELES, T.V.; COSTA, M.G.M.; JESUS, A.L.T.; MIRANDA, M.R.A.; FERNANDES, F.A.N.; RODRIGUES, S. Power ultrasound processing of cantaloupe melon juice: Effects on quality parametrs. **Food Research International**, v.48, p. 41-48, 2012.

GARCIA, E.; BARRETT, D.M. Preservative treatments for fresh-cut fruits and vegetables. In: LAMIKANRA, O. (Ed.). **Fresh-cut fruits and vegetables: science, technology and market**, Boca Raton: CRC Press, p. 267–304, 2002.

HOOVER, R. Composition, molecular structure, and physicochemical properties of tuber and root starches: a review. **Carbohydrates Polymers**, v. 45, p. 253–267, 2001.

KAHN, V. Some biochemical properties of phenol oxidase from two avocado varieties differing in their browning rates. **Journal of Food Science**, v. 42, n. 01, p. 38–43, 1977.

LIMBO, S.; PIERGIOVANNI, L. Minimally processed potatoes: part 2. Effects of high oxygen partial pressures in combination with ascorbic and citric acid on loss of some quality traits. **Postharvest Biology and Technology**, v. 43, n. 02, p. 221–229, 2007.

MARQUEZ, G.; ANON, M. Influence of reducing sugars and amino acids in the color development of fried potatoes. **Journal of Food Science**, v. 51, n. 01, p. 157–160, 1986.

PARKER, M.L.; NEWSOM, D.W.; MILLER, K.W. Texture of Chinese water chestnut: involvement of cell wallphenolics. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 6, p. 337–346, 1995.

RIDLEY, S C.; HOGAN, J.M. Effect of storage temperature on tuber composition, extrusion force, and Brabender viscosity. **American Potato Journal**, v. 53, p. 343–353, 1976.

ROCULLI, P.; GALINDO, F.G.; MENDOZA, F.; WADSÖ, L.; ROMANI, S.; ROSA, M.D.; SJOHOLM, I. Effects of the application of anti-browning substances on the metabolic activity and sugar composition of fresh-cut potatoes. **Postharvest Biology and Technology**. v. 43, n. 01, p. 151–157, 2007.

SINGH, J.; KAUR, L.; RAO, M.A. Textural and Rheological Characteristics of Raw and Cooked Potatoes. In: **Advances in Potato Chemistry and Technology**, 2009.

SOLIVA-FORTUNY, R.; BIOSCA-BIOSCA, M.; GRIGELMO-MIGUEL, N.; MARTÍN-BELLOSO, O. Browning, polyphenol oxidase activity and headspace gas composition during storage of minimally processed pears using modified atmosphere packaging. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 82, p. 1490–1496, 2002.

THYGESEN, L.G.; THYBO, A.K.; ENGELSEN, S.B. Prediction of sensory texture quality of boiled potatoes from low-field 1H NMR of raw potatoes. The role of chemical constituents. **Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie**, v. 34, p. 469–477, 2001.

Van MARLE, J.T.; STOLLESMITS, T.; DONKERS, J.; DIJK Van, C.; VORAGEN, A.G.J.; RE COURT, K. Chemical and microscopic characterization of potato (*Solanum tuberosum* L.) cell walls during cooking. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 45, p. 50–58, 1997.

ZUO, Y.Y.J.; HEBRAUD, P.; HEMAR, Y.; ASHOKKUMAR, M. Quantification of high-power ultrasound induced damage on potato starch granules using light microscopy. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 19, p. 421–426, 2012.

CAPÍTULO 7. Aplicação de alginato de sódio em batata “Asterix” minimamente processada

Introdução

A batata é um dos produtos mais consumidos mundialmente. É altamente nutritiva e considerada um alimento funcional que, além de suas funções nutricionais básicas, também apresenta substâncias biologicamente ativas que podem reduzir as doenças crônico-degenerativas (MACHADO e TOLEDO, 2004). Entretanto, as etapas do processamento mínimo, como descascamento e corte, promovem alterações enzimáticas e metabólicas neste tubérculo, como variação da taxa respiratória, firmeza e cor, que levam a deterioração e redução da vida útil deste produto (MONTERO-CALDERÓN, ROJAS-GRÄU e MARTÍN-BELLOSO, 2008).

Filmes comestíveis e coberturas são produzidos a partir de biopolímeros comestíveis e aditivos de grau alimentício. São sistemas promissores para a manutenção da qualidade, aumento da vida útil, segurança e funcionalidade, embora a eficiência e propriedades funcionais destes materiais são altamente dependentes de características inerentes dos materiais formadores do filme, ou seja, biopolímeros (como as proteínas, carboidratos e lipídios) que são compostos relativamente hidrofílicos quando comparados com os materiais plásticos comerciais, plastificantes e outros aditivos. (HAN e GENNADIOS, 2005; GENNADIOS e KURTH, 1997). Estas películas têm a capacidade de promover uma barreira seletiva a umidade, dióxido de carbono e oxigênio, melhorar as propriedades mecânicas e texturais (TAPIA *et al.*, 2008).

O alginato é derivado da parede celular de algas marinhas marrons (Phaeophyceae). São polissacarídeos usados como agentes de gelificação na indústria alimentícia e de grande interesse pelo potencial de cobertura resultantes de suas propriedades coloidais únicas, que em contato com cátions multivalentes como o cálcio formam géis fortes ou polímeros insolúveis (RHIM, 2004; MANCINI e McHUGH, 2000; YANG e PAULSON, 2000). Alguns estudos mostram que o uso desta cobertura pode preservar parâmetros de qualidade de vários produtos, sendo boa barreira aos gases, decrescendo a taxa de respiração e, conseqüentemente, as

atividades metabólicas, além de retardar o escurecimento, diminuir a perda de massa ao longo do período de armazenamento e apresentar menor tensão de ruptura, aumentando sua vida útil (CHIUMARELLI *et al.*, 2011; GROPPPO *et al.* 2009; OMS-OLIU, SOLIVA-FORTUNY e MARTIN-BELLOSO, 2008; ROJAS-GRAÜ, TAPIA e MARTÍN-BELLOSO, 2008; TAPIA *et al.*, 2008).

Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a aplicação de coberturas a base de alginato de sódio e glicerol formulados a partir de um delineamento central composto rotacional nos parâmetros de qualidade da batata minimamente processada armazenada sob refrigeração e no produto após a fritura.

Material e métodos

Preparo da batata

Batatas (*Solanum tuberosum* L.) da cultivar “Asterix” foram adquiridas do Mercados de Abastecimientos de Barcelona SA (Mercabarna), selecionadas, lavadas em água potável para remoção da sujeira superficial, secas e armazenadas à temperatura ambiente e na ausência de luz até o momento do processamento.

Processamento geral

Os tubérculos livres de defeitos passaram por lavagem em água potável, descascamento com descascadores manuais, descartando as extremidades e cortadas em tiras retangulares (10 x 10 mm) com o auxílio de cortador manual de hortaliças. Essas tiras foram mantidas em água potável resfriada (10 °C) até o momento da aplicação dos tratamentos, e após esse processo foram centrifugadas em centrífuga manual para retirada do excesso de líquido. Em todos os experimentos o tratamento controle consistia na batata minimamente processada embalada sem nenhum tipo de tratamento. Amostras de 100± 5g foram inseridas em bolsas de polietileno de alta densidade de 0,16 µm e seladas à vácuo (-0,98 bar). Este filme foi escolhido por ser o filme mais comumente utilizado na indústria de processamento mínimo de batata e este sistema de modificação da atmosfera por ser o melhor método para preservar a qualidade sensorial deste produto armazenado sob refrigeração (BELTRAN *et al.*, 2005). As batatas minimamente processadas foram armazenadas sob refrigeração (3±1 °C) por 12 dias.

Etapa de seleção das variáveis

Foi realizado um delineamento composto central rotacional (DCCR) composto por 4 pontos fatorais, 4 axiais e 3 repetições no ponto central, totalizando 11 ensaios (Tabela 1.1 e 1.2).

Tabela 1.1 Variáveis independentes e valores codificados e reais dos níveis utilizados no planejamento DCCR 2².

Variáveis independentes	Níveis				
	-1,41	-1	0	+1	+1,41
Alginato (g 100 g ⁻¹ suspensão)	0,59	1	2	3	3,41
Glicerol (g 100 g ⁻¹ suspensão)	0,80	1,0	1,5	2	2,20

Tabela 1.2 Planejamento DCCR 2² com valores reais e codificados (entre parênteses) para cada ensaio.

Ensaio	Alginato	Glicerol
1	1 (-1)	1 (-1)
2	3 (+1)	1 (-1)
3	1 (-1)	2 (+1)
4	3 (+1)	2 (+1)
5	0,59 (-1,41)	1,5 (0)
6	3,41 (+1,41)	1,5 (0)
7	2,0 (0)	0,80 (-1,41)
8	2,0 (0)	2,20 (+1,41)
9	2,0 (0)	1,5 (0)
10	2,0 (0)	1,5 (0)
11	2,0 (0)	1,5 (0)

Preparação dos filmes

A soluções de alginato foram preparadas sob 70°C e emulsificadas com homogeneizador a 7500 rpm por 3 minutos. O glicerol foi adicionado como plasticizante. Após esse processo, as soluções foram mantidas em repouso por 24h para eliminação das bolhas de ar (CHIUMARELLI, 2008). Uma outra solução de lactato de cálcio (2%) foi preparada. As fatias foram imersas primeiro na solução de lactato de cálcio por 3 minutos e após o repouso de 1 minuto foram imersas em solução de alginato de sódio por 3 minutos. Após a aplicação desses tratamentos, as batatas minimamente processadas foram mantidas em repouso a $16 \pm 2^\circ \text{C}$ por 1 hora para secagem da película.

Avaliação das alterações da batata processada imediatamente após a aplicação dos tratamentos e no final do período de armazenamento

Cor - Determinada nas fatias antes e depois da fritura, com colorímetro Hunter Lab., escala CIELab (L^* , a^* , b^*). A aquisição dos dados foi feita por software Universal (versão 4.10). Foram feitas 15 medições e as mudanças na coloração da batata processada foram expressas em L^* , croma ($croma = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$) e Hue ($H^* = \tan^{-1} (a^*/b^*)$);

Matéria seca – Amostras frescas e fritas com peso de 5g foram secas a 65°C por 24 horas (AOAC, 2005). O teor de matéria seca foi calculado pela diferença entre o peso inicial e o final de cada amostra e os resultados da média de três repetições foram expressos em porcentagem;

Absorção de óleo – Foram utilizadas amostras de 2 g de batata seca para extração em um extrator Soxhlet por 4 horas utilizando éter de petróleo como dissecante. Após a extração, as amostras foram secas a 100°C por 30 minutos. O teor de óleo foi calculado pela diferença entre o peso inicial e o final de cada amostra e os resultados da média de 3 repetições foram expressos em porcentagem (AOAC, 2005; Method 934.01);

Firmeza – As medições foram feitas em analisador de textura (TA.XT Plus, Stable Micro Systems Co. Ltd., UK) equipado com célula de carga de 5 kg, probe cilíndrico de aço inoxidável com 2 mm de diâmetro e base plana. Foram feitas quinze medições de cada tratamento e dia de análise. A força máxima de penetração, expressa em Newton (N) foi definida como a média de resultados para que o probe penetre 7 mm da amostra crua e 5 mm da amostra frita de quinze tiras de batata a uma velocidade 1 mm.s^{-1} ;

Composição gasosa – A determinação da taxa respiratória do produto com a película foi realizada de acordo com o método estático. Fatias de batata foram acondicionadas em recipientes herméticos com septo de silicone na tampa para retirada das alíquotas de gás do espaço livre dos frascos. A composição gasosa foi medida com analisador de gases portátil O₂/CO₂ Dual Space Analyser, modelo PAC CHECK 325 (Mocon, Minneapolis, EUA). As análises foram realizadas em triplicata em todos os dias de armazenamento;

Microscopia óptica – Foi feita a observação de uma secção fina retirada sobre a crosta da batata congelada através de microscópio óptico, com aumento de 20x. As análises foram realizadas no primeiro e último dias de armazenamento.

Análise estatística dos resultados

A análise estatística foi realizada utilizando a ferramenta “Experimental Design of Experiments” do programa Statistica 10® (Statsoft Inc., Tulsa, EUA), de acordo com a metodologia descrita por Rodrigues e Iemma (2005). Foram calculados os coeficientes de regressão para cada resposta. Para este DCCR o nível de significância foi fixado em 75%, devido à variabilidade da matéria-prima, evitando assim que se desconsiderassem fatores potencialmente significativos. Os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) levando em consideração apenas os parâmetros estatisticamente significativos. Os demais parâmetros foram adicionados ao resíduo (falta de ajuste). Quando o coeficiente de determinação R^2 após o cálculo da ANOVA foi superior a 50 % procedeu-se a descrição dos resultados por meio de superfície de resposta.

Resultados e discussão

Os coeficientes de regressão calculados para a batata minimamente processada são apresentados na Tabela 2. Em relação a cor das fatias, somente o parâmetro a^* não foi afetado significativamente pela interação alginato:glicerol. A concentração de alginato de sódio apresentou efeito negativo sobre a luminosidade das amostras. Entretanto, como após a análise de variância o coeficiente de determinação (R^2) para esta resposta foi inferior a 50 %, não foi possível descrever os resultados através de modelos de superfície de resposta (Tabela 3). O

mesmo ocorreu para as respostas b*, Chroma e firmeza que também apresentaram coeficientes de determinação inferiores ao fixado para descrição dos modelos.

Tabela 2. Coeficientes de regressão das variáveis alginato de sódio e glicerol e sua interação logo após a aplicação dos tratamentos sobre os parâmetros físicos da batata minimamente processada.

	L*	a*	b*	Hue	Chroma	Firmeza	Matéria seca
Média	64,023	-0,793	24,733	91,81	24,747	9,033	19,820
Alginato (L)	-0,716	0,019	-0,012	-0,007	-0,027	-0,017	-0,190
Alginato (Q)	-1,2	0,145	0,123	-0,274	0,112	-0,066	0,951
Glicerol (L)	-0,35	0,086	-0,807	-0,182	-0,729	-0,033	0,556
Glicerol (Q)	0,136	0,015	0,418	-0,086	0,407	0,034	-0,108
Alginato x Glicerol	1,0202	-0,085	0,997	0,27	0,997	0,354	0,382
R²	62,44	66,11	51,17	65,42	52,51	44,17	44,17

Tabela 3. Análise de variância dos parâmetros físicos da batata minimamente processada submetida a tratamento com coberturas a base de alginato de sódio e glicerol.

	L*	a*	b*	Hue	Chroma	Firmeza	Matéria seca
	Soma de Quadrados						
Regressão	15,391	0,182	7,974	0,939	8,239	0,503	8,455
Resíduo	17,557	0,143	9,538	0,561	9,245	0,756	6,933
Falta de ajuste	7,589	0,058	3,978	0,265	3,667	0,286	6,736
Erro puro	9,968	0,085	5,56	0,296	5,578	0,47	0,197
Total	32,948	0,325	17,512	1,5	17,484	1,259	15,388
R²	46,71	56,00	45,53	62,60	47,12	39,95	54,95

De acordo com as superfícies de resposta obtidas foi observado que as fatias de batatas cobertas com filme de alginato de sódio apresentaram coloração levemente esverdeada, e que o valor do parâmetro cromaticidade a* aumentou à medida que o glicerol foi incorporado à solução filmogênica.

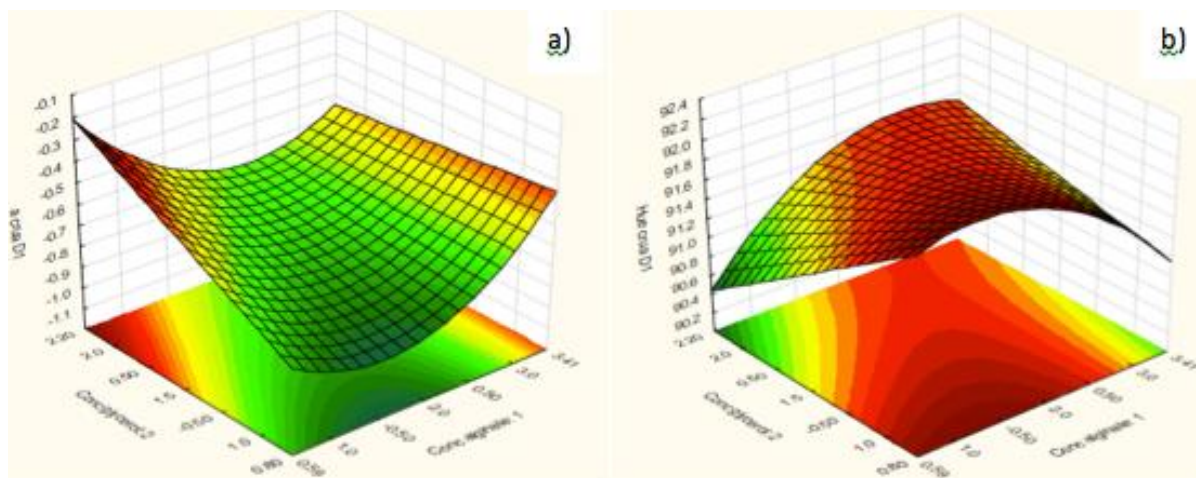


Fig 1. Superfícies de resposta para as respostas a^* (a) e Hue (b), relacionando a concentração de alginato e glicerol em batatas minimamente processadas.

O teor de matéria seca foi afetado pela adição de glicerol à solução de alginato de sódio (Figura 2). Quanto maior a quantidade de glicerol, mais alto foi o teor de matéria seca das batatas minimamente processadas.

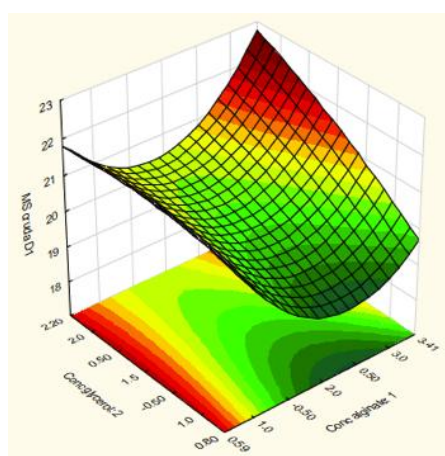


Fig 2. Superfície de resposta para a matéria seca, relacionando a concentração de alginato e glicerol em batatas minimamente processadas.

Após doze dias de armazenamento, a concentração de alginato quadrático continuou influenciando o parâmetro L^* das batatas minimamente processadas (Tabela 4). Observou-se com o armazenamento um escurecimento do produto, influenciado pela concentração de glicerol, embora essa influência não tenha sido significativa após a análise de variância (Tabela 5).

Tabela 4. Coeficientes de regressão das variáveis alginato de sódio e glicerol e sua interação após a aplicação dos tratamentos sobre os parâmetros físicos da batata minimamente processada armazenada por 12 dias a 3 ± 1 °C.

	L*	a*	b*	Hue	Chroma	Firmeza	Matéria seca
Média	60,260	-0,097	23,593	90,970	23,600	8,975	20,310
Alginato (L)	-0,353	-0,038	0,211	0,086	0,210	-0,084	0,455
Alginato (Q)	0,983	-0,16	0,121	0,017	0,120	0,121	0,057
Glicerol (L)	0,368	-0,058	-0,266	0,179	-0,260	-0,240	0,262
Glicerol (Q)	-1,079	-0,108	-0,797	-0,040	-0,800	0,045	-0,628
Alginato x Glicerol	0,800	-0,072	-0,027	0,312	-0,020	-0,267	-0,877
R²	61,72	22,13	51,60	28,63	51,49	68,24	55,68

Tabela 5. Análise de variância dos parâmetros físicos da batata minimamente processada submetida a tratamento com coberturas a base de alginato de sódio e glicerol após armazenamento por 12 dias a 3 ± 1 °C.

	L*	a*	b*	Hue	Chroma	Firmeza	Matéria seca
Soma de Quadrados							
Regressão	17,036	-	4,282	-	4,312	0,745	5,651
Resíduo	18,094	-	5,972	-	5,989	0,553	8,497
Falta de ajuste	6,924	-	2,612	-	2,601	0,465	6,178
Erro puro	11,17	-	3,36	-	3,388	0,088	2,319
Total	35,13	-	10,254	-	10,301	1,298	14,148
R²	48,49	-	41,76	-	41,86	57,40	39,94

A concentração de alginato de sódio influenciou a firmeza das batatas minimamente processadas após 12 dias de armazenamento refrigerado. Na figura 3 observa-se que maiores concentrações de alginato de sódio implicaram em amostras com maior firmeza. Esse aumento de firmeza poderia ser atribuído a um aumento da espessura do filme formado com o aumento da concentração da solução.

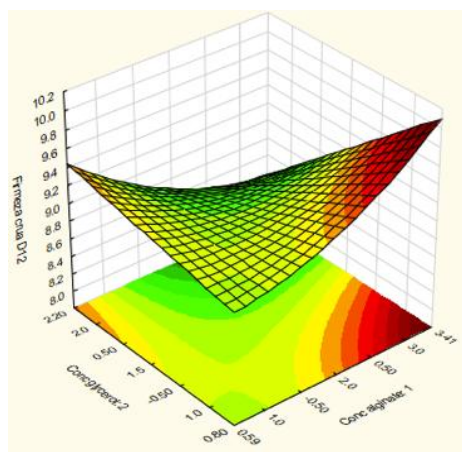


Fig 3. Superfície de resposta para a firmeza, relacionando a concentração de alginato e glicerol em batatas minimamente processadas após armazenamento por 12 dias a 3 ± 1 °C.

O uso da cobertura a base de alginato e glicerol conseguiu impedir o aumento da taxa respiratória das batatas minimamente processadas no início do período de armazenamento (Tabela 6). O uso de coberturas comestíveis pode reduzir a taxa respiratória de produtos minimamente processados, proporcionando diminuição na atividade metabólica, retardando a deterioração do produto e aumentando sua vida útil (ROJAS-GRAÜ, TAPIA e MARTÍN-BELLOSO, 2008; QI *et al.*, 2001). Entretanto, partir do segundo dia de análise até o final do período de armazenamento, houve alteração da taxa respiratória do produto sob influência das concentrações de alginato e glicerol.

Tabela 6. Coeficientes de regressão das variáveis alginato de sódio e glicerol e sua interação após a aplicação dos tratamentos sobre a taxa respiratória da batata minimamente processada armazenada por 12 dias a 3 ± 1 °C.

	Tempo (dias)												
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Média	65,293	6,467	3,720	2,887	2,337	2,203	2,000	1,877	1,857	1,797	1,730	1,733	1,673
Alginato (L)	1,133	0,263	0,147	0,075	0,059	0,032	0,028	-0,012	-0,015	-0,023	-0,019	-0,046	-0,033
Alginato (Q)	4,483	0,363	0,439	0,432	0,390	0,508	0,546	0,580	0,576	0,608	0,632	0,688	0,663
Glicerol (L)	-2,461	-0,022	-0,251	-0,306	-0,250	-0,334	-0,322	-0,317	-0,352	-0,334	-0,330	-0,284	-0,210
Glicerol (Q)	-1,577	0,093	0,199	0,274	0,275	0,378	0,456	0,463	0,426	0,430	0,440	0,450	0,436
Alginato x Glicerol	-0,310	-0,420	-0,437	-0,507	-0,550	-0,667	-0,727	-0,732	-0,732	-0,742	-0,747	-0,755	-0,752
R²	33,82	46,66	69,28	73,15	66,69	78,38	80,92	78,90	78,07	77,26	77,49	76,50	77,61

A análise de variância mostra que a partir do segundo dia de armazenamento os coeficientes de determinação para a resposta taxa respiratória foram superiores a 75% (Tabela 7), sendo possível descrever os resultados através de superfície de resposta.

Tabela 7. Análise de variância da taxa respiratória da batata minimamente processada submetida a tratamento com coberturas a base de alginato de sódio e glicerol após armazenamento por 12 dias a 3 ± 1 °C.

	Tempo (dias)												
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Regressão	-	-	2,168	2,967	2,302	4,458	5,169	5,379	5,419	5,574	5,765	5,978	5,108
Resíduo	-	-	1,534	1,151	1,835	1,239	1,227	1,439	1,524	1,647	1,678	1,859	1,938
Falta de ajuste	-	-	1,137	0,789	1,684	0,805	0,706	0,823	0,884	0,967	0,945	1,088	1,325
Erro puro	-	-	0,397	0,362	0,151	0,434	0,521	0,616	0,640	0,680	0,733	0,771	0,613
Total	-	-	3,702	4,118	4,137	5,697	6,396	6,818	6,943	7,221	7,443	7,837	7,046
R²	-	-	58,56	72,05	55,64	78,25	80,82	78,89	78,05	77,19	77,46	76,28	72,50

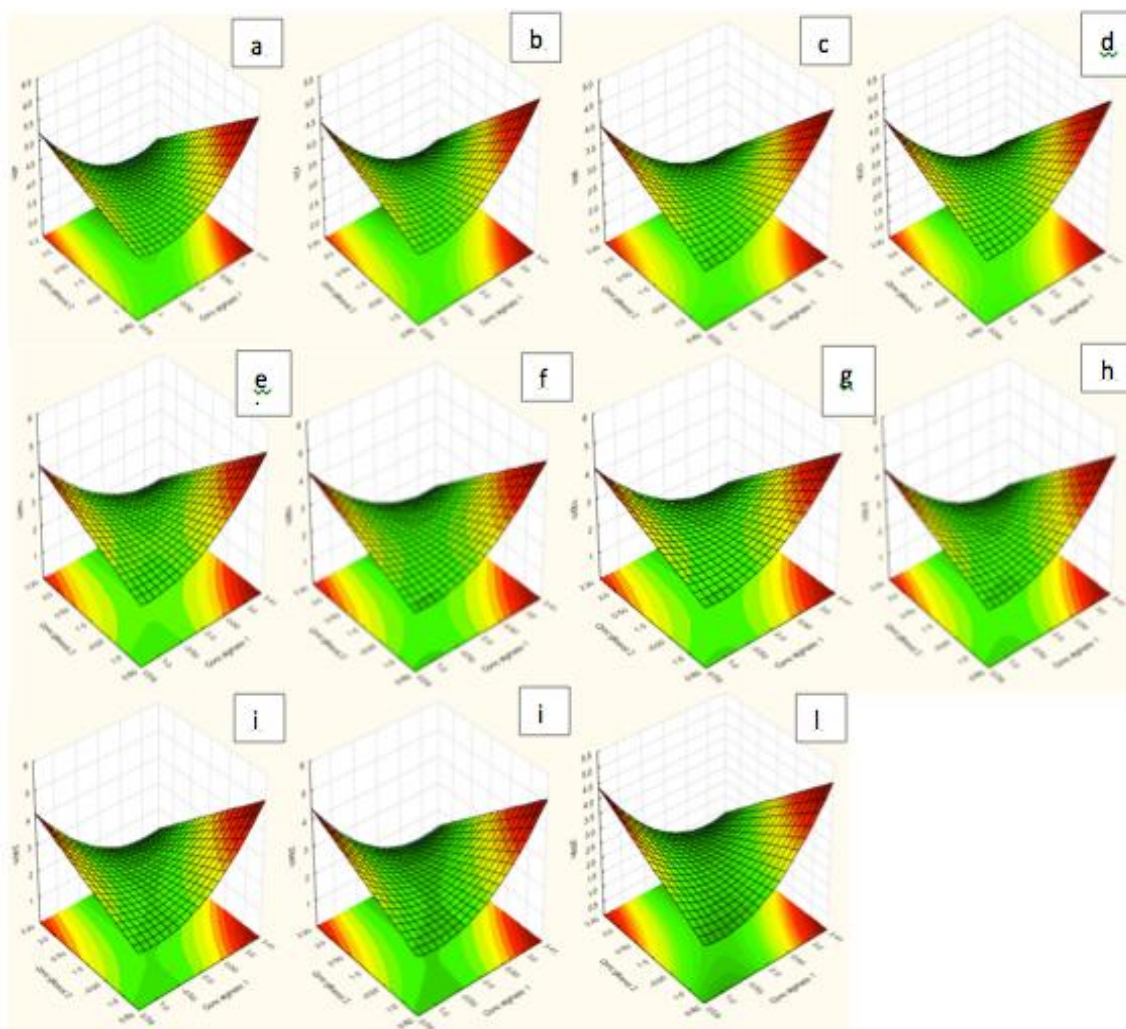


Fig 4. Superfície de resposta para a taxa respiratória após 2 (a), 3 (b), 4 (c), 5 (d), 6 (e), 7 (f), 8 (g), 9 (h), 10 (i), 11 (j), 12 (l) dias de armazenamento, relacionando a concentração de alginato e glicerol em batatas minimamente processadas.

Analisando as superfícies de resposta para as batatas minimamente processadas observa-se que quando são aplicadas concentrações de alginato de sódio e glicerol próximos ao ponto central há valores mais baixos de taxa respiratória do produto.

Tabela 8. Coeficientes de regressão das variáveis alginato de sódio e glicerol e sua interação logo após a aplicação dos tratamentos sobre os parâmetros físicos da batata após a fritura.

	L*	a*	b*	Hue	Chroma	Firmeza	Matéria seca	Absorção de óleo
Média	68,527	-1,623	30,393	93,137	30,570	1,365	46,520	8,683
Alginato (L)	0,389	0,270	1,465	-0,78	1,426	-0,163	-0,784	-0,199
Alginato (Q)	-0,436	-0,712	-0,93	1,448	-0,938	0,199	-0,654	0,001
Glicerol (L)	-0,777	0,094	-0,803	0,012	-0,790	-0,058	0,583	-0,374
Glicerol (Q)	0,501	0,372	0,665	-0,595	0,630	0,102	0,589	0,056
Alginato x Glicerol	1,54	0,702	0,917	-1,532	0,865	0,102	-0,247	-0,462
R²	44,53	65,62	39,63	65,59	38,72	66,58	30,38	14,31

Após a fritura, a cor continuou a ser influenciada pelas variáveis independentes, mas de maneira inversa (Tabelas 8 e 9). Houve aumento do ângulo Hue das amostras com o aumento da concentração de glicerol e a concentração de alginato não influenciou muito neste parâmetro de cor das batatas fritas (Fig 5).

Tabela 9. Análise de variância dos parâmetros físicos da batata após a fritura submetida a tratamento com coberturas a base de alginato de sódio e glicerol.

	L*	a*	b*	Hue	Chroma	Firmeza	Matéria seca	Absorção de óleo
Soma de Quadrados								
Regressão	9,487	6,152	-	25,674	-	0,371	-	-
Resíduo	33,283	5,412	-	24,274	-	0,376	-	-
Falta de ajuste	22,26	2,881	-	17,421	-	0,267	-	-
Erro puro	11,023	2,531	-	6,853	-	0,109	-	-
Total	42,77	11,564	-	49,948	-	0,747	-	-
R²	22,18	53,20	-	51,40	-	49,67	-	-

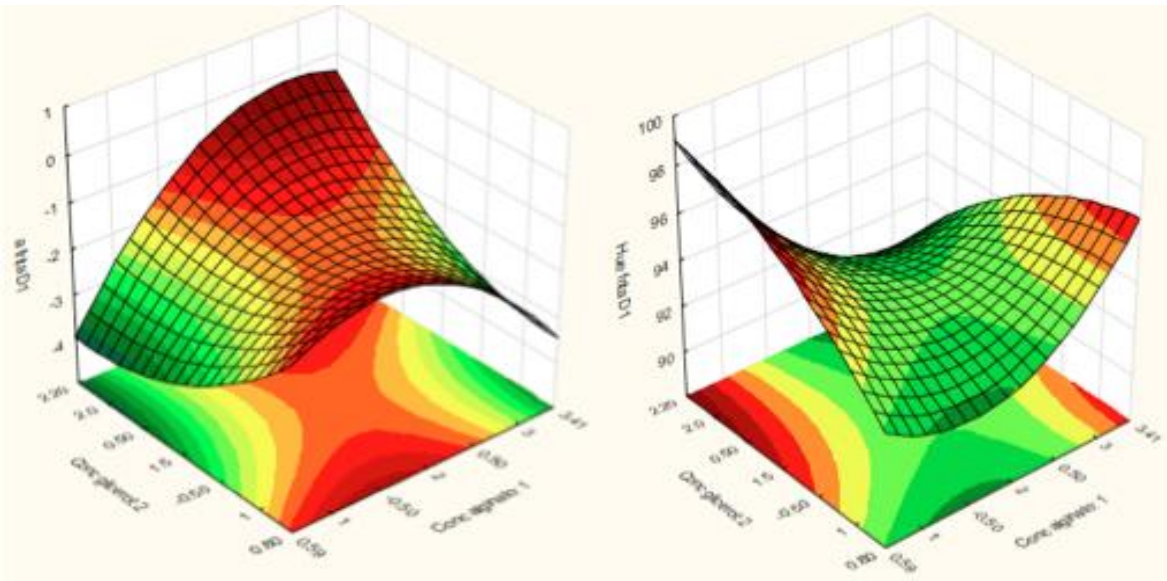


Fig 5. Superfícies de resposta para as respostas a* (a) e Hue (b), relacionando a concentração de alginato e glicerol em batatas após a fritura.

O comportamento das batatas fritas após doze dias de armazenamento foi semelhante ao das batatas minimamente processadas (Tabela 10). A análise de variância mostrou que a interferência das variáveis alginato de sódio e glicerol não foi significativa nos resultados cor (L^* , a^* , b^* , Hue e Chroma) e a absorção de óleo (Tabela 11).

Tabela 10. Coeficientes de regressão das variáveis alginato de sódio e glicerol e sua interação após a aplicação dos tratamentos sobre os parâmetros físicos da frita e após 12 dias de armazenamento a 3 ± 1 °C.

	L^*	a^*	b^*	Hue	Chroma	Firmeza	Matéria seca	Absorção de óleo
Média	67,567	-2,46	26,453	95,550	26,597	2,028	43,447	6,573
Alginato (L)	-0,769	-0,311	-0,992	0,947	-0,950	-0,206	-0,270	-0,015
Alginato (Q)	-1,033	-0,38	-0,138	0,592	-0,009	-0,022	-1,582	-0,332
Glicerol (L)	1,327	-0,557	-0,441	0,899	-0,394	-0,083	0,879	-0,285
Glicerol (Q)	-0,570	1,089	1,204	-2,223	1,213	0,113	0,508	-0,019
Alginato x Glicerol	-0,350	0,099	0,342	-0,412	0,480	0,075	0,245	-0,222
R^2	61,57	60,53	41,27	56,87	39,61	78,95	61,49	47,11

Tabela 11. Análise de variância dos parâmetros físicos da batata frita submetida a tratamento com coberturas a base de alginato de sódio e glicerol após armazenamento por 12 dias a 3 ± 1 °C.

	L^*	a^*	b^*	Hue	Chroma	Firmeza	Matéria seca	Absorção de óleo
Soma de Quadrados								
Regressão	18,715	8,925	-	35,525	-	0,483	24,713	-
Resíduo	23,134	12,622	-	55,609	-	0,161	19,186	-
Falta de ajuste	18,72	11,893	-	49,543	-	0,126	15,998	-
Erro puro	4,414	0,729	-	6,066	-	0,035	3,188	-
Total	41,849	21,547	-	91,134	-	0,644	43,899	-
R^2	44,72	41,42	-	38,98	-	75,00	56,30	-

A superfície de resposta da firmeza da batata frita revela comportamento completamente oposto ao observado para este mesmo parâmetro na batata minimamente processada. Após a fritura, amostras de batata frita cobertas com películas de alginato de sódio com concentrações acima de 2,50% apresentaram menores valores de firmeza após a fritura (Figura 6).

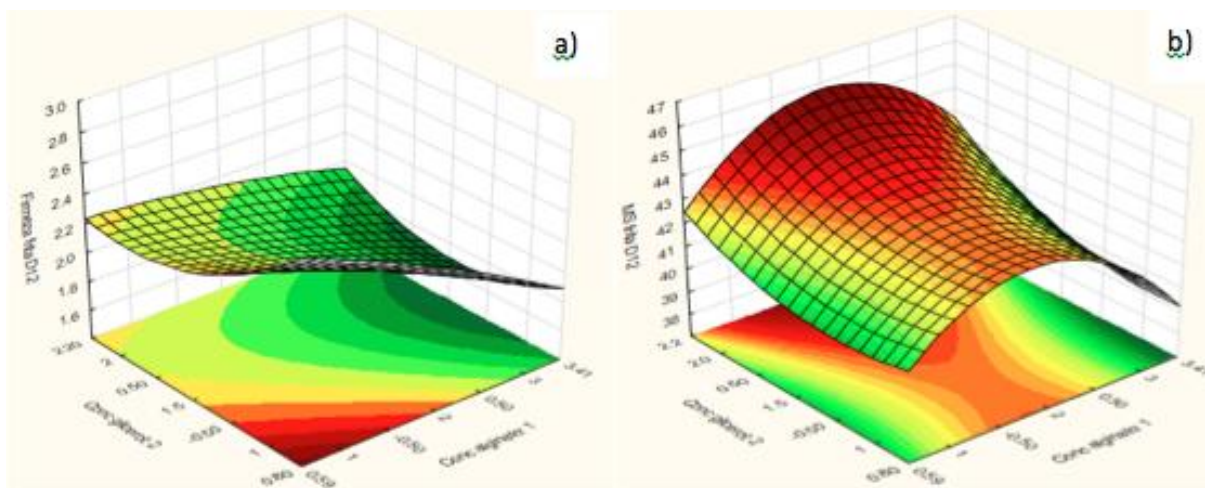


Fig 6. Superfícies de resposta para as respostas firmeza (a) e matéria seca (b), relacionando a concentração de alginato e glicerol em batatas fritas.

Ao analisar as fotos da microscopia, não foi observado efeito das películas comestíveis na estrutura do amido das batatas (Figura 7). A imagem do tratamento 5, que tem concentrações mais baixas de alginato de sódio é mais visível devido a menor formação do filme no produto.

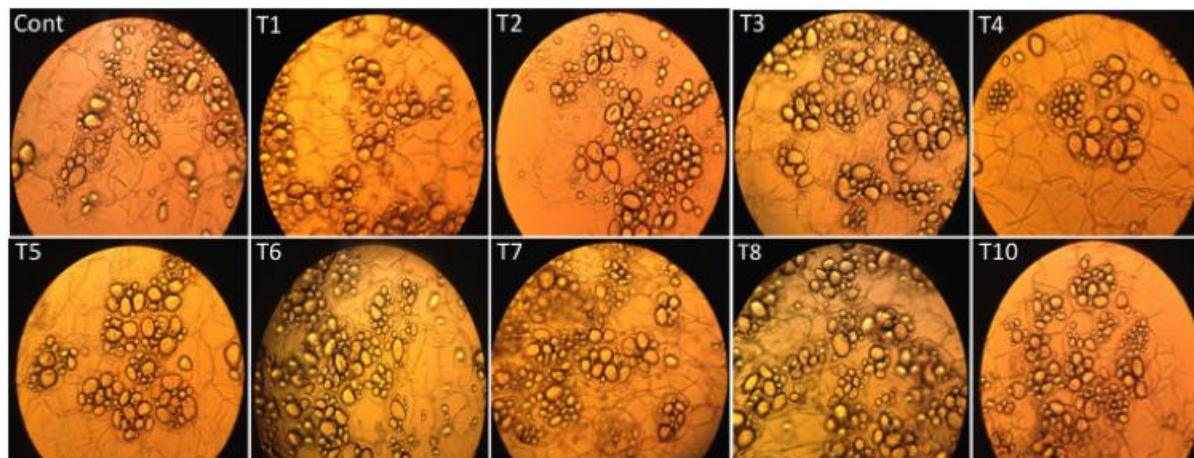


Fig 7. Fotos de batata minimamente processada cobertas com filme comestível com alginato de sódio e glicerol feitas usando microscopia óptica com aumento de 200x após a aplicação das coberturas. Cont: sem tratamento; T₁: 1% alginato + 1% glicerol; T₂: 3% alginato + 1% glicerol; T₃: 1% alginato + 2% glicerol; T₄: 3% alginato + 2% glicerol; T₅: 0,59% alginato + 1,5% glicerol; T₆: 3,41% alginato + 1,5% glicerol; T₇: 2% alginato + 0,8% glicerol; T₈: 2% alginato + 2,20% glicerol e T₁₀: 2% alginato + 1,50% glicerol.

A análise das batatas após 12 dias de armazenamento mostram que o tratamento 5 (com a concentração mais baixa de alginato de sódio) e o controle (sem nenhum tratamento) apresentaram inchaço dos grânulos dentro do vacúolo. Segundo Pérez-Gago e Krochta (2005) os polissacarídeos promovem a integridade da película, formando uma matriz para os lipídios, enquanto estes formam uma barreira à umidade. Sendo assim, através das imagens apresentadas na Figura 8, pode-se notar o efeito das coberturas aplicadas como barreira a entrada de água no grânulo de amido.

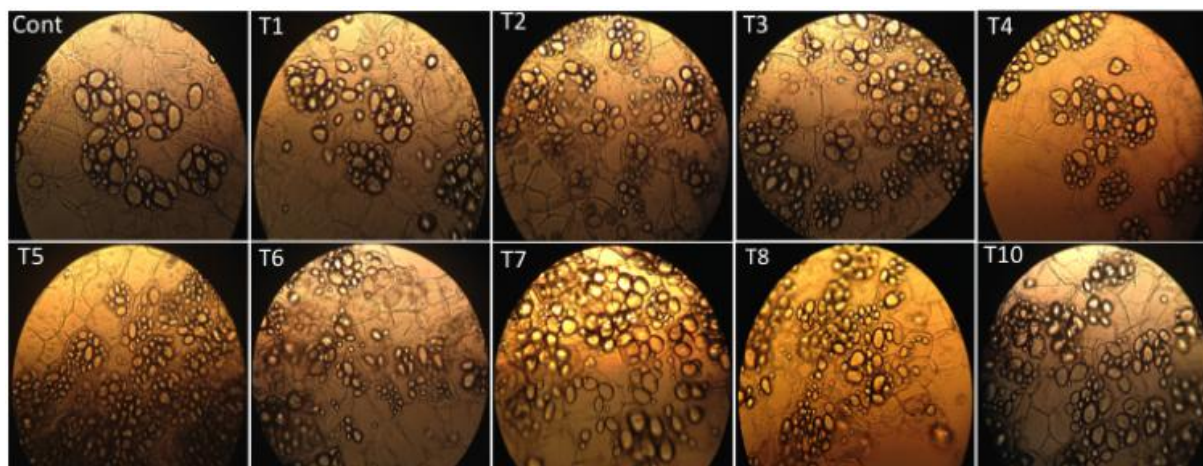


Fig 8. Fotos de batata minimamente processada cobertas com filme comestível com alginato de sódio e glicerol feitas usando microscopia óptica com aumento de 200x após 12 dias de armazenamento a 3 ± 1 °C. Cont: sem tratamento; T₁: 1% alginato + 1% glicerol; T₂: 3% alginato + 1% glicerol; T₃: 1% alginato + 2% glicerol; T₄: 3% alginato + 2% glicerol; T₅: 0,59% alginato + 1,5% glicerol; T₆: 3,41% alginato + 1,5% glicerol; T₇: 2% alginato + 0,8% glicerol; T₈: 2% alginato + 2,20% glicerol e T₁₀: 2% alginato + 1,50% glicerol.

Conclusões

O aumento da concentração de alginato de sódio provocou efeitos negativos na luminosidade e força máxima das batatas minimamente processadas, sendo especialmente notada em concentrações acima de 2% de alginato de sódio.

O uso de alginato foi eficiente no impedimento do aumento da taxa respiratória dos tubérculos.

A firmeza das batatas fritas foi inversamente proporcional à concentração de alginato de sódio.

As concentrações de alginato de sódio e glicerol próximas ao ponto central (2% de alginato + 1,5% de glicerol) apresentaram as melhores respostas para as características estudadas.

Referências

AOAC. ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis**, 18 ed. Gaithersburg, 2005.

BELTRAN, D.; SELMA, M.V.; TUDELA, J.A.; GIL, M.I. Effect of different sanitizers on microbial and sensory quality of fresh-cut potato strips stored under modified atmosphere and vacuum packaging. **Postharvest Biology and Technology**, v. 37, n. 01, p. 37–46, 2005.

CHIUMARELLI, M. **Avaliação da vida útil de manga (Mangifera indica cv 'Tommy Atkins' minimamente processada pré-tratada com ácido cítrico e coberturas comestíveis**. 102p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.

CHIUMARELLI, M.; FERRARI, C.C.; SARANTÓPOULOS, C.I.G.L.; HUBINGER, M.D. Fresh cut 'Tommy Atkins' mango pre-treated with citric acid and coated with cassava (Manihot esculenta Crantz) starch or sodium alginate. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 12, n. 03, p. 381–387, 2011.

GENNADIOS, A.; KURTH, L.B. Application of edible coatings on meats, poultry and seafoods: a review. **LWT - Food Science and Technology**, v. 30, n. 04, p. 337–350, 1997.

GROPPO, V.D.; SPOTO, M.H.F.; GALLO, C.R.; SARMENTO, S.B.S. Efeito do cloreto de cálcio e da película de alginato de sódio na conservação de laranja 'Pera' minimamente processada. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 29, n. 01, p. 107-113, 2009.

HAN, J.H.; GENNADIOS, A. Edible films and coatings: a review. In: **Innovations in Food Packaging**, Amsterdam: Elsevier Science & Technology Books, p. 239 – 262, 2005.

MACHADO, R.M.D; TOLEDO, M.C.F. Determinação de glicoalcalóides em batatas in natura comercializadas na cidade de Campinas, Estado de São Paulo. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 24, p. 47-52, 2004.

MANCINI, F.; McHUGH, T.H. Fruit–alginate interactions in novel restructured products. **Nahrung**, v. 44, n. 03, p. 152–157, 2000.

MONTERO-CALDERÓN, M.; ROJAS-GRAÜ, M.A.; MARTÍN-BELLOSO, O. Effect of packaging conditions on quality and shelf life of fresh-cut pineapple (*Ananas comosus*). **Postharvest Biology and Technology**, v. 50, p. 182–189, 2008.

OMS-OLIU, G.; SOLIVA-FORTUNY, R.; MARTIN-BELLOSO, O. Edible coatings with antibrowning agents to maintain sensory quality and antioxidant properties of fresh-cut pears. **Postharvest Biology and Technology**, v. 50, n. 01, p. 87–94, 2008.

PÉREZ-GAGO, M. B.; KROCHTA, J. M. Emulsion and bi-layer edible films. In: HAN, J. H. (Editor). **Innovations in Food Packaging**. Amsterdam: Elsevier Science & Technology Books. Capítulo 22, p. 384 – 402, 2005.

QI, H.; HU, W.; JIANG, A.; TIAN, M.; YINGQIU, L. Extending shelf life of Fresh-cut 'Fuji' apples with chitosan-coatings. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, Amsterdam, v. 12, n. 01, p. 62-66, jan. 2011.

RHIM, J.W. Physical and mechanical properties of water resistant sodium alginate films. **LWT - Food Science and Technology**, v. 37, n. 03, p. 323–330, 2004.

RODRIGUES, M.I.; IEMMA, A.F. **Planejamento de experimentos e otimização de processos: uma estratégia sequencial de planejamentos**. Campinas: Casa do Pão Editora, 2005.

ROJAS-GRAÜ, M.A.; TAPIA, M.S.; MARTIN-BELLOSO, O. Using polysaccharide-based edible coatings to maintain quality of fresh-cut Fuji apples. **LWT - Food Science and Technology**, v. 41, n. 01, p. 139–147, 2008.

TAPIA, M.S.; ROJAS-GRAÜ, M.A.; CARMONA, A.; RORIGUEZ, F.J.; SOLIVA-FORTUNY, R.; MARTIN-BELLOSO, O. Use of alginate- and gellan-based coatings for improving barrier, texture and nutritional properties of fresh-cut papaya. **Food Hydrocolloids**, v. 22, n. 08, p. 1493–1503, 2008.

YANG, L.; PAULSON, A.T. Effects of lipids on mechanical and moisture barrier properties of edible gellan film. **Food Research International**, v. 33, n. 07, p. 571–578, 2000.

CAPÍTULO 8. Instrumental and nutritional quality of processed potato treated by using edible coating, thermal and nonthermal treatments - effects on shelf life

Introduction

Potatoes are tubers rich in carbohydrate of which 60–80% of the dry matter is starch (Li et al., 2006). The dry matter content is very important for the sensorial properties of potatoes, by predicting various texture attributes, like adhesiveness and firmness, and for giving significant information about the tubers after thermal treatments, like blanching (Goldner et al., 2012; Arvanitoyannis, Vaitis & Mavromatis, 2008; Thygesen, Thybo, & Engelsen, 2001). Regarding to starch, its digestibility and formation is influenced by several factors such as cultivar, growth stage, starch crystallinity, granular structure, amylose content, and retrogradation of amylose as well as processing and post-harvest storage conditions. Gelatinization and retrogradation are important functional properties of starch; gelatinization is required to impart thickening and swelling and retrogradation is necessary for the stability of starch during storage (Pinhero et al., 2012; Mishra, Monro & Hedderley, 2008).

Temperature is also an important factor for potatoes storage. Tubers stored at temperatures below 9–10 °C result in high levels of reducing sugars that participate in the Maillard browning reaction during frying resulting in an unacceptable dark-brown color to consumers. By the other hand, reduced temperatures of storage has various advantages such as decreasing of respiration and consequently lower weight loss, natural control of sprouting, elimination of chemical sprout inhibitors which poses health and environmental concerns, and control of bacterial and fungal pathogens (Pinhero et al., 2012).

In recent years, several treatments are been using to replace current ways to prolonging shelf life besides reducing the quality loss of fresh-cut products. Blanching is a method commonly used in minimally processed potatoes to prevent enzymatic browning by inactivating polyphenol oxidase, promoted more uniform color after frying, limit oil absorption and improves texture (Severini et al., 2003; Moreira, Castell-Perez & Barrufet 1999). However, it is also known that this thermal treatment could lead to a loss of firmness and of other quality attributes of the product, such as nutrients, flavor and colour (Alvarez, Canet & Tortosa, 2001). As a result, non-thermal processing technologies and edible coatings, including ultrasound and

alginate, are been increasingly used in the food industry and may offer an alternative to thermal processing methods.

According to Amaral et al. (2014), ultrasound may be valid to the fresh-cut industry since the majority of components and sensory attributes are not affected. Studies about the use of ultrasound in mango juice showed improvement in clarity, carotenoid contents, phenolic compounds and antioxidants, besides the reduction in microbial load (Santhirasegaram, Razali & Somasundram, 2013). These authors also stated this treatment is a good alternative to thermal treatment and indicate the combination of sonication with other thermal or non-thermal technology. Ultrasound has been noticed by reducing the loss of firmness of kiwifruit (Meng, Zhang & Adhikari, 2014) and plum fruit during storage (Chen and Zhu, 2011). Similarly, a recent research developed by Amaral et al., (2014) about the effectiveness of ultrasound in fresh-cut potatoes found that this treatment affect the tuber microstructure, but does not affect the firmness and no changes were observed in color.

Edible coatings are widely used in the industry of whole and fresh-cut products to preserve quality. Alginate has been used to reduce weight loss and microbial load in carrots (Amanatidou et al., 2000), maintain the quality and prolong shelf life of fresh-cut apples (Rojas-Graü et al., 2007), reduce stress of failure and browning along the storage of fresh-cut mangoes (Chiumarelli et al., 2011). Therefore, the association of alginate and nanomaterials can quite beneficial effects on the qualities of shiitake mushrooms during an extended storage (Jiang, Feng & Wang, 2013).

Hence, the aim of this work was investigate the effectiveness of alginate and the combination of ultrasound and citric compared with blanching on the quality of fresh-cut and fried potatoes.

Material and Methods

Plant material

Potatoes (*Solanum tuberosum* L.) of the Asterix cultivar were acquired from Mercabarna (Mercados de Abastecimientos de Barcelona SA), selected, washed in tap water to remove surface dirt, dried and stored in the dark at cooling temperature (12 °C) prior to processing.

Preparation of the solutions

Alginate solution: it was prepared by dissolving sodium alginate (2 %, w/v) in heated distilled water by stirring the solution at 70 °C until the mixture became clear. Glycerol was added as plasticizer to 1.5 %, w/v alginate. The concentration of coating ingredients in this formulation was set up according previous studies. For the crosslinking of polymers, a calcium lactate (2%, w/v) was also prepared. The alginate solutions were stored during 24 h at room temperature (20 °C) to eliminate trapped air (Chiumarelli et al., 2011).

Citric acid: it was prepared by dissolving citric acid (2 %, w/v) in distilled water directly in the ultrasound equipment.

Potato strips preparation

Potato tubers, free of defects, were hand-peeled, cut into rectangular strips with a cross-section of 10 x 10 mm with a manual vegetable slicer and immediately rinsed in distilled water. The strips were then centrifuged in a manual centrifuge to eliminate excess water. No postharvest chemical washing treatment was applied in order to achieve the complete antibrowning potential for each treatment. Then, strips were randomly assigned into four groups.

1. Control: potato strips rinsed in distilled water;
2. Blanching: immersion of the strips in heated water (85 °C for 3.5 min; Pedreschi and Moyano 2005). Blanched samples were stored for ten minutes at room temperature and dried in paper towel.
3. Ultrasound+citric acid: potato strips were dipped in citric acid solution (2 %) for 5 minutes in combination with an ultrasound bath with 42 kHz frequency (200 W of generation power; P-SELECTA 3000617, Barcelona, Spain) filled with the citric acid solution. Treated samples were also stored for ten minutes at room temperature and dried in paper towel.
4. Alginate: strips were dipped into calcium lactate solution for 3 minutes and subsequently immersed in sodium alginate solution (2 %) for more 3 minutes. Coated strips were drained at $16 \pm 2^{\circ}$ C for 1 hour in order to dry the coating material.

The potato:water ratio was 1:4 (w/w) for all solutions. All samples were vacuum packed (-0.98 bar) in PA/PEHD bags and stored at 3 ± 1 °C for up to 12 days. Two replicates of 100 ± 5 g of fresh-cut potatoes were assessed for each treatment and sampling date.

Frying

Prior to frying, 1 L of sunflower oil (0.5 g linoleic/100g) was pre-heated in a deep-fat fryer. Then, 200 ± 10 g of each treatment of potato strips were fried at 180 ± 10 °C for 6 minutes. After frying, the strips were removed from the oil, drained for one minute and then air-dried at room temperature for 10 minutes. The color and firmness of the samples were then assessed. Samples of fried potatoes were collected and kept frozen at -20 °C for analysis afterwards.

Analysis

Analyses of microorganisms, total starch and oil content were carried out on the first and last days of storage. The other parameters were carried out on days 1, 4, 8 and 12 for the fresh-cut and fried potatoes. For total starch content and total sugars, samples were collected, immediately frozen at -20 °C and subsequently freeze-dried at -54 °C and 0.07 mbar vacuum for 40 h by Telstar Cryodos -50 freeze dryer (1 KVA of potency, model 2G-6, Telstar, Barcelona, Spain).

pH

The pH was measured with a potentiometer according to AOAC (981.12). The analysis was performed in triplicate.

Color

Lightness to darkness (L^*) (100 to 0), redness (+) to greenness (-) (a^*), and yellowness (+) to blueness (-) (b^*) color parameters in the CIE Lab scale were determined with a colorimeter (Konica Minolta CR-400), using a D_{65} light source and 10° as the observed standard; results are expressed in L^* and Hue ($H^* = \tan^{-1} (a^*/b^*)$). Ten readings were taken on two sites on the surface of the potato strips for each treatment (Oner and Walker, 2011).

Firmness

The firmness was measured using the texture analyzer (TA.XT Plus, Stable Micro Systems Co. Ltd., UK) equipped with a 30 kg load cell and connected with a Warner Bratzler blade set with a speed of 1 mm s^{-1} . Twenty measurements of each treatment and day were

made. Firmness was measured as the maximum shear strength values and expressed as maximum force (N).

Dry matter determination

The dry matter content of the raw and fried samples was determined by drying 5 g of potato at 65 °C for 24 h (AOAC 2005). The dry matter content was calculated from the weight difference (g dry matter/100 g of fresh weight, FW). These determinations were made in triplicate.

Total starch

Total starch analysis was performed by enzymatic hydrolysis. Analyses were conducted using 100 mg of freeze-dried samples according to AOAC 996.11 and AACC 76.13 procedures. The absorbance of the resulting red complex was measured at $\lambda = 510$ nm and the results of three replications were expressed by (g·100 g⁻¹ of lyophilized weigh, LW).

Polyphenol oxidase activity

Samples of 3 g of frozen tissue powder were homogenized in 18 mL of McIlvaine buffer solution, pH 6.5, together with 5 % g of polyvinylpyrrolidone (PVP), and 1 M NaCl. The solution was centrifuged at 12,000x g for 15 min. The supernatant was used for PPO activity measured by determining the absorbance increase at 410 nm over a period of 3 min. The reaction mixture contained 1.5 mL of extract, 1mL of phosphate buffer, and 0.5 mL of 100 mM 4-methylcatechol. The results of four replications were expressed as units of enzymatic activities. One unit of PPO activity was defined as a change in absorbance at 400 nm per min and mL of enzymatic extract. The initial reaction rate was estimated from the linear portion of the plotted curve (Cabezas-Serrano et al., 2009; Soliva-Fortuny et al., 2002; Kahn, 1977).

Sugars

Fructose, glucose and sucrose content were extracted and measured as described by (López Hernández et al., 1998) with slight modifications. Samples of 2 g of lyophilized sample were extracted by refluxing for 30 min with 20 mL of 70% ethanol. The extract was vacuum-filtered and the filtrate fillet to 25 mL with ethanol. A 5 mL aliquot of the solution was passed through a Waters Sep-Pak C column, filtered (0.45 µm pore size membrane), and the injected into the chromatograph Hewlett Packard series 1100. The instrument was equipped with a Beckman 110B injector and a Beckman Refraction Index Detector (RID). The fructose, glucose and sucrose separation was performed using a Phenomenex Luna column (250 x 4.6

mm i.d.) at a constant temperature of 28 °C using isocratic elution of acetonitrile-water (78:22 v/v), and the flow rate was 1.2 mL·min⁻¹. The average of the results of three replications were expressed by g 100⁻¹ of fresh weight.

Microbial load

Analysis of total coliforms (30 °C; ISO 4832:2006), enterobacter (37 °C; ISO 21528-2:2004), aerobic (30 °C; ISO 4833:2003), yeasts and molds (ISO 21257:2008) were performed according official methods of B.O.E. The assays were carried out with controls and guarantees established in the management system based on ISO standard 17025.

Statistical analysis

Data were the mean of duplicate replications. They were subjected to one-way analyses of variance (ANOVA) using Minitab (v. 16, MINITAB Inc, State College, PA) to compare the statistical effects of treatment and the effect of the storage on the potato strips at a 95% confidence level. The differences between samples were determined using Tukey's least significant difference test.

Results and discussion

Fresh-cut samples

pH

There was observed a reduction of pH of control samples throughout storage (Table 1). As expected, the use of citric acid reduced the pH of fresh-cut potatoes. This behavior is in accordance with results reported by Calder et al. (2011) that also observed reduction of pH of fresh-cut potatoes after immersion in solutions of sodium acid sulfate and citric acid.

Table 1. pH of fresh-cut “Asterix” potato submitted to different treatments and stored at 3±1 °C for 12 days^a

Treatment	Storage time (days)			
	1	4	8	12
Control	5.71 ± 0.04 Aa	5.56 ± 0.04 Bab	5.40 ± 0.08 ABb	5.38 ± 0.03 Ab
Blanching	5.96 ± 0.11 Aa	5.91 ± 0.07 Aa	5.92 ± 0.07 Aa	5.60 ± 0.35 Aa
US + C	4.99 ± 0.01 Ba	4.93 ± 0.02 Cb	4.89 ± 0.04 Ba	4.89 ± 0.01 Aa
Alginate	5.73 ± 0.01 Aa	5.60 ± 0.01 Ba	5.48 ± 0.16 Aa	5.17 ± 0.28 Aa

a – Values are the average of two determinations ± error deviation. Values within a column followed by the same capital letter indicate that mean values are not significantly different by Tukey’s test ($p < 0.05$) between treatments. Values within the same line followed by the same small letter indicate that mean values are not significantly different by Tukey’s test ($p < 0.05$) along time.

Color changes

Storage did not affect the color (L^* and Hue) of fresh-cut potatoes (Tables 2a and 2b). From the eighth day of storage, the immersion of strips in sodium alginate solution promoted reduction of lightness of potatoes and, according to Calder et al. (2011), this is a signal of browning.

Table 2a. Color changes (L^*) of fresh-cut “Asterix” potato submitted to different treatments and stored at 3±1 °C for 12 days^a

Treatment	Storage time (days)			
	1	4	8	12
Control	61.92 ± 1.66 Aa	61.67 ± 1.34 Aa	62.68 ± 0.71 Aa	61.14 ± 2.14 ABa
Blanching	60.87 ± 1.79 Aa	66.02 ± 5.65 Aa	63.26 ± 0.12 Aa	63.75 ± 0.46 Aa
US + C	62.80 ± 0.35 Aa	61.88 ± 1.46 Aa	62.35 ± 1.38 Aa	61.27 ± 0.12 ABa
Alginate	56.10 ± 1.20 Aa	54.60 ± 1.49 Aa	56.27 ± 0.96 Ba	55.33 ± 0.96 Ba

a – Values are the average of two determinations ± error deviation. Values within a column followed by the same capital letter indicate that mean values are not significantly different by Tukey’s test ($p < 0.05$) between treatments. Values within the same line followed by the same small letter indicate that mean values are not significantly different by Tukey’s test ($p < 0.05$) along time.

Except for blanched samples that showed higher values of Hue angle immediately after processing and during the storage, the Hue angle of fresh-cut potatoes was about 100°, as

observed by Fernandes et al. (2010). The authors also stated that this value indicates a yellow pulp of potato, desirable for frying.

In spite of results do not show, ultrasound-treated strips had better appearance than the other treatments and control over storage time.

Table 2b. Color changes (Hue angle) of fresh-cut “Asterix” potato submitted to different treatments and stored at 3 ± 1 °C for 12 days^a

Treatment	Storage time (days)			
	1	4	8	12
Control	100.27 $\pm$ 0.88 Ba	101.54 $\pm$ 0.01 Ba	101.16 $\pm$ 0.06 Ba	100.74 $\pm$ 0.36 Ba
Blanching	124.72 $\pm$ 0.28 Aa	124.60 $\pm$ 2.20 Aa	127.61 $\pm$ 0.91 Aa	126.56 $\pm$ 2.39 Aa
US + C	101.89 $\pm$ 0.11 Ba	102.47 $\pm$ 0.21 Ba	101.96 $\pm$ 0.17 Ba	102.01 $\pm$ 0.12 Ba
Alginate	101.21 $\pm$ 0.06 Ba	101.48 $\pm$ 0.09 Ba	100.79 $\pm$ 0.31 Ba	100.96 $\pm$ 0.07 Ba

a – Values are the average of two determinations $\pm$ error deviation. Values within a column followed by the same capital letter indicate that mean values are not significantly different by Tukey’s test ($p < 0.05$) between treatments. Values within the same line followed by the same small letter indicate that mean values are not significantly different by Tukey’s test ($p < 0.05$) along time.

Dry matter content

Dry matter content in potatoes is very important for texture and has been found appropriate to predict various texture attributes and for giving significant information about potatoes after application of treatments (Goldner et al., 2012, Arvanitoyannis et al., 2008; Thygesen, Thybo & Engelsen, 2001).

In agreement with our results, Tajner-Czopek, Figiel & Carbonell-Barrachina (2008) observed that the initial dry matter content of potato tubers was 20.8% and dry matter of potato strips after blanching was 20.3%. In this study, initial dry matter content varied from 17.52 to 20.29 g.100g⁻¹ (Table 3). Similar values were found by Van Dijk, Fischer & Holm (2002) for steamed potatoes. The content was not affected by treatments and storage. Contrarily, Arvanitoyannis, Vaitis & Mavromatis, (2008) observed negative effect of time in dry matter content and firmness of two varieties of potato.

Table 3. Dry matter content ($\text{g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ FW) of fresh-cut “Asterix” potato submitted to different treatments and stored at 3 ± 1 °C for 12 days^a

Treatment	Storage time (days)			
	1	4	8	12
Control	19.20 ± 1.13 Aa	17.58 ± 0.15 Aa	17.25 ± 0.21 Aa	19.03 ± 0.40 Aa
Blanching	20.29 ± 0.16 Aa	19.60 ± 0.92 Aa	20.37 ± 1.28 Aa	19.95 ± 0.29 Aa
US + C	18.56 ± 0.60 Aa	18.57 ± 1.75 Aa	18.22 ± 2.27 Aa	17.88 ± 0.40 Aa
Alginate	17.52 ± 1.60 Aa	15.67 ± 1.63 Aa	15.54 ± 2.36 Aa	17.15 ± 2.08 Aa

a – Values are the average of two determinations $\pm$ error deviation. Values within a column followed by the same capital letter indicate that mean values are not significantly different by Tukey’s test ($p < 0.05$) between treatments. Values within the same line followed by the same small letter indicate that mean values are not significantly different by Tukey’s test ($p < 0.05$) along time.

Firmness

Initial values of firmness of fresh-cut potatoes without any treatment were about 7 N (Table 4). This value is slightly lower than that found by Feltran, Lemos & Vieites (2004) for Asterix (8.15 N) potatoes.

Table 4. Firmness (N) of fresh-cut “Asterix” potato submitted to different treatments and stored at 3 ± 1 °C for 12 days^a

Treatment	Storage time (days)			
	1	4	8	12
Control	7.00 ± 0.05 Aa	7.43 ± 0.12 Aa	7.07 ± 0.17 Aa	7.11 ± 0.13 Aa
Blanching	5.19 ± 0.36 Ba	5.34 ± 0.35 Ba	5.90 ± 0.66 Aa	6.11 ± 0.06 Aa
US + C	6.53 ± 0.17 Aa	6.68 ± 0.15 Aa	7.14 ± 0.11 Aa	6.81 ± 0.26 ABa
Alginate	6.87 ± 0.02 Aa	7.10 ± 0.12 Aa	6.87 ± 0.01 Aa	6.83 ± 0.01 ABa

a – Values are the average of two determinations $\pm$ error deviation. Values within a column followed by the same capital letter indicate that mean values are not significantly different by Tukey’s test ($p < 0.05$) between treatments. Values within the same line followed by the same small letter indicate that mean values are not significantly different by Tukey’s test ($p < 0.05$) along time.

Blanching affected the maximum force of fresh-cut potatoes. Samples submitted to this treatment showed lower firmness than the other treatments and control, indicating softening of the product. Alvarez, Canet & Tortosa (2001) stated that blanching temperatures influence the

softening of potato tissue by starch gelatinization and changes in pectic substances. Although García-Segovia, Andrés-Bello & Martínez-Monzó (2008) had established that variations in texture during thermal treatments could be associated to changes in starch, this behavior was not observed in this study, at least for total starch results.

Polyphenol oxidase activity

Enzymatic browning is a result from reactions between oxidative enzymes, such as polyphenol oxidase and/or phenol peroxidases, and phenols. However, in fresh-cut potatoes the mechanism of browning is still very obscure (Wang et al., 2015, Degl’Innocenti et al., 2007).

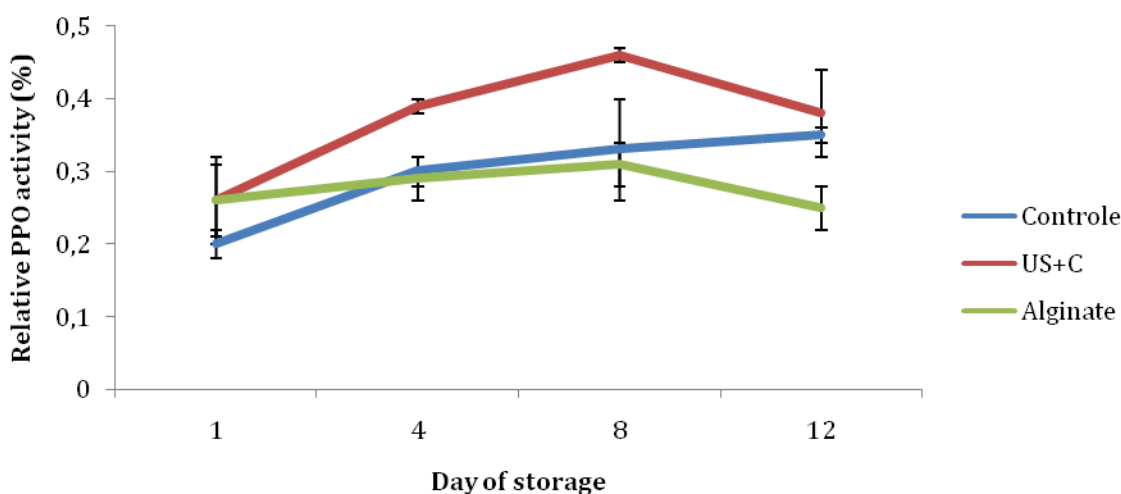


Figure 1. PPO activity of fresh-cut “Asterix” potato submitted to different treatments and stored at 3 ± 1 °C for 12 days^a

No significant differences were found between treatments and storage time (Figure 1). Similar behavior was also noticed by Wang et al. (2015) in their work with the effects of postharvest curing treatment (10 day at 16 °C) in fresh-cut potato products. These authors observed that higher PPO activity does not always correlate with high browning. Cantos et al. (2002) also found no relationship between PPO activity and browning in potato strips (8 x 8mm) stored at 4 °C for 6 days.

Studies developed by Jiang (2013) about the use of sodium alginate in mushrooms showed similar patterns of PPO activity in coating-treated and control products. On the other

hand, the synergistic effect of alginate coating (2% and 3%) and 100% O₂ treatment had a positive answer in the inhibition of the activity of the enzyme ($p < 0.05$).

The enzymatic control of polyphenol oxidase, which sometimes is related with browning of fruits and vegetables, can be accomplished by pH adjustment and/or the addition of temperature, the use of chelators, or reducing agents (Girelli et al., 2004). Contrarily of this statement, in our results there was no effect of citric acid or blanching in the PPO activity.

Carbohydrates content in fresh-cut potatoes: total starch and total sugars content

Total starch content

The total starch content varied from $58.89 \text{ g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ to $76.81 \text{ g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ (Table 5). These values are slightly below that those found by Fernandes et al. (2010). ANOVA showed that the total starch content was not affected by treatments ($p > 0.05$). However, the association of ultrasound and citric acid influenced the total starch content and after twelve days of storage this content was reduced.

Table 5. Total starch ($\text{g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ LW) of fresh-cut “Asterix” potato submitted to different treatments and stored at 3 ± 1 °C for 12 days^a

Treatment	Storage time (days)	
	1	12
Control	$58.89 \pm 2.83 \text{ Aa}$	$63.96 \pm 0.05 \text{ Aa}$
Blanching	$69.01 \pm 5.21 \text{ Aa}$	$76.81 \pm 8.43 \text{ Aa}$
US + C	$69.21 \pm 0.03 \text{ Aa}$	$63.90 \pm 0.11 \text{ Ab}$
Alginate	$69.48 \pm 5.86 \text{ Aa}$	$70.83 \pm 0.53 \text{ Aa}$

a – Values are the average of two determinations $\pm$ error deviation. Values within a column followed by the same capital letter indicate that mean values are not significantly different by Tukey’s test ($p < 0.05$) between treatments. Values within the same line followed by the same small letter indicate that mean values are not significantly different by Tukey’s test ($p < 0.05$) along time.

Total sugars content

Sugars content showed a great variation (Table 6). According to Rodriguez-Saona & Worlstad (1997) and Fernandes et al. (2010) just the content of sugars is not enough to explain or predict the quality of fried potatoes. Results of studies carried out by Fernandes et al. (2010)

concluded that despite Markies and Mondial varieties showed higher and lower sugars content, respectively, these varieties presented acceptable color of fried samples.

Table 6. Total sugars (glucose, fructose and sucrose) content ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}\text{FW}$) of fresh-cut “Asterix” potato submitted to different treatments and stored at $3\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ for 12 days^a

Treatment	Storage time (days)			
	1	4	8	12
Control	8.10 ± 2.10 Aa	5.50 ± 1.00 Aa	6.90 ± 0.70 Aa	6.80 ± 3.90 Aa
Blanching	5.70 ± 2.50 Aa	5.60 ± 1.40 Aa	5.60 ± 0.80 Aa	6.80 ± 4.10 Aa
US + C	6.90 ± 2.90 Aa	5.70 ± 1.70 Aa	5.30 ± 1.30 Aa	5.50 ± 1.10 Aa
Alginate	6.30 ± 2.80 Aa	2.50 ± 0.30 Aa	3.90 ± 0.30 Aa	6.20 ± 2.80 Aa

a – Values are the average of two determinations $\pm$ error deviation. Values within a column followed by the same capital letter indicate that mean values are not significantly different by Tukey’s test ($p < 0.05$) between treatments. Values within the same line followed by the same small letter indicate that mean values are not significantly different by Tukey’s test ($p < 0.05$) along time.

Mestdagh et al. (2008) affirmed that due to senescent sweetening, it is known that potatoes accumulate sugars upon prolonged storage and they observed an increase in the sugar content of potato strips. Similar studies performed by Ertuk and Picha (2007) with shorter times of storage did not show significant effects of modified atmosphere film bag, storage time and temperature on glucose content of fresh-cut sweet potatoes. It was not observed changes in fructose, glucose and sucrose contents during the storage.

Microbial load

Regarding the reduction of microbial load, sodium alginate was not effective to reach this goal (Figure 2). The contamination of strips was much higher after the application of this treatment. One reason for this behavior can be the contamination to prepare the solutions.

The combination of ultrasound and citric acid was effective in the reduction of contamination of fresh-cut potatoes. Ultrasound has proven effective in the inactivation of microorganisms, allowing treatment of heat-sensitive material (Hunter et al., 2008). The inactivation could be from a combination of physical and chemical mechanisms, which occur during cavitation and cause the formation of free radicals and H_2O_2 (Oyane et al., 2009).

Therefore, Calder et al. (2011) reported that acidulant dip treatments appeared to be effective in lowering pH of potatoes, also reducing microbial counts over storage time.

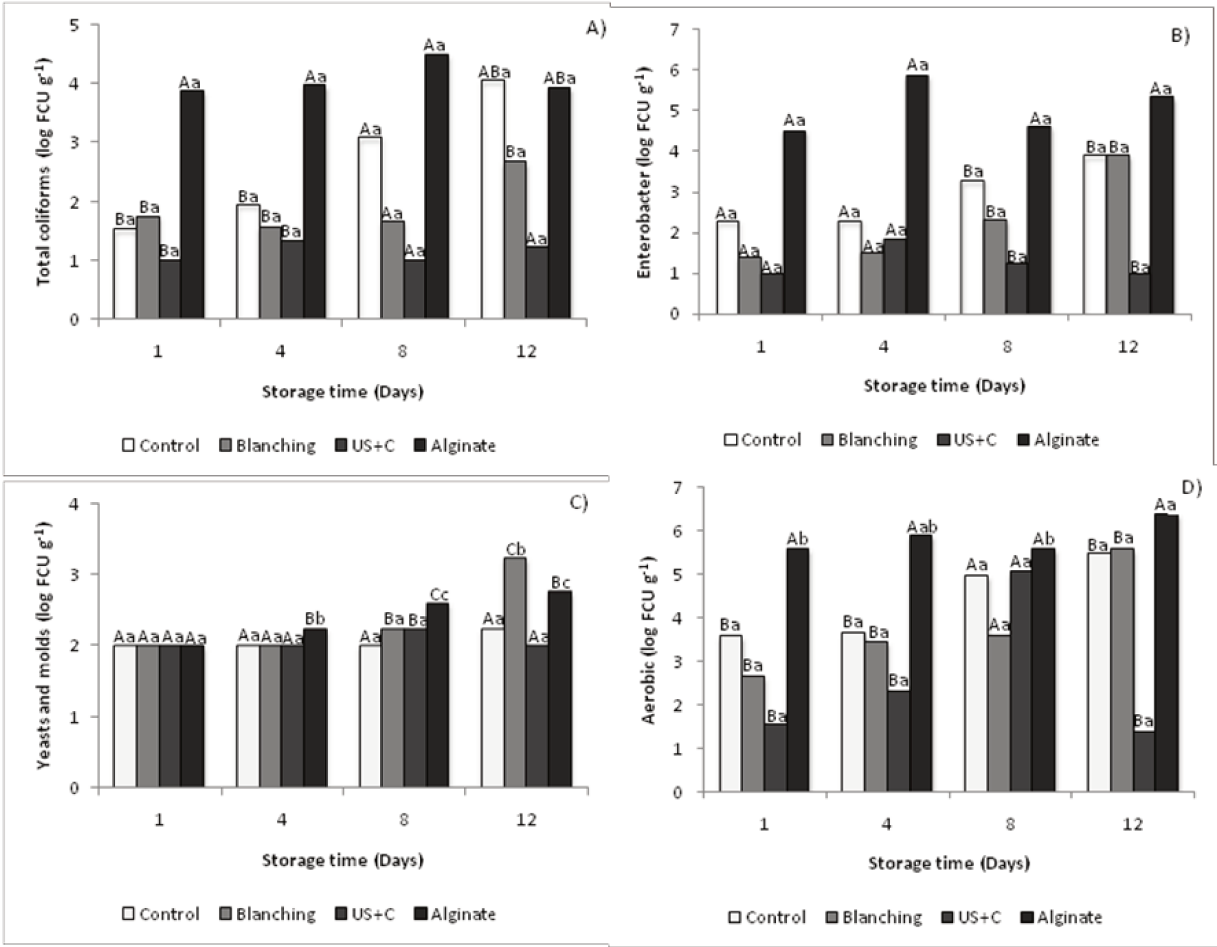


Figure 2. Microbial load of fresh-cut “Asterix” potato submitted to different treatments and stored at 3±1 °C for 12 days^a.

a – Values are the average of two determinations ± error deviation.

Fried samples

Absorption of oil

No changes were observed in the oil absorption of fried potatoes after the application of treatments and during the storage (Table 7). Moreno, Brown & Bouchon (2010) pointed out that fried products reached the equilibrium after 10 min of cooling, when the competition between drainage of oil from the surface and suction of oil within the crust has ceased. Studies

performed by these authors did not find changes in the oil content of deep-fat fried potato-flake-based product and gluten-based product after 10 min of cooling.

Table 7. Absorption of oil ($\text{g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ FW) of fried “Asterix” potato strips submitted to different treatments and stored at 3 ± 1 °C for 12 days^a

Treatment	Storage time (days)	
	1	12
Control	17.79 ± 1.85 Aa	14.62 ± 0.11 Aa
Blanching	17.28 ± 2.01 Aa	15.93 ± 1.25 Aa
US + C	15.59 ± 0.22 Aa	14.30 ± 0.30 Aa
Alginate	15.51 ± 0.19 Aa	13.91 ± 1.15 Aa

a – Values are the average of two determinations $\pm$ error deviation. Values within a column followed by the same capital letter indicate that mean values are not significantly different by Tukey’s test ($p < 0.05$) between treatments. Values within the same line followed by the same small letter indicate that mean values are not significantly different by Tukey’s test ($p < 0.05$) along time.

Color changes

The aspect and color of the food is the first quality parameter evaluated by consumers and is very important for the acceptance of the product, even before they taste it (Pedreschi & Moyano, 2005).

Table 8a. Color changes (L^*) of fried “Asterix” potato strips submitted to different treatments and stored at 3 ± 1 °C for 12 days^a

Treatment	Storage time (days)			
	1	4	8	12
Control	58.81 ± 4.83 Aa	59.86 ± 4.32 Aa	58.48 ± 3.19 Aa	57.75 ± 3.80 Aa
Blanching	56.90 ± 7.73 Aa	54.71 ± 2.52 Aa	58.53 ± 4.07 Aa	55.34 ± 7.84 Aa
US + C	60.35 ± 0.56 Aa	61.44 ± 1.84 Aa	57.39 ± 4.51 Aa	59.12 ± 1.59 Aa
Alginate	54.68 ± 4.26 Aa	55.16 ± 7.38 Aa	59.00 ± 3.11 Aa	56.40 ± 3.75 Aa

a – Values are the average of two determinations $\pm$ error deviation. Values within a column followed by the same capital letter indicate that mean values are not significantly different by Tukey’s test ($p < 0.05$) between treatments. Values within the same line followed by the same small letter indicate that mean values are not significantly different by Tukey’s test ($p < 0.05$) along time.

As observed for fresh-cut samples, storage did not affect the color (L^* and Hue) of fried potatoes (Tables 8a and 8b). Previous studies performed by Calder et al. (2011) found browning of control samples almost immediately after processing supported by significantly lower L -values of control treated fries. Another study developed by Fernandes et al. (2010) with five varieties of potatoes, Asterix included, and two ways of processing, verified that Atlantic strips showed higher values of L^* . Meanwhile, chips of Asterix and Atlantic cultivars presented lighter values. These authors also concluded that the way of processing of “Asterix” cultivar did not affect the lightness of the final product.

Table 8b. Color changes (Hue angle) of fried “Asterix” potato strips submitted to different treatments and stored at 3 ± 1 °C for 12 days^a

Treatment	Storage time (days)			
	1	4	8	12
Control	89.03 $\pm$ 6.56 Aa	82.83 $\pm$ 1.72 Aa	86.05 $\pm$ 6.48 Aa	86.95 $\pm$ 9.03 Aa
Blanching	84.00 $\pm$ 10.20 Aa	75.33 $\pm$ 2.56 Aa	81.07 $\pm$ 5.89 Aa	80.00 $\pm$ 13.00 Aa
US + C	90.54 $\pm$ 4.11 Aa	92.29 $\pm$ 5.12 Aa	85.62 $\pm$ 6.37 Aa	89.58 $\pm$ 5.20 Aa
Alginate	83.15 $\pm$ 2.85 Aa	84.30 $\pm$ 10.60 Aa	88.57 $\pm$ 2.56 Aa	81.11 $\pm$ 3.55 Aa

a – Values are the average of two determinations $\pm$ error deviation. Values within a column followed by the same capital letter indicate that mean values are not significantly different by Tukey’s test ($p < 0.05$) between treatments. Values within the same line followed by the same small letter indicate that mean values are not significantly different by Tukey’s test ($p < 0.05$) along time.

Dry matter content

No significant differences were observed in dry matter content of fried potatoes (Table 9). Tajner-Czopek, Figiel & Carbonell-Barrachina (2008) stated the hardness of the French fries increased as the dry matter of the potato strips increased. This statement is in agreement with our studies, once there was no increase in both parameters.

Table 9. Dry matter content ($\text{g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ FW) of fried “Asterix” potato strips submitted to different treatments and stored at 3 ± 1 °C for 12 days^a

Treatment	Storage time (days)			
	1	4	8	12
Control	44.45 ± 1.80 Aa	41.69 ± 0.14 Aa	46.33 ± 1.14 Aa	44.91 ± 0.27 Aa
Blanching	45.20 ± 1.15 Aa	46.35 ± 4.19 Aa	49.23 ± 1.06 Aa	48.92 ± 3.18 Aa
US + C	45.24 ± 2.98 Aa	43.28 ± 1.25 Aa	43.90 ± 1.75 Aa	46.94 ± 0.03 Aa
Alginate	43.01 ± 1.79 Aa	39.49 ± 2.06 Aa	42.86 ± 3.79 Aa	43.17 ± 1.41 Aa

a – Values are the average of two determinations $\pm$ error deviation. Values within a column followed by the same capital letter indicate that mean values are not significantly different by Tukey’s test ($p < 0.05$) between treatments. Values within the same line followed by the same small letter indicate that mean values are not significantly different by Tukey’s test ($p < 0.05$) along time.

Firmness

Firmness results (Table 10) showed no significant ($p > 0.05$) differences in maximum force through fry surfaces on the first eight days of analysis. This finding is consistent with previous reports by Calder et al. (2011) that also did not find significant differences in force to puncture of fried potatoes, although the control and citric acid-treated fry slices had a more dried and case-hardened appearance on the surface of the raw fries over storage time. On the last day of storage, the maximum force of samples treated with the combination of ultrasound and citric acid differed that blanched ones.

Table 10. Firmness (N) of fried “Asterix” potato strips submitted to different treatments and stored at 3 ± 1 °C for 12 days^a

Treatment	Storage time (days)			
	1	4	8	12
Control	1.27 ± 0.19 Aa	1.41 ± 0.20 Aa	1.56 ± 0.31 Aa	1.55 ± 0.03 ABa
Blanching	1.14 ± 0.22 Aa	1.23 ± 0.11 Aa	1.16 ± 0.18 Aa	1.23 ± 0.01 Ba
US + C	1.64 ± 0.25 Aa	1.38 ± 0.26 Aa	2.07 ± 0.23 Aa	1.91 ± 0.20 Aa
Alginate	1.40 ± 0.14 Aa	1.74 ± 0.45 Aa	1.79 ± 0.05 Aa	1.76 ± 0.04 ABa

a – Values are the average of two determinations $\pm$ error deviation. Values within a column followed by the same capital letter indicate that mean values are not significantly different by Tukey’s test ($p < 0.05$) between treatments. Values within the same line followed by the same small letter indicate that mean values are not significantly different by Tukey’s test ($p < 0.05$) along time.

Conclusions

The results presented in this study indicate that ultrasound treatment associated to citric acid has potential for not increase the microbiological growth of microorganisms relevant to fresh-cut potatoes. Therefore, the visual aspect of fresh-cut potatoes treated with ultrasound+citric acid was much better than the others treatments and control. The quality of fried potatoes was not affected by the use of this treatment.

On the other hand, edible coating worsened some of the quality attributes of fresh-cut potatoes. The application of sodium alginate promoted reduction of lightness and browning of the strips, but could not maintain the microbiological quality, thereby considerably reducing the shelf life.

Blanching treatment, despite being used by several authors for fresh-cut potatoes, affected negatively the potato quality, especially on color and firmness.

The application of treatments did not affect the attributes of potatoes after frying, without significative changes in absorption of oil, color and firmness.

References

- Alvarez, M.D., Canet, W., Tortosa, M.E. (2001). Kinetics of thermal softening of potato tissue (cv. Monalisa) by water heating. *European Food Research and Technology*, **212**, 588–596.
- Amanatidou, A., Slump, R.A., Gorris, L.G.M., Smid, E.J. (2000). High oxygen and high carbon oxide modified atmospheres for shelf life extension of minimally processed carrots. *Journal of Food Science*, **65**, 61–66.
- Amaral, R.D.A, Benedetti, B.C., Pujola, M., Achaerandio, I.; Bachelli, M.L.B. (2014). Effect of Ultrasound on Quality of Fresh-Cut Potatoes During Refrigerated Storage. *Food Engineering Reviews*. doi.10.1007/s12393-014-9091-x.
- AOAC. Association of Official Analytical Chemists. (2005) *Official methods of analysis*, 18 ed. Gaithersburg, 2005.
- Arvanitoyannis, I. S., Vaitis, O., Mavromatis, A. (2008). Physico-chemical and sensory attributes in conjunction with multivariate analysis of two potato (*Solanum tuberosum* L.)

cultivars after 90 days of storage: an exploratory authentication study. *International Journal of Food Science and Technology*, **43**, 1960-1970.

Cabezas-Serrano, A.B., Amodio, M.L., Cornacchia, R., Rinaldi, R., Colelli, G. (2009). Suitability of five different potato cultivars (*Solanum tuberosum* L.) to be processed as fresh-cut products. *Postharvest Biology and Technology*, **53**, 138–144.

Calder, B.L., Kash, E.A., Davis-Dentici, K., Bushway, A.A. (2011). Comparison of Sodium Acid Sulfate to Citric Acid to Inhibit Browning of Fresh-Cut Potatoes. *Journal of Food Science*, **76**, S164-S169.

Cantos, E., Tudela, J. A., Gil, M. I., Espín, J. C. (2002). Phenolic compounds and related enzymes are not rate-limiting in browning development of fresh-cut potatoes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **50**, 3015–3023.

Chen, Z., Zhu, C. (2011). Combined effects of aqueous chlorinedioxide and ultrasonic treatments on postharvest storage quality of plum fruit (*Prunus salicina* L.). *Postharvest Biology and Technology*, **61**, 117–123.

Chiumarelli, M., Ferrari, C.C., Sarantópoulos, C.I.G.L., Hubinger, M.D. (2011). Fresh cut ‘Tommy Atkins’ mango pre-treated with citric acid and coated with cassava (*Manihot esculenta* Crantz) starch or sodium alginate. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, **12**, 381–387.

Degl’Innocenti, E., Pardossi, A., Tognoni, F., Guidi, L. (2007). Physiological basis of sensitivity to enzymatic browning in ‘lettuce’, ‘escarole’ and ‘rocket salad’ when stored as fresh-cut products. *Food Chemistry*, **104**, 209–215.

Ertuk, E., Picha, D. (2007). Effect of temperature and packaging film on nutritional quality of fresh-cut sweet potatoes. *Journal of Food Quality*, **30**, 450–465.

Feltran, J.C., Lemos, L.B., Vieites, R.L. (2004). Technological quality and utilization of potato tubers. *Scientia Agricola*, **61**, 598-603.

Fernandes, A.M., Soratto, R.P., Evangelista, R.M., Nardin, I. (2010). Qualidade físico-química e de fritura de tubérculos de cultivares de batata na safra de inverno. *Horticultura Brasileira*, **28**, 299-304.

García-Segovia, P., Andrés-Bello, A., Martínez-Monzó, J. (2008). Textural properties of potatoes (*Solanum tuberosum* L., cv. Monalisa) as affected by different cooking processes. *Journal of Food Engineering*, **88**, 28–35.

- Girelli, A.M., Mattei, E., Messina, A., Tarola, A.M. (2004). Inhibition of polyphenol oxidases activity by various dipeptides. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **52**, 2741–2745.
- Goldner, M.C., Pérez, O.E., Pilosof, M.R., Armada, M. (2012). Comparative study of sensory and instrumental characteristics of texture and color of boiled under-exploited Andean tubers. *LWT - Food Science and Technology*, **47**, 83-90.
- Hunter, G., Lucas, M., Watson, I., Parton, R. (2008). A radial mode ultrasonic horn for the inactivation of *Escherichia coli* K12. *Ultrasonics Sonochemistry*, **15**, 101–109.
- Jiang, T. (2013). Effect of alginate coating on physicochemical and sensory qualities of button mushrooms (*Agaricus bisporus*) under a high oxygen modified atmosphere. *Postharvest Biology and Technology*, **76**, p. 91–97.
- Jiang, T., Feng, L., Wang, Y. (2013). Effect of alginate/nano-Ag coating on microbial and physicochemical characteristics of shiitake mushroom (*Lentinus edodes*) during cold storage. *Food Chemistry*, **141**, 954–960.
- Kahn, V. (1977). Some biochemical properties of phenol oxidase from two avocado varieties differing in their browning rates. *Journal of Food Science*, **42**, 38–43.
- Li, X., Scanlon, M. G., Liu, Q., Coleman, W. K. (2006). Processing and value addition. In J. Gopal, A. M. P. Khurana (Eds.), *Potato production improvement and post-harvest management* (pp. 523–555). New York: Haworth Press.
- López-Hernández, J., González-Castro, M.J., Naya Alba, I., & de la Cruz García C. (1998). High-Performance liquid chromatographic determination of mono- and oligosaccharides in vegetables with evaporative light-scattering detection and refractive index detection. *Journal of Chromatographic Science*, **36**, 293-298.
- Meng, X., Zhang, M., Adhikari, B. (2014). The Effects of Ultrasound Treatment and Nano-zinc Oxide Coating on the Physiological Activities of Fresh-Cut Kiwifruit. *Food and Bioprocessing Technology*, **7**, 126-132.
- Mestdagh, F., De Wilde, T., Fraselle, S., Govaert, Y., Ooghe, W., Degroot, J., Verhé, R., Van Peteghem, C., De Meulenaer, B. (2008). Optimization of the blanching process to reduce acrylamide in fried potatoes. *LWT - Food Science and Technology*, **41**, 1648-1654.
- Mishra, S., Monro, J. A., & Hedderley, D. (2008). Effect of processing on slowly digestible starch and resistant starch in potatoes. *Starch-Starke*, **60**, 500-507.

- Moreno, M.C., Brown, C.A., Bouchon, P. (2010). Effect of food surface roughness on oil uptake by deep-fat fried products. *Journal of Food Engineering*, **101**, 179–186.
- Moreira, R.G., Castell-Perez, M.E., Barrufet, M.A. (1999). Deep-fat frying: fundamentals and applications. Gaithersburg: Aspen Publishers.
- Oner, M.E., Walker, P.N. (2011). Effect of Processing and Packaging Conditions on Quality of Refrigerated Potato Strips. *Journal of Food Science*, **76**, S35-S40.
- Oyane, I., Takeda, T., Oda, Y., Sakata, T., Furuta, M., Okitsu, K., et al. (2009). Comparison between the effects of ultrasound and c-rays on the inactivation of *Saccharomyces cerevisiae*: Analyses of cell membrane permeability and DNA or RNA synthesis by flow cytometry. *Ultrasonics Sonochemistry*, **16**, 532–536.
- Pedreschi, F., Moyano, P. (2005). Oil uptake and texture development in fried potato slices. *Journal of Food Engineering*, **70**, 557–563.
- Pinhero, R., Pazhekattu, R., Whitfield, K., Marangoni, A.G., Liu, Q., Yada, R.Y. (2012). Effect of genetic modification and storage on the physico-chemical properties of potato dry matter and acrylamide content of potato chips. *Food Research International*, **49**, p. 7–14.
- Rodrigues-Saona, L.E., Worlsted, R.E. (1997). Influence of potato composition on chip color quality. *American Potato Journal*, **74**, 87-106.
- Rojas-Graü, M.A., Raybaudi-Massilia, R.M., Soliva-Fortuny, R.C., Avena-Bustillos, R.J., McHugh, T H., Martín-Belloso, O. (2007). Apple puree-alginate edible coating as carrier of antimicrobial agents to prolong shelf-life of fresh-cut apples. *Postharvest Biology and Technology*, **45**, 254–264.
- Santhirasegaram, V., Razali, Z., Somasundram, C. (2013). Effects of thermal treatment and sonication on quality attributes of Chokanan mango (*Mangifera indica* L.) juice. *Ultrasonics Sonochemistry*, **20**, 1276-1282.
- Severini, C., Baiano, A., De Pilli, T., Romaniello, R., Derossi, A. (2003). Prevention of enzymatic browning in sliced potatoes by blanching in boiling saline solutions. *LWT - Food Science and Technology*, **36**, 657–665.
- Soliva-Fortuny, R., Biosca-Biosca, M., Grigelmo-Miguel, N., Martín-Belloso, O. (2002) Browning, polyphenol oxidase activity and headspace gas composition during storage of minimally processed pears using modified atmosphere packaging. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, **82**, 1490–1496.

- Tajner-Czopek, A., Figiel, A., Carbonell-Barrachina, A.A. (2008). Effects of potato strip size and pre-drying method on French fries quality. *European Food Research Technology*, **227**, 757–766.
- Thygesen, L. G., Thybo, A. K., Engelsen, S. B. (2001). Prediction of sensory texture quality of boiled potatoes from low-field ^1H NMR of raw potatoes. The role of chemical constituents. *LWT - Food Science and Technology*, **34**, 469-477.
- Van Dijk, C., Fischer, M., Holm, J. (2002). Texture of cooked potatoes (*Solanum tuberosum*). Relationships between dry matter content, sensory-perceived texture and near infrared spectroscopy. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **50**, 5082-5088.
- Wang, Q., Cao, Y., Zhou, L., Jiang, C., Feng, Y., Wei, S. (2015). Effects of postharvest curing treatment on flesh colour and phenolic metabolism in fresh-cut potato products. *Food Chemistry*, **169**, 246–254.

CAPÍTULO 9. Discussão geral

9.1 Discussão geral

Nesta tese foram estudados os efeitos da aplicação de ácido cítrico, alginato de sódio, banho de ultrassom e branqueamento usados isoladamente ou combinados na redução do escurecimento de batatas minimamente processadas, armazenadas sob refrigeração, e na diminuição das alterações indesejáveis de qualidade das mesmas após a fritura.

A adequação das variedades das batatas à finalidade de sua utilização é um fator muito importante a ser considerado no momento do processamento e tem sido estudada por diversos autores (CABEZAS-SERRANO *et al.*, 2009; FERNANDES *et al.*, 2010). Nos capítulos 3 (Effect of citric acid on browning of fresh-cut potatoes and on texture after frying) e 4 (Ultrasound as an alternative to blanching in fresh-cut potato: a first approach) esta suscetibilidade ficou bem evidenciada, com a diferença de matéria seca entre as cultivares Agata e Agria. A primeira por possuir um maior teor de água é mais apropriada para o cozimento, enquanto que a cultivar Agria é mais indicada para fritura.

Associado ao teor de matéria seca, a textura é outro fator importante na qualidade das batatas fritas. Do mesmo modo que para a matéria seca, os valores de força máxima da cultivar Agria foram mais compatíveis para a fritura.

Batatas minimamente processadas são muito sensíveis às reações de escurecimento. Apesar das opiniões divergentes, as alterações na cor do produto podem ser oriundas de reações catalisadas por enzimas, sendo a mais importante a polifenoloxidase (PPO). Além disso, o dano ao tecido causado pelas etapas do processamento mínimo aumenta a suscetibilidade ao ataque de microrganismos. Para reduzir essas reações, que são causa da perda de qualidade do produto minimamente processado, é muito importante o uso da baixa temperatura de armazenamento, embalagens que modifiquem a atmosfera e substâncias que sejam ao mesmo tempo inibidoras do escurecimento e que promovam a redução da contaminação microbiana.

Os estudos realizados nesta tese para avaliação do método mais empregado na redução destes efeitos mostraram que nas variedades de batata estudadas, o branqueamento, apesar de afetar positivamente a inibição do crescimento microbiano (exceto para a quantidade

de bolores e leveduras), promoveu alterações indesejáveis na cor das batatas minimamente processadas, na manutenção da firmeza do produto antes e depois da fritura, e na estrutura celular. Segundo García-Segovia, Andrés-Bello e Martínez-Monzó (2008) as propriedades texturais e a estrutura celular são diretamente afetadas pelo uso deste tratamento térmico. Já estudos realizados por Chiavaro *et al.* (2006) demonstraram que o uso de temperaturas de cocção induzem mudanças na cor dos produtos devido à reação de Maillard, resultando em zonas pigmentadas de coloração escura. O branqueamento, apesar de inativar algumas bactérias por promover a troca de calor através da superfície do alimento, é responsável por alterações indesejáveis na qualidade (ONER e WALKER, 2011).

Já o uso de tratamentos com soluções acidulantes promoveram alterações importantes nas batatas. O uso do ácido cítrico causou a redução do pH das amostras, que foi intensificada após a combinação com branqueamento. Outros estudos em batatas minimamente processadas com o uso deste agente redutor também atestam a redução do pH dos tubérculos (CALDER *et al.*, 2011). Além disso, também foi observado aumento da força máxima das batatas fritas, mantido durante todo o período de armazenamento.

O uso de coberturas comestíveis tem sido utilizado para aumentar a vida útil de produtos minimamente processados. Diversos trabalhos atestam sua efetividade no controle do crescimento microbiano, manutenção da textura e redução da taxa respiratória (SIPAHI *et al.*, 2013; CHIUMARELLI *et al.*, 2011; OMS-OLIU, SOLIVA-FORTUNY e MARTIN-BELLOSO, 2008). Entretanto, os resultados desta tese indicam que embora este tratamento tenha um efeito positivo na taxa respiratória, reduzindo seu aumento, o uso deste recobrimento não é indicado para batatas minimamente processadas armazenadas sob vácuo parcial. Além disso, o uso do alginato não conseguiu impedir o escurecimento, tampouco o crescimento microbiano dos tubérculos.

O uso da técnica de ultrassom tem sido muito difundido nos últimos anos, pois além de ser um tratamento não-térmico e não degradar componentes nutricionais importantes nos alimentos tem a capacidade de favorecer a inativação de microrganismos e enzimas (RAWSON *et al.*, 2010). O uso de sonicação alterou a atividade da polifenoloxidase de maneiras diferentes nos diversos experimentos realizados nesta tese. De acordo com os resultados apresentados no capítulo 5 (Ultrasound in fresh-cut potatoes: effect of time of application on color, firmness and starch content) o uso de 42 kHz de ultrassom por 5 minutos

promoveu a redução da atividade desta enzima de maneira significativa. A intensidade da cavitação tem sido um dos principais mecanismos propostos para explicar a inativação das enzimas sujeitas ao tratamento com ultrassom; o colapso das bolhas resulta em forças de cisalhamento que podem mudar a conformação das proteínas (FONTELES *et al.*, 2012)

No entanto, não houve correlação entre esta resposta e os valores de L* e Hue. A sonicação por até 5 minutos também não promove danos à firmeza das batatas antes e depois da fritura, independente da cultivar estudada. Não foram observadas ainda variações na cor, teor de amido e pH.

Nos experimentos subsequentes (Capítulos 6 e 8), o efeito inibitório na enzima foi observado somente nos primeiros dias de análise; no decorrer do armazenamento houve aumento da atividade enzimática. Fonteles *et al.* (2012) observaram que altas intensidades de ultrassom em reduzidos tempos de processamento não promoveram redução da atividade enzimática de sucos de melão Cantaloupe. Vitti *et al.* (2011) afirmaram que a cultivar interfere na atividade da enzima. Estudos realizados por estes autores mostraram que a cultivar Monalisa apresentou aumento da atividade da PPO durante o período de armazenamento, enquanto que as cultivares Agata e Asterix não apresentaram diferenças significativas durante o período analisado.

Finalmente, os resultados obtidos pela combinação do ultrassom com ácido cítrico indicam aumento da luminosidade das batatas minimamente processadas e alterações na estrutura celular, com início da dispersão dos grânulos dentro do vacúolo, mas sem ruptura da parede celular. Não foram observadas alterações significativas nos demais atributos analisados e a combinação dos tratamentos foi altamente efetiva na redução da contaminação microbiana das amostras de batata.

9.2 Referências bibliográficas

CABEZAS-SERRANO, A.B.; AMODIO, M.L.; CORNACCHIA, R.; RINALDI, R.; COLELLI, G. Suitability of five different potato cultivars (*Solanum tuberosum* L.) to be processed as fresh-cut products. **Postharvest Biology and Technology**, v. 53, n. 03, p. 138–144, 2009.

CALDER, B.L.; KASH, E.A.; DAVIS-DENTICI, K.; BUSHWAY, A.A. Comparison of Sodium Acid Sulfate to Citric Acid to Inhibit Browning of Fresh-Cut Potatoes. **Journal of Food Science**, v. 76, n. 03, p. S164-S169, 2011.

CHIAVARO, E.; BARBANTI, D.; VITTADINI, E.; MASSINI, R. The effect of different cooking methods on the instrumental quality of potatoes (cv. Agata). **Journal of Food Engineering**, v. 77, p. 169–178, 2006.

CHIUMARELLI, M.; FERRARI, C.C.; SARANTÓPOULOS, C.I.G.L.; HUBINGER, M.D. Fresh cut ‘Tommy Atkins’ mango pre-treated with citric acid and coated with cassava (Manihot esculenta Crantz) starch or sodium alginate. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 12, n. 03, p. 381–387, 2011.

FERNANDES, A.M.; SORATTO, R.P.; EVANGELISTA, R.M.; NARDIN, I. Qualidade físico-química e de fritura de tubérculos de cultivares de batata na safra de inverno. **Horticultura Brasileira**, v. 28, p. 299-304, 2010.

FONTELES, T.V.; COSTA, M.G.M.; JESUS, A.L.T.; MIRANDA, M.R.A.; FERNANDES, F.A.N.; RODRIGUES, S. Power ultrasound processing of cantaloupe melon juice: Effects on quality parametrs. **Food Research International**, v.48, p. 41-48, 2012.

GARCÍA-SEGOVIA, P.; ANDRÉS-BELLO, A.; MARTÍNEZ-MONZÓ, J. Textural properties of potatoes (*Solanum tuberosum* L., cv. Monalisa) as affected by different cooking processes. **Journal of Food Engineering**, v. 88, p. 28–35, 2008.

OMS-OLIU, G.; SOLIVA-FORTUNY, R.; MARTIN-BELLOSO, O. Edible coatings with antibrowning agents to maintain sensory quality and antioxidant properties of fresh-cut pears. **Postharvest Biology and Technology**, v. 50, n. 01, p. 87–94, 2008.

ONER, M.E.; WALKER, P.N. Effect of Processing and Packaging Conditions on Quality of Refrigerated Potato Strips. **Journal of Food Science**, v. 76, n.01, p. S35-S40, 2011.

RAWSON, A.; TIWARI, B.K.; PATRAS, A.; BRUNTON, N.; BRENNAN, C.; CULLEN, P. J. Effect of thermosonication on bioactive compounds in water-melon juice. **Food Research International**, v. 44, p. 1168–1173, 2010.

SIPAHI, R.E.; CASTELL-PEREZ, M.E.; MOREIRA, R.G.; GOMES, C.; CASTILLO, A. Improved multilayered antimicrobial alginate-based edible coating extends the shelf life of

fresh-cut watermelon (*Citrullus lanatus*). **LWT - Food Science and Technology**, v. 51, p. 9-15, 2013.

VITTI, M.C.D.; SASAKI, F.F.; MIGUEL, P.; KLUGE, R.A.; MORETTI, C.L. Activity of Enzymes Associated with the Enzymatic Browning of Minimally Processed Potatoes. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 54 n. 05, p. 983-990, 2011.

CAPÍTULO 10. Conclusões

Os resultados apresentados neste trabalho indicam:

- Comparada às cultivares Agria e Caesar, a cultivar Agata foi mais afetada nos parâmetros cor e firmeza, o que permite concluir que seu uso é menos indicado para fritura;
- O uso de ultrassom altera de maneira menos intensa a cor e pH das amostras de batata e promove valores de firmeza superiores ao produto. Igualmente ao observado com o uso de ácido cítrico, a cultivar Agata foi a mais afetada pelo ação do tratamento. Os resultados obtidos nesta primeira aproximação sobre o uso de ultrassom de baixa frequência (42 kHz; 200 W) como tratamento antiescurecimento são encorajadores para a continuação da pesquisa e como proposta à substituição de outros produtos químicos;
- O tempo de exposição ao banho ultrassom (42 kHz; 200 W) alterou a atividade da polifenoloxidase, promovendo a sua inibição, sendo a imersão das batatas a este tratamento por 5 minutos a que promove os melhores resultados. Tempos superiores (10 minutos) além de não favorecer uma maior inativação da enzima, têm repercussões negativas sobre a estrutura celular dos tubérculos e na firmeza e cor do produto frito;
- Apesar do branqueamento ser um método efetivo na inativação de microrganismos e enzimas, seu uso não é recomendado para a batata minimamente processada devido aos danos causados ao tecido que promovem alterações indesejáveis de qualidade nesses produtos;
- A combinação de branqueamento ou ultrassom com ácido cítrico é a que fornece uma maior redução do pH da batata minimamente processada, enquanto que o tratamento ultrassom+ácido cítrico é o que apresenta firmeza similar ao tratamento controle, mas significativamente superior aos outros tratamentos, e menores variações na cor do produto. Após a fritura, o tratamento com maior firmeza é a combinação do branqueamento+ácido cítrico;
- Embora todas as concentrações de alginato e glicerol estudadas tenham sido eficientes na redução da taxa respiratória da batata, os efeitos sobre a firmeza e cor variaram conforme a proporção alginato/glicerol, sendo a mescla mais idônea a de 2% de

alginate + 1,5% de glicerol. Entretanto, ao passo que a cor, expressa em variações no Chroma e Hue, tenha comportamento similar tanto na batata frita como na minimamente processada, a firmeza dos tubérculos se comporta de maneira inversa;

- O recobrimento das batatas minimamente processadas com alginato de sódio, embora tenha reduzido a taxa respiratória das fatias, não contribuiu para impedir o escurecimento das amostras e foi o que apresentou menor vida útil devido ao crescimento de enterobactérias e coliformes;
- Os resultados indicam que o tratamento US+C é o que mantém uma qualidade nutricional, microbiológica e textural superior nas batatas minimamente processadas durante os 12 dias estudados. Além disso, não foi observada influência deste tratamento a nível de carboidratos medidos, como amido total, glicose, frutose e sacarose;
- A combinação de ultrassom e ácido cítrico parece ser a mais adequada para inibir o escurecimento da batata minimamente processada e promover a obtenção de uma vida útil superior, sem alterar as características sensoriais e a qualidade nutricional.

CAPÍTULO 11. Conclusiones

Los resultados presentados en este trabajo indican:

- El uso de ácido cítrico comporta una disminución del pH en todas las variedades ensayadas pero el efecto variedad es el que determina mayoritariamente la textura y color de la patata fresca cortada y refrigerada tanto antes como después de la fritura. Sin embargo, la variedad Agata es la que presenta mayores repercusiones en los valores de textura y color y por lo tanto la que presenta unas características menos idónea para la fritura;
- El uso de ultrasonidos induce valores de firmeza superiores en el producto y viéndose menos afectado color y pH. La variedad Agata continua siendo la que se ve más afectada por los tratamientos. Los resultados obtenidos en esta primera aproximación del uso de los ultrasonidos de baja frecuencia como tratamiento antioscurecimiento son alentadores para continuar investigando y proponerlo como un tratamiento antioscurecimiento para evitar el uso de otros productos químicos;
- El tiempo de exposición al baño de ultrasonidos (42 kHz: 200 W) fue inversamente proporcional al pH de las muestras. Además, la inmersión de las patatas por un tiempo superior a 5 minutos cambió la microestructura de la patata, y favoreció la promoción de la rotura de la estructura celular;
- La aplicación de ultrasonidos (42 kHz; 200 W) en patata mínimamente procesada tiene efectos inhibidores sobre la PPO pero su mayor o menor efectividad depende del tiempo de aplicación, siendo la aplicación de 5 min a una frecuencia de 42 kHz la que obtiene mejores resultados. Tiempos superiores (10 min.) tienen repercusiones negativas sobre la estructura celular y también en la firmeza y color del producto frito y no favorecen una mayor inactivación de la PPO;
- A pesar del blanqueo ser un método eficaz para la inactivación de microorganismos y enzimas, su uso no es recomendable para la patata mínimamente procesada debido a daños en el tejido que promueven daños indeseables de calidad en estos productos;
- Las combinaciones de blanqueo o ultrasonidos con ácido cítrico son las que tienen una mayor disminución del pH, mientras que el tratamiento de ultrasonidos/ácido cítrico es

el presenta una firmeza similar al tratamiento control pero significativamente superior a los otros tratamientos en la patata troceada y refrigerada. Después de la fritura el tratamiento con mayor firmeza es la combinación blanqueo/cítrico;

- Aunque el recubrimiento de las patatas mínimamente procesadas con alginato de sodio redujo la tasa respiratoria del producto, los efectos en la firmeza y color cambiaron de acuerdo con la proporción alginato/glicerol estudiada, siendo la mezcla más idónea la de 2% de alginato + 1.5% de glicerol. Mientras el color tiene un comportamiento similares tanto en la patata frita como en la mínimamente procesada de tal como el Hue y Chroma, la firmeza de las patatas fritas y mínimamente procesadas se comporta de manera inversa;
- El uso de alginato de sodio, aunque redujo la tasa respiratoria de las patatas, no contribuyó a evitar el oscurecimiento de las muestras y presentó la vida útil más corta debido al crecimiento de enterobacterias y coliformes;
- Los resultados indican que el tratamiento US+C es el que mantiene en general una calidad nutricional, microbiológica y textural superiores en las patatas mínimamente procesadas durante el periodo de 12 días estudiado. Además, no se observa influencia del tratamiento a nivel de carbohidratos medidos como almidón total, glucosa, fructosa y sacarosa;
- El tratamiento combinado de US+C parece el más adecuado para inhibir el oscurecimiento de la patata mínimamente procesada sin alterar las características sensoriales y la calidad nutricional, y obtener una vida útil del producto superior.