

ALISSON FELIPE LIMA MARTINS

**EFEITO DO ETANOL E ULTRASSOM COMO PRÉ-TRATAMENTO NA SECAGEM
CONVECTIVA DE BATATA YACON (*Smallanthus sonchifolia*)**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientador: Afonso Mota Ramos

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2021**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

M386e
2021 Martins, Alisson Felipe Lima, 1996-
Efeito do etanol e ultrassom como pré-tratamento na
secagem convectiva de batata yacon (*Smallanthus sonchifolia*) /
Alisson Felipe Lima Martins. – Viçosa, MG, 2021.
1 dissertação eletrônica (94 f): il. (algumas color.).

Orientador: Afonso Mota Ramos.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.
Inclui bibliografia.
DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2021.045>
Modo de acesso: World Wide Web.

1. Yacon - Processamento - Inovações tecnológicas.
2. Yacon - Secagem. 3. Yacon - Qualidade. 4. Ultrassom.
I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Tecnologia
de Alimentos. Programa de Pós-Graduação em Ciência e
Tecnologia de Alimentos. II. Título.

CDD 22. ed. 664.0284

ALISSON FELIPE LIMA MARTINS

EFEITO DO ETANOL E ULTRASSOM COMO PRÉ-TRATAMENTO NA
SECAGEM CONVECTIVA DE BATATA YACON (*Smallanthus sonchifolia*)

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 14 de julho de 2021.

Assentimento:



Alisson Felipe Lima Martins
Autor



Afonso Mota Ramos
Orientador

Aos meus pais, Vera e Divany.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a DEUS, pela saúde, força. E por me tornar capaz de realizar esse sonho.

À Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Tecnologia de Alimentos pela oportunidade de fazer parte dessa equipe de sucesso.

À CAPES, pelo fornecimento da bolsa de estudo, e à CNPQ, pelo financiamento da pesquisa.

Ao Professor e orientador, Afonso Mota Ramos, pelos conselhos, e por ter me escolhido como orientando.

À professora Érica Nascif Rufino Vieira e ao Professor Bruno Ricardo de Castro Leite Júnior, pelo direcionamento e orientação do início ao fim do meu percurso acadêmico. Sem eles, eu não teria dado nenhum passo sequer.

À todos os professores do DTA-UFV por contribuírem com meu conhecimento.

Aos meus professores da UFMG, por todo conhecimento que me permitiu aprovação para o mestrado. Tenho grande admiração e carinho por todos eles.

Aos meus grandes amigos, Arthur e Nataly, companheiros de risadas, conselheiros, incentivadores, parceiros de laboratório, enfim, dois irmãos que a UFV me proporcionou.

À Alice, companheira, amiga, confidente, parceiras das horas boas, mas principalmente nas horas difíceis e por acreditar em mim quando até eu duvidava da minha capacidade.

Aos Intocáveis, grandes amigos que a graduação me deu, e que, mesmo de longe, estavam sempre me apoiando e torcendo por mim.

Aos meus amigos do Clube do Xote, em especial, Pepeu e Luíza, pelos ensinamentos, companheirismo e diversão. Tivemos grandes momentos que guardarei com carinho.

Aos funcionários da UFV, pela ajuda, sempre que foi necessário.

Ao LIPA, por me proporcionar adquirir tamanho conhecimento, além da amizade de todos os membros desse laboratório. Nós formamos uma verdadeira família.

Aos meus pais, Vera e Divany. Vocês são a base da minha vida, cada passo que eu dou, é com o objetivo de proporcionar orgulho para vocês. Espero estar no caminho certo.

À todos meus familiares pelas orações, incentivo e por sempre se preocuparem comigo.

Enfim, muito obrigado a todos que contribuíram de alguma forma com a realização desse trabalho!!!

“Nossas dúvidas são traidoras e nos fazem perder o que, com frequência, poderíamos ganhar, por simples medo de arriscar. “

(William Shakespeare)

RESUMO

MARTINS, Alisson, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2021. **Efeito do etanol e ultrassom como pré-tratamento na secagem convectiva de batata yacon (*Smallanthus sonchifolia*)**. Orientador: Afonso Mota Ramos.

O yacon é um alimento prebiótico, rico em fibras insolúveis, porém, altamente perecível em função de seu alto teor de umidade e coloração instável após o descascamento, devido ao escurecimento enzimático. Para superar esses problemas, esse estudo avaliou o efeito de dois tipos de branqueamento (químico e térmico) previamente aos pré-tratamentos com ultrassom (US), etanol e etanol+US, com o objetivo de estudar a influência desses processos na cinética de secagem, além das alterações na cor do produto. Fatias de yacon foram secas em estufa de bandeja a 50°C e verificou-se que o tempo de secagem para atingir a umidade final (25%) foi reduzido após aplicação dos pré-tratamentos. Especificamente, o pré-tratamento com etanol combinado com ultrassom proporcionou a maior redução no tempo de secagem tanto para o vegetal branqueado quimicamente (redução de 30,1%) quanto para o branqueado termicamente (redução de 61,2%). A melhor taxa de secagem foi observada para o pré-tratamento com US, porém, provavelmente, a água que permeia para o interior da matriz durante o processo de ultrassom limitou grandes reduções no tempo de secagem. Em relação à coloração do produto, o branqueamento químico foi mais eficiente para preservar as características de cor do produto. Após a escolha do tipo de branqueamento a ser utilizado, foram avaliados diferentes tempos de pré-tratamento (30, 45 ou 60 minutos), para observar o comportamento das fatias de yacon com o aumento no tempo de imersão em etanol ou exposição às ondas sonoras do ultrassom. A partir disso, também foram avaliados a cinética de secagem e reidratação, além das alterações na cor, microestrutura e aparência do produto. O aumento no tempo de pré-tratamento não provocou, necessariamente, a redução no tempo de secagem. As alterações estruturais provocadas pelos longos períodos de pré-tratamento impediram o aumento na retenção de água das amostras durante o processo de reidratação. O pré-tratamento água+US foi o que menos alterou a cor do produto, seja após o processo no ultrassom ou após a secagem. Longos períodos de pré-tratamento seja com ultrassom ou com etanol, não favorecem a cinética de secagem ou a

reidratação do yacon, devido às grandes alterações estruturais provocadas por esses processos. Este estudo apresenta novas perspectivas quanto à utilização de etanol e ultrassom associados a diferentes pré-tratamentos para melhorar a secagem convectiva do yacon.

Palavras-chave: Raízes de yacon. Tecnologia de ultrassom. Cinética de secagem. Parâmetros de qualidade.

ABSTRACT

MARTINS, Alisson, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, July, 2021. **Effect of ethanol and ultrasound as a pre-treatment in the convective drying of yacon potato (*Smallanthus sonchifolia*)**. Advisor: Afonso Mota Ramos.

Yacon is a prebiotic food, rich in insoluble fiber, but highly perishable due to its high moisture content and unstable color after peeling, due to enzymatic browning. To overcome these challenges, this study evaluated the effect of two types of bleaching (chemical and thermal) to precede pretreatments with ultrasound (US), ethanol and ethanol+US, in order to study the influence of these processes on drying kinetics, in addition to changes in product color. Yacon slices were dried in a tray oven at 50°C and it was found that the drying time to reach the final moisture (25%) was reduced after application of pre-treatments. Specifically, pretreatment with ethanol combined with ultrasound provided the greatest reduction in drying time for both the chemically bleached (30.1% reduction) and thermally bleached (61.2% reduction) vegetable. The best drying rate was observed for the US pretreatment, however, probably, the water that permeates into the matrix during the ultrasound process limited large reductions in drying time. Regarding the product's color, chemical bleaching was more efficient to preserve the product's color characteristics. After choosing the type of bleaching to be used, different pre-treatment times (30, 45 or 60 minutes) were evaluated to observe the behavior of the yacon slices with the increase in the time of immersion in ethanol or exposure to sound waves of the ultrasound. From this, the drying and rehydration kinetics were also evaluated, in addition to changes in product color, microstructure and appearance. The increase in pre-treatment time did not necessarily lead to a reduction in drying time. The structural changes caused by the long pre-treatment periods prevented the increase in water retention of the samples during the rehydration process. The water+US pretreatment was the one that least altered the color of the product, either after the ultrasound process or after drying. Long periods of pre-treatment, either with ultrasound or with ethanol, do not favor the drying kinetics or the rehydration of yacon, due to the great structural alterations caused by these processes. This research presents new perspectives regarding the use of ethanol and ultrasound associated with different pre-treatments to improve the convective drying of yacon.

Keywords: Yacon roots. Ultrasound technology. Drying kinetics. Quality parameters.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

CAPÍTULO 1

Figure 1-Schematic representation of the study steps..... 40

Figure 2- Dimensionless moisture (MR) behavior during time (t) of convective drying of yacon potato slices at 50 °C after ultrasound and ethanol processing, pre-treated by (A) chemical and (B) thermal bleaching. Different capital letters in the same % Moisture indicate statistically significant differences between the different treatments by the Tukey's test at 5% ($p > 0.05$). 46

Figure 3- Drying rate behavior of yacon potato slices at 50 °C after ultrasound and ethanol processing pre-treated by (A) chemical and (B) thermal bleaching. 50

Figure 4- Color of in natura, pre-treated (before drying) and dried yacon potato slices: Samples processed by ultrasound and ethanol pre-treated by (A) chemical and (B) thermal bleaching. Lower cases indicate significant differences between the different samples for the same parameter (L^* or a^* or b^*) by the Tukey's test at 5% ($p > 0.05$). 53

CAPÍTULO 2

Figura 1- Representação esquemática da obtenção dos cilindros de yacon. Também estão representados os pré-tratamentos, a avaliação de secagem e reidratação e a análise microestrutural e de cor. 66

Figura 2- Comportamento da umidade adimensional (MR) e taxa de secagem durante o tempo (t) da secagem convectiva a 50 ° C após pré-tratamento por ultrassom (A), etanol (B) e etanol + ultrassom (C). Os pontos são dados experimentais; linhas contínuas são os dados previstos usando o modelo de page. 74

Figura 3- Tempo de secagem para atingir 25% w.b. (h) para amostras de pré-tratamento por ultrassom (US), etanol (E) e etanol + ultrassom (E + US). Letras diferentes indicam diferenças significativas entre os tratamentos pelo teste de Tukey a 5% ($p < 0,05$). 78

Figura 4- Cor (L * ou a * ou b *) de rodela de batata yacon pré-tratadas por ultrassom e etanol. Letras maiúsculas diferentes indicam diferença significativa entre a mesma amostra antes e depois da secagem e letras minúsculas diferentes indicam diferença significativa entre amostras na mesma etapa (antes da secagem ou após a secagem) pelo teste de Tukey a 5% ($p > 0,05$)..... 80

Figura 5- Influência dos pré-tratamentos com etanol, ultrassom e etanol+US, na aparência das fatias de yacon, antes e após a secagem..... 82

Figura 6- Cinética de reidratação de fatias de batata yacon desidratadas nos diferentes pré-tratamentos (controle, Água + US (A), Etanol (B) e Etanol + US (C)). Os pontos são dados experimentais; linhas contínuas são os dados previstos usando o modelo Peleg..... 86

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1

Table 1- Parameters k and n of Page Model (Equation (4)) of convective drying of yacon potato slices at 50 °C after ultrasound and ethanol processing pre-treated by chemical and thermal bleaching. 48

Table 2- Values of color ΔE of in natura, pre-treated (before drying), and dried yacon potato slices. 55

CAPÍTULO 2

Tabela 1- Parâmetros k e n do Modelo de Page (Equação (4)) de secagem convectiva de rodela de batata yacon a 50 ° C após pré-tratamento por ultrassom e etanol. 76

Tabela 2- Valores de cor ΔE de fatias de batata yacon pré-tratadas por ultrassom e etanol antes da secagem e após a secagem. 81

Tabela 3- Parâmetros do modelo Peleg k1 e k2 (Equação (7)) para o processo de reidratação de fatias de batata yacon secas nas diferentes condições (controle, Água + US, Etanol e Etanol + US)..... 87

LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Efeito do ultrassom e/ou etanol como pré-tratamentos para secagem de alimentos.....	25
--	----

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	15
REVISÃO DE LITERATURA.....	17
REFERÊNCIAS.....	28
OBJETIVOS	34
CAPÍTULO 1 – Use of ultrasound and ethanol to improve the drying of yacon potato (<i>Smallanthus sonchifolius</i>): effect of chemical and thermal bleaching.....	35
Abstract.....	37
1. Introduction	38
2. Material and Methods	39
3. Results and Discussion.....	45
4. Conclusion	55
References	56
CAPÍTULO 2 – Efeito de pré-tratamentos com etanol e ultrassom em fatias de yacon: cinética de secagem, reidratação, microestrutura e cor	61
Resumo	63
1. Introdução.....	64
2. Material e Métodos	65
3. Resultados e discussão	72
4. Conclusão.....	87
Referências.....	88

INTRODUÇÃO

Os produtos de origem vegetal, como frutas, hortaliças, cereais, raízes e tubérculos apresentam baixa composição energética e alto teor de fibras, vitaminas, minerais e vários outros biocompostos extremamente importantes para uma dieta saudável e equilibrada. O consumo regular desses alimentos está diretamente relacionado à prevenção de muitas doenças crônicas, entre elas a obesidade, doenças cardiovasculares, diabetes e vários tipos de câncer. Ainda assim, a média global do consumo de vegetais está abaixo dos níveis recomendados pela Organização Mundial da Saúde, que estimula o consumo diário de 400 g per capita (HALL et al., 2009). Nesse sentido, há a necessidade de incentivar o consumo diário de produtos vegetais, além de buscar tecnologias que assegurem uma maior vida de prateleira, sem reduzir a concentração e a biodisponibilidade desses micro e macronutrientes fundamentais para a saúde humana.

Yacon (*Smallanthus sonchifolia*), é uma cultura com origem nos vales andinos que chegou ao Brasil por volta dos anos 80 trazida por imigrantes japoneses e conhecida como uma fonte abundante de β -(2-1) fruto-oligossacarídeos (FOS) e inulina reconhecido como um componente alimentar prebiótico e com diversos benefícios para a saúde. A importância nutricional do FOS e da inulina é que o intestino humano não possui uma enzima para hidrolisar suas ligações glicosídicas, sendo, portanto, não digeridas. Além disso, esses compostos proporcionam o estímulo seletivo do crescimento e da atividade de bactérias gastrointestinais, em especial as bifidobactérias, as quais são consideradas promotoras de saúde por estimularem o sistema imune (GUIGOZ et al., 2002). Diversos estudos associam a ingestão regular do yacon com a melhora de algumas características fisiológicas, aumentando a resistência contra patógenos intestinais e promovendo um bom desenvolvimento de resposta imune, incluindo a diminuição das alergias, redução do índice glicêmico, controle dos níveis de colesterol, entre outros (HABIB et al., 2011; OLIVEIRA et al., 2013; PAREDES et al., 2018).

O beneficiamento do yacon também se apresenta como uma boa oportunidade para agregar valor ao produto, seja em termos de funcionalidade, praticidade extensão da vida de prateleira ou em rentabilidade para a indústria alimentícia. No entanto, o escurecimento enzimático, causado principalmente pela oxidação de substratos fenólicos sob a catálise da peroxidase (POD) e

polifenoloxidase (PPO) devido à exposição dessas enzimas ao oxigênio após o descascamento e corte, pode reduzir significativamente a aceitabilidade do consumidor. Vários métodos físicos e biológicos são propostos para prevenir o escurecimento. Os métodos físicos mais utilizados incluem tratamento químico (FENG et al., 2020) e o tratamento térmico (PARK et al., 2020).

A tecnologia de secagem é uma operação unitária muito importante, utilizada para reduzir o teor de umidade, com uma grande aplicação ao setor de processamento de alimentos. Tradicionalmente, o método de secagem mais utilizado é a secagem convectiva utilizando ar quente. Esse método de secagem, apresenta algumas desvantagens como: longo período de secagem e utilização de altas temperaturas. Consequentemente, alto gasto energético, elevando os custos de produção, deterioração de algumas vitaminas termossensíveis e alterações bruscas na aparência dos produtos. Buscando solucionar esses problemas, a introdução de tecnologias emergentes como pré-tratamentos para secagem convencionais estão se tornando cada vez mais comuns, e entre as tecnologias que podem otimizar o processo de secagem, duas são bastante promissoras, o ultrassom (HUANG et al., 2020) e a imersão em etanol (ROJAS; AUGUSTO, 2018).

REVISÃO DE LITERATURA

1.1. Yacon (*Smallanthus sonchifolius*)

Raízes de yacon (*Smallanthus sonchifolia*), pertencentes à família botânica Asteraceae, são plantas perenes herbáceas e possuem grande capacidade de adaptação em diferentes tipos de solo e condições climáticas com origem nas regiões dos vales andinos da Colômbia, Equador, Peru, Bolívia e noroeste da Argentina.

Por volta da década de 70, o yacon chegou na Europa, e pouco tempo mais tarde, no final da década de 80, foi trazido ao Brasil por imigrantes japoneses. No início do século XXI, mais precisamente começo dos anos 2000, houve um aumento expressivo no consumo desse tubérculo, que ganhou notório reconhecimento por ser identificado como “Batata *dief*” (OLIVEIRA; NISHIMOTO, 2005).

A planta produz grandes raízes tuberosas com aparência semelhante à batata-doce, porém possuem um sabor muito mais adocicado. As plantas são extremamente resistentes e são capazes de crescer em condições adversas de temperatura. O yacon cresce até uma altura de 1 a 2,5 metros, tem grandes folhas sagitais opostas com margens serrilhadas e várias flores amarelo-alaranjadas com cerca de 3 cm de diâmetro e suas raízes podem ser compostas por 4 a 20 tubérculos. A planta se distingue por ter dois tipos de raízes tuberosas, um rizoma central com “olhos” para a produção de novas hastes e várias raízes tuberosas comestíveis que irradiam a partir do rizoma. A polpa das raízes de yacon podem possuir coloração branca, creme, branco com estrias roxas, roxo, rosa ou amarelo. Sua casca pode ser marrom, rosa, roxo, creme ou branco de marfim. Seu formato é suavemente cônico com tamanho de médio porte que podem ter de 20 a 40 cm de comprimento, 10 cm de espessura e pesar de 50 a 1000 grama, porém em médias, as raízes costumam ter entre 300 e 600 gramas; cada planta pode chegar a produzir até dez quilos de tubérculos, contudo a produção mais comum é em torno de dois a quatro quilos (LACHMAN; FERNÁNDEZ; ORSÁK, 2003).

As culturas de raízes tuberosas são formadas após a interrupção do crescimento do caule e parecem ter um mecanismo semelhante à batata inglesa no que se refere a formação de raízes. Por outro lado, uma diferença bastante

característica em relação aos tubérculos de batata, é que as raízes de yacon começam a germinar a partir da base do caule enquanto a batata se desenvolve pelas ramificações das raízes. A maior parte da biomassa da raiz de yacon é composta por água, que geralmente excede 70% do peso total. Devido a um alto teor de água, o valor energético das raízes é baixo.

Ao contrário da maioria das raízes comestíveis que armazenam amido, yacon armazena seus carboidratos na forma de β -(2 \rightarrow 1) oligofructano, sendo consumido como alimento dietético, pois devido a um alto teor de água, o valor energético das raízes é baixo. Os carboidratos do yacon são basicamente frutose, glicose, sacarose e oligofrutanos (frutano) lineares. A raiz tuberosa de yacon apresenta em sua composição compostos bioativos promotores de benefícios a saúde, dentre estes, destacam-se os frutanos do tipo inulina e fruto-oligossacarídeos (FOS). O frutano, presente nas raízes de yacon têm propriedades interessantes como imunomoduladores, e não são hidrolisados pelas enzimas digestivas humanas, sendo então considerados uma fibra dietética, por passarem pelo trato gastrointestinal sem mudanças significativas em sua estrutura. Eles são fermentados pelos microrganismos presentes no intestino, em ácidos graxos de cadeia curta (acetato, propionato e butirato), ácido láctico, dióxido de carbono e hidrogênio. Assim, seu consumo proporciona um efeito benéfico no sistema digestivo humano e são frequentemente usados como aditivos funcionais aos alimentos (DIONÍSIO et al., 2015).

Na literatura, diversos estudos relatam muitos benefícios relacionados a introdução do yacon na alimentação e, dentre eles, está a capacidade de redução do índice glicêmico, se tornando um aliado de pacientes portadores de diabetes melitus (DM). Oliveira et al. (2013) observaram a eficiência de extrato aquoso de yacon sobre os parâmetros bioquímicos referentes à dislipidemia e a hiperglicemia, quando seus resultados demonstraram uma reversão das alterações patológicas causada por DM em ratos. Em outro estudo, Baroniet al. (2008), utilizaram extrato de yacon no tratamento de animais diabéticos e verificaram a recuperação do peso corporal destes animais. A utilização de uma bebida funcional preparada com yacon e caju também foi eficiente no tratamento da hipoglicemia em ratos, devido a presença de compostos bioativos na bebida, como FOS e compostos fenólicos (DIONÍSIO et al., 2015).

Na literatura, o consumo regular de yacon também é associado com o controle do colesterol alto, auxilia na redução da hiperlipidemia. Um estudo realizado por Habib et al. (2011), avaliou o consumo de yacon em ratos diabéticos e hiperlipidêmicos, e os autores observaram a redução significativa do colesterol total, através de mudanças no metabolismo lipídico. Ainda que os resultados encontrados sejam extremamente animadores, os autores alertam que nenhum produto a base de yacon pode, até o momento, ser considerado como substituto dos medicamentos convencionais, contudo demonstram ser um importante aliado ao tratamento dessas patologias.

O beneficiamento do yacon também se apresenta como uma boa oportunidade de agregar valor ao produto, seja em termos de funcionalidade ou em rentabilidade para a indústria alimentícia. Os fruto-oligossacarídeos (FOS) e a inulina são considerados prebióticos e fibras alimentares insolúveis por não serem digeridos pelas enzimas do trato digestivo humano e pelo fato de proporcionarem o estímulo seletivo do crescimento e da atividade de bactérias gastrointestinais, em especial as bifidobactérias, as quais são consideradas promotoras de saúde por estimularem o sistema imune (GUIGOZ et al., 2002). A ingestão regular de prebióticos como FOS e inulina melhora algumas características fisiológicas, aumentando a resistência contra patógenos intestinais e promovendo um bom desenvolvimento de resposta imune (PAREDES et al., 2018).

Apesar dos benefícios a saúde atribuídos ao consumo de yacon, durante o seu descascamento e processamento, a superfície cortada sofre rápido escurecimento ocasionando uma coloração marrom, o que pode estar relacionado ao elevado teor de compostos fenólicos e à atividade da polifenoloxidase, o que resulta em uma diminuição da quantidade de FOS (RODRIGUES; ASQUIERI; ORSI, 2014). Na presença da molécula de oxigênio, a PPO catalisa a o-hidroxilação de monofenóis em o-difenóis, e posteriormente promove a oxidação dos o-difenóis em o-quinonas. As quinonas são moléculas eletrofílicas altamente reativas que podem polimerizar levando à formação de pigmentos escurecidos. Este escurecimento indesejável devido à oxidação enzimática de fenóis geralmente afeta a qualidade nutricional e reduz a aceitabilidade do consumidor para produtos frescos ou minimamente processados(LIN et al., 2010).

Alguns autores estudaram diferentes condições de secagem das raízes de yacon, utilizando pré-tratamentos com agentes anti-escurecimento (RODRIGUES; ASQUIERI; ORSI, 2014), alta temperatura (SOUSA et al., 2015) ou branqueamento (CAMPOS; AGUILAR-GALVEZ; PEDRESCHI, 2016). No entanto, ainda há a necessidade de se encontrar um método eficiente, prático e de baixo custo para produzir yacon seco que poderia ser usado como alimento ou ingrediente nutritivo em outros produtos.

1.2. Desidratação de alimentos

Um dos principais desafios da distribuição de vegetais frescos é a sua alta perecibilidade, e isso dificulta a manutenção da qualidade desses produtos durante todo o percurso que vai do campo à mesa do consumidor. Isso ocorre, principalmente, devido ao elevado teor de água presente nesses alimentos. Essa elevada atividade de água oferece condições favoráveis para a atividade de microrganismos deterioradores, que irão provocar uma alteração irreversível nesses vegetais, além de estar disponível para as reações químicas e enzimáticas. Tendo isso em vista, faz-se necessário a utilização de uma metodologia que promova a redução da atividade de água além da preservação dos nutrientes e da qualidade sensorial desses produtos e, entre essas tecnologias, uma amplamente utilizada, principalmente com esse objetivo, é a secagem.

A secagem é uma das mais antigas técnicas utilizadas para remoção da umidade e pode não só inibir o crescimento microbiano e reduzir a atividade enzimática, mas também reduzir o peso total do produto, concentrar os nutrientes, diminuir o espaço da embalagem e, assim, minimizar o custo de transporte (HUANG et al., 2020).

As tecnologias de secagem são operações unitárias muito importantes, utilizadas para reduzir o teor de umidade, com uma grande aplicação ao setor de processamento de alimentos. Os produtos finais são tipicamente na forma de pó, flocos, grânulos, folhas ou partículas em várias formas, dependendo da exigência do fabricante e do tipo de tecnologias utilizadas no processo de secagem. Esses processos normalmente facilitam o armazenamento a longo prazo e previnem a atividade microbiana, contudo, podem promover alguma reação química indesejada nos alimentos, como escurecimento enzimático e não enzimático, redução de

macronutrientes (proteínas, açúcares, vitaminas de fibras e minerais) ou compostos bioativos (compostos fenólicos, carotenoides, isoflavonas) (MENON; STOJCESKA; TASSOU, 2020).

Tradicionalmente, o método de secagem mais utilizado é a secagem convectiva utilizando ar quente. Esse método de secagem, por si só, apresenta algumas desvantagens como: demanda de um longo período de processo e utilização de altas temperaturas, conseqüentemente, alto gasto energético, elevando os custos de produção e deterioração de algumas vitaminas termosensíveis.

Portanto, para minimizar esses problemas, uma alternativa é a preparação da amostra utilizando técnicas eficientes previamente à redução da umidade. O pré-tratamento anterior à secagem é uma etapa bem explorada, e muitos métodos já foram desenvolvidos, sendo os pré-tratamentos químicos e físicos em produtos de origem vegetal revisados por Deng et al. (2019). Eles verificaram que, embora o pré-tratamento químico possa otimizar o processo de secagem, este causa perdas de nutrientes solúveis e proporciona riscos de segurança alimentar devido a resíduos químicos remanescentes.

A utilização de pré-tratamentos térmicos em alimentos também é bastante empregada, devido sua capacidade de destruir microrganismos e inativar enzimas, preservar a textura e elevar a taxa de secagem. No entanto, a utilização incorreta desse processo altera negativamente a qualidade dos produtos, pois pode provocar a cocção no vegetal e além disto, a utilização de água a uma alta temperatura pode lixiviar algumas vitaminas e substâncias minerais (HUANG et al., 2020). Para contornar esses problemas, a introdução de tecnologias emergentes como alternativa aos pré-tratamentos convencionais estão se tornando cada vez mais comuns. Já é possível encontrar na literatura atual diversos estudos sobre a aplicação de ultrassom (HUANG et al., 2020), campos elétricos pulsados (CASTAGNINI et al., 2020), altas pressões (BELMIRO; TRIBST; CRISTIANINI, 2018) ou pré-tratamentos de etanol (ROJAS; AUGUSTO, 2018a) que não envolvem altas temperaturas, mas permitem reduzir o tempo de secagem, melhorar a qualidade final dos produtos, e são mais ambientalmente amigáveis devido ao menor consumo de energia e a não liberação de resíduos poluentes (LLAVATA et al., 2020).

1.3. Tecnologia de Ultrassom

O ultrassom foi descoberto por Pierre e Marie Curie em 1880 sendo inicialmente utilizado para limpeza. É definido como som em frequência acima de 16 kHz, não audível quando transmitido através do ar. Sua versatilidade se deve à amplitude de frequência ativa que pode ser sintonizada e aplicada especificamente para controlar a intensidade e o número de eventos de cavitação (FREITAS et al., 2011; LEONG et al., 2016).

A função dos transdutores é converter a energia elétrica ou mecânica em energia sonora. A potência do ultrassom ou a energia transmitida a um meio pode ser expressa como a energia de ultrassom (W), a intensidade do ultrassom (W/cm^2), a densidade de energia acústica (W/mL) ou intensidade de cavitação (O'DONNELL et al., 2010). O ultrassom pode trabalhar em várias regiões diferentes ao longo do espectro das frequências sonoras. A região do ultrassom de potência baixa abrange as frequências entre 16 e 100 kHz. Essa faixa caracteriza-se por tamanhos maiores de bolhas, seguido por um intenso colapso dessas bolhas, muitas vezes resultando em alterações físicas extremamente fortes nos objetos, incluindo cisalhamento localizado e aumento de temperatura. Esta categoria de ultrassons proporciona alta intensidade de energia, na faixa de 10- 1000 W/cm^2 . Entre 100 a 1000 kHz, as bolhas geradas são bem menores. No entanto, o seu colapso induz um aumento mais elevado da temperatura. Nas frequências acima de 1 MHz, os efeitos cavitacionais são muito mais fracos, devido ao tamanho das bolhas serem extremamente menores, sendo utilizados para a limpeza de equipamentos eletrônicos e para fins de imagens médicas e industriais (LEONG et al., 2011; LEONG et al., 2017).

Os estudos da utilização do ultrassom para aprimorar o processo de secagem não são recentes. Como observado por Muralidhara, Ensminger e Putnam (1985), os primeiros relatos da utilização do ultrassom com esse objetivo foram divulgados nas décadas de 50 e 60 por Boucher (1959) e Greguss (1963); tanto utilizando a frequência sônica quanto a ultrassônica. Naquele período, as técnicas de secagem sônica e ultrassônica foram desenvolvidas principalmente na União Soviética mostrando que a aplicação do ultrassom acelerou o processo de secagem sem causar um aumento drástico na temperatura. Por essa razão, o ultrassom foi, a princípio, considerado para melhorar o processo de secagem de materiais sensíveis

à temperatura, como os alimentos. Contudo, as desvantagens desses sistemas, como o baixa eficiência energética e altos níveis de ruído, fizeram com que as pesquisa sobre secagem ultrassônica fossem temporariamente suspensas (KUDRA; MUJUMDAR, 2009).

1.3.1. Utilização de ultrassom em matrizes alimentares

A utilização de ultrassom como pré-tratamento para desidratação pode melhorar a secagem de frutas, hortaliças, produtos cárneos e pescado pois reduz o tempo de secagem e aumenta a taxa de transferência de calor e massa para preservar a qualidade do produto (KOWALSKI; MIERZWA; STASIAK, 2017).

A oferta de transdutores comerciais para matrizes líquidas, onde é fácil propagar as ondas acústicas, é maior do que para sistemas gasosos. Nesse sentido, muitos dos estudos encontrados abordam a aplicação de ultrassom em soluções hiper ou hipotônicas como pré-tratamentos para a secagem (LLAVATA et al., 2020).

Como pré-tratamento, o ultrassom geralmente é aplicado através de um banho ultrassônico ou por uma sonda, utilizados para transmitir ondas de ultrassom para o meio aquoso, por exemplo, água destilada (HUANG et al., 2020), e a água transmite essas ondas, quando em contato com a matriz alimentícia.

Quando o ultrassom é aplicado, produz efeitos como a cavitação, que consiste nas sucessivas compressões e expansões (efeito esponja) do material tratado ou uma pequena agitação interna, que proporciona uma transferência de massa mais eficiente (LLAVATA et al., 2020).

A força gerada pelo efeito "esponja" cria um canal microscópico que atua como facilitador da difusão das moléculas de água, aumentando a redução efetiva da umidade (FERNANDES; RODRIGUES, 2008). O aumento ou redução do volume da bolha estabilizada, faz com que a agitação interna reduza a camada limite difusiva, reduzindo assim a resistência na interface, possibilitando um aumento na taxa de transferência de massa (KEK; CHIN; YUSOF, 2013). Além disso, o ultrassom gera turbulência de ar na interface do produto, para remover a umidade da superfície. O efeito "cavitação" ainda possibilita a remoção de parte da água fortemente ligada.

Em geral, o tratamento com ultrassom reduz a atividade hídrica, melhora a cor do produto e diminui a perda de nutrientes, como o teor de flavonoides, atividade antioxidante, vitamina C e teor fenólico total (HUANG et al., 2020), contudo, os diferentes parâmetros de ultrassom, como tempo, potência, frequência e amplitude no pré-tratamento ultrassônico, além das condições de secagem utilizadas, como tempo, temperatura, velocidade do ar e cinética, devem ser avaliados, pois os efeitos da utilização do ultrassom como pré-tratamento para secagem de produtos vegetais pode variar conforme a matriz alimentícia utilizada.

1.4. Utilização de etanol em alimentos

Uma técnica simples, rápida e bastante eficiente que apresenta bons resultados é a utilização de etanol como pré-tratamento para secagem. Seu mecanismo de ação consiste na dissolução de constituintes da parede celular da matriz, aumentando a porosidade, removendo o ar dos espaços intercelulares e por consequência, elevando a permeabilidade (DONG et al., 2021).

Além disso, durante o pré-tratamento, a permeabilização do etanol para o interior da amostra promove a formação de uma mistura água:etanol, e essa mistura, durante a secagem, acelera a vaporização superficial do etanol presente, provocando mecanismos que reduzem o tempo de secagem, como o efeito Marangoni. Esse efeito se baseia no gradiente de tensão superficial formado entre o etanol e a água remanescente na superfície da matriz alimentar, que por capilaridade, atrai o fluxo de água alojada na parte central da amostra para a superfície, acelerando o processo de secagem (ROJAS & AUGUSTO, 2018a).

Além da interferência no tempo de secagem, há evidências que corroboram com a eficiência da utilização do etanol, como pré-tratamento para secagem na retenção de compostos bioativos. Assim, a incorporação do etanol na matriz alimentícia poderia funcionar como um invólucro, protegendo contra a oxidação de diferentes componentes, como vitaminas, antioxidantes, etc. (Wang et al., 2019). Além do mais, ao reduzir o tempo do processo de secagem será também reduzido a exposição à altas temperaturas e, portanto, menor será a perda de compostos nutricionalmente importantes que, na maioria dos alimentos, são sensíveis à elevadas temperaturas (SANTOS & SILVA, 2009).

Alguns autores já relataram a eficiência da utilização do etanol e do ultrassom como pré-tratamentos para secagem de matrizes vegetais (Quadro 1).

Quadro 1- Efeito do ultrassom e/ou etanol como pré-tratamentos para secagem de alimentos

Matriz	Métodos	Condição	Conclusão	Referência
Cenoura	Etanol; Etanol+US; Água+US	Etanol 99,8% v/v por 30 min; US com frequência de 25 kHz a 20 °C	Os pré-tratamentos de etanol e etanol + EUA reduziram o tempo de secagem em ~50% quando comparados com o tratamento Controle, aumentando também a absorção e retenção de água durante a reidratação. Todos os tratamentos conseguiram manter o conteúdo carotenoide original.	(SANTOS et al., 2020)
Maçã	Imersão em etanol; Secagem assistida por US	Etanol (96% v/v) a uma temperatura de 25 °C; US com frequência de 21,77 kHz	Os pré-tratamentos com etanol aceleraram muito a secagem assistida pelos EUA, quando comparados às amostras de controle, e nenhum impacto significativo foi observado na redução amostral e viscoelasticidade, com boas propriedades de reidratação.	(ROJAS et al., 2020)
Batata	Etanol; Etanol+US; Água+US	Etanol 95,0 % v/v por 3 minutos; US com potência nominal de 1000 W, a 20 kHz.	Grandes modificações estruturais foram observadas quando o Etanol + US foi aplicado. Etanol combinado com o ultrassom proporcionou a alta redução do tempo de secagem, pois ambos os pré-tratamentos melhoram o fluxo de capilaridade. Em contrapartida, observou-se ligeira redução na capacidade de absorção e retenção de água para as amostras tratadas etanol + EUA	(ROJAS & AUGUSTO, 2018a)

Abóbora	Etanol; Etanol+US	Etanol (99,5% v/v); US com frequência de 25 kHz e potência volumétrica de 68 W/L	A maior redução do tempo de secagem (59%) foi obtida quando o etanol foi combinado com ultrassom por 30 min. Além disso, o teor de carotenoide foi preservado em amostras pré-tratadas, enquanto que as abóboras secas sem pré-tratamentos, apresentaram degradação parcial (23%).	(ROJAS et al., 2020)
Melão	Etanol; Etanol+US	Etanol 50% e 100% (v/v); US com frequência de 25 kHz a 30 °C.	O uso do etanol e do ultrassom como pré-tratamentos teve influência positiva na secagem do melão, com redução do tempo de secagem, quando comparado ao controle. Todas as amostras secas apresentaram redução nos parâmetros de qualidade, porém quando tratadas com etanol melhorou a retenção de fenólicos totais, carotenoides totais e ácido ascórbico.	(DA CUNHA et al., 2020)

Foi observado maior retenção de compostos bioativos em amostras secas que tenham sido pré-tratadas com etanol. Assim, a absorção do etanol poderia proporcionar maior proteção contra a oxidação de diferentes componentes, como a vitamina C. Além disso, o menor tempo de secagem significa menos exposição a altas temperaturas e, portanto, maior retenção bioativa (LLAVATA et al., 2020). Poucas informações são encontradas a respeito da influência do pré-tratamento com etanol na cor dos produtos, por isso seria interessante realizar mais pesquisas para investigar esse aspecto.

No caso do pré-tratamento com US, a amostra também pode sofrer uma série de alterações microestruturais, como a deformação das paredes celulares que resulta no aparecimento de microcanais e poros. Todas essas alterações microestruturais levam a uma clara melhora na transferência de massa durante a secagem subsequente. Dessa forma, foi relatado que o pré-tratamento com US encurta significativamente o tempo de secagem. Em contrapartida, esse pré-tratamento pode levar a uma perda maior em compostos bioativos. O ultrassom também promove absorção de sólidos e liberação de gás dos alimentos, o que permite uma melhor retenção de pigmentos (LLAVATA et al., 2020).

REFERÊNCIAS

ADRIANO, L. S. et al. Yacon syrup reduces postprandial glycemc response to breakfast: A randomized, crossover, double-blind clinical trial. **Food Research International**, v. 126, p. 108682, dez. 2019.

AOAC, G. W. **Official methods of analysis of AOAC International**. 20. ed. Rockville: AOAC International, 2016.

BARONI, S. et al. Effect of crude extracts of leaves of *Smallanthus sonchifolius* (yacon) on glycemia in diabetic rats. **Revista Brasileira de Ciências Farmaceuticas/Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences**, v. 44, n. 3, p. 521–530, 2008.

BELMIRO, R. H.; TRIBST, A. A. L.; CRISTIANINI, M. Impact of high pressure processing in hydration and drying curves of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.). **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 47, n. March, p. 279–285, 2018.

BOUCHER, R. M. G. Drying by airborne ultrasonics. **Ultrasonic News**, v. 3, p. 8–16, 1959.

CAMPOS, D.; AGUILAR-GALVEZ, A.; PEDRESCHI, R. Stability of fructooligosaccharides, sugars and colour of yacon (*Smallanthus sonchifolius*) roots during blanching and drying. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 51, n. 5, p. 1177–1185, 2016.

CASTAGNINI, J. M. et al. Pulsed electric fields effect on mechanical and sorption properties of dried apple tissue. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 65, n. May, 2020.

CHOI, M. .; KIM, G. .; LEE, H. . Effects of ascorbic acid retention on juice color and pigment stability in blood orange (*Citrus sinensis*) juice during refrigerated storage. **Food Research International**, v. 35, n. 8, p. 753–759, jan. 2002.

DA CUNHA, R. M. C. et al. Effect of ethanol pretreatment on melon convective drying. **Food Chemistry**, v. 333, n. April, p. 127502, 2020.

DENG, L. Z. et al. Chemical and physical pretreatments of fruits and vegetables: Effects on drying characteristics and quality attributes—a comprehensive review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 59, n. 9, p. 1408–1432, 2019.

DIONÍSIO, A. P. et al. Cashew-apple (*Anacardium occidentale* L.) and yacon (*Smallanthus sonchifolius*) functional beverage improve the diabetic state in rats. **Food Research International**, v. 77, p. 171–176, 2015.

DONG, T. et al. A novel aspartic protease inhibitor inhibits the enzymatic browning of potatoes. **Postharvest Biology and Technology**, v. 172, n. 61, p. 111353, 2021.

FENG, Y. et al. Aspartic Acid Can Effectively Prevent the Enzymatic Browning of Potato by Regulating the Generation and Transformation of Brown Product. **Postharvest Biology and Technology**, v. 166, p. 111209, ago. 2020.

FERNANDES, F. A. N.; LINHARES, F. E.; RODRIGUES, S. Ultrasound as pre-treatment for drying of pineapple. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 15, n. 6, p. 1049–1054, set. 2008.

FERNANDES, F. A. N.; RODRIGUES, S. Dehydration of Sapota (*Achras sapota* L.) Using Ultrasound as Pretreatment. **Drying Technology**, v. 26, n. 10, p. 1232–1237, 19 set. 2008.

FIJALKOWSKA, A. et al. Ultrasound as a Pretreatment Method to Improve Drying Kinetics and Sensory Properties of Dried Apple. **Journal of Food Process Engineering**, v. 39, n. 3, p. 256–265, jun. 2016.

GREGUSS, P. The mechanism and possible applications of drying by ultrasonic irradiation. **Ultrasonics**, v. 1, n. 2, p. 83–86, abr. 1963.

GUIGOZ, Y. et al. Effects of oligosaccharide on the faecal flora and non-specific immune system in elderly people. **Nutrition Research**, v. 22, n. 1–2, p. 13–25, 2002.

HABIB, N. C. et al. Hypolipidemic effect of *Smallanthus sonchifolius* (yacon) roots on diabetic rats: Biochemical approach. **Chemico-Biological Interactions**, v. 194, n. 1, p. 31–39, 2011.

HALDER, A.; DATTA, A. K.; SPANSWICK, R. M. Water transport in cellular tissues

during thermal processing. **AIChE Journal**, v. 57, n. 9, p. 2574–2588, set. 2011.

HALL, J. N. et al. Global Variability in Fruit and Vegetable Consumption. **American Journal of Preventive Medicine**, v. 36, n. 5, p. 402- 409.e5, maio 2009.

HUANG, D. et al. Application of ultrasound technology in the drying of food products. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 63, n. November 2019, p. 104950, 2020.

JAY, J. M.; LOESSNER, M. J.; GOLDEN, D. A. Protection of Foods by Drying. In: **Modern Food Microbiology**. Boston, MA: Springer US, 2005. p. 443–456.

KEK, S. P.; CHIN, N. L.; YUSOF, Y. A. Direct and indirect power ultrasound assisted pre-osmotic treatments in convective drying of guava slices. **Food and Bioproducts Processing**, v. 91, n. 4, p. 495–506, out. 2013.

KOWALSKI, S. J.; MIERZWA, D.; STASIAK, M. Ultrasound-assisted convective drying of apples at different process conditions. **Drying Technology**, v. 35, n. 8, p. 939–947, 11 jun. 2017.

LACHMAN, J.; FERNÁNDEZ, E. C.; ORSÁK, M. Yacon [*Smallanthus sonchifolia* (Poepp. et Endl.) H. Robinson] chemical composition and use - A review. **Plant, Soil and Environment**, v. 49, n. 6, p. 283–290, 2003.

LEONG, T.; ASHOKKUMAR, M.; SANDRA, K. The fundamentals of power ultrasound - A review. **Acoustics Australia**, v. 39, n. 2, p. 54–63, 2011.

LEONG, T. S. H.; MARTIN, G. J. O.; ASHOKKUMAR, M. Ultrasonic encapsulation – A review. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 35, p. 605–614, mar. 2017.

LIN, M. et al. Inhibitory effects of p-alkylbenzoic acids on the activity of polyphenol oxidase from potato (*Solanum tuberosum*). **Food Chemistry**, v. 119, n. 2, p. 660–663, 15 mar. 2010.

LLAVATA, B. et al. Innovative pre-treatments to enhance food drying: a current review. **Current Opinion in Food Science**, v. 35, p. 20–26, 2020.

MENON, A.; STOJCESKA, V.; TASSOU, S. A. A systematic review on the recent advances of the energy efficiency improvements in non-conventional food drying

technologies. **Trends in Food Science and Technology**, v. 100, n. March, p. 67–76, 2020.

MIANO, A. C.; IBARZ, A.; AUGUSTO, P. E. D. Mechanisms for improving mass transfer in food with ultrasound technology: Describing the phenomena in two model cases. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 29, p. 413–419, 2016.

MURALIDHARA, H. S.; ENSMINGER, D.; PUTNAM, A. ACOUSTIC DEWATERING AND DRYING (LOW AND HIGH FREQUENCY): STATE OF THE ART REVIEW. **Drying Technology**, v. 3, n. 4, p. 529–566, 9 nov. 1985.

NOWACKA, M. et al. Drying of ultrasound pretreated apple and its selected physical properties. **Journal of Food Engineering**, v. 113, n. 3, p. 427–433, dez. 2012.

NOWACKA, M. et al. Influence of ultrasound-assisted osmotic dehydration on the main quality parameters of kiwifruit. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 41, p. 71–78, 2017.

NOWACKA, M.; WEDZIK, M. Effect of ultrasound treatment on microstructure, colour and carotenoid content in fresh and dried carrot tissue. **Applied Acoustics**, v. 103, p. 163–171, fev. 2016.

O'DONNELL, C. P. et al. Effect of ultrasonic processing on food enzymes of industrial importance. **Trends in Food Science & Technology**, v. 21, n. 7, p. 358–367, jul. 2010.

OLIVEIRA, M. Á. DE; NISHIMOTO, E. K. Caracterização e quantificação dos carboidratos de reservas das raízes de yacon (*polymnia sonchifolia*) mantidas sob condições ambientais e refrigeração. **Revista Raízes e Amidos Tropicais**, v. 1, p. 30–39, 2005.

OLIVEIRA, R. B. et al. Topical anti-inflammatory activity of yacon leaf extracts. **Brazilian Journal of Pharmacognosy**, v. 23, n. 3, p. 497–505, 2013.

PAREDES, L. L. R. et al. International Journal of Biological Macromolecules Yacon fructans (*Smallanthus sonchifolius*) extraction , characterization and activation of macrophages to phagocyte yeast cells. **International Journal of Biological**

Macromolecules, v. 108, p. 1074–1081, 2018.

PARK, E. Y. et al. Effect of thermal shock cycling on storage stability and quality of fresh-cut potato. **LWT**, v. 121, p. 108972, mar. 2020.

RICCE, C. et al. Ultrasound pre-treatment enhances the carrot drying and rehydration. **Food Research International**, v. 89, p. 701–708, 2016.

RODRIGUES, O. R. L.; ASQUIERI, E. R.; ORSI, D. C. Prevention of enzymatic browning of yacon flour by the combined use of anti-browning agents and the study of its chemical composition. **Food Science and Technology**, v. 34, n. 2, p. 275–280, 2014.

ROJAS, M. L.; AUGUSTO, P. E. D. Ethanol pre-treatment improves vegetable drying and rehydration: Kinetics, mechanisms and impact on viscoelastic properties. **Journal of Food Engineering**, v. 233, p. 17–27, 2018.

ROJAS, M. L.; AUGUSTO, P. E. D.; CÁRCEL, J. A. Ethanol pre-treatment to ultrasound-assisted convective drying of apple. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 61, n. November 2019, p. 102328, 2020.

ROJAS, M. L.; SILVEIRA, I.; AUGUSTO, P. E. D. Ultrasound and ethanol pre-treatments to improve convective drying: Drying, rehydration and carotenoid content of pumpkin. **Food and Bioproducts Processing**, v. 119, p. 20–30, 2020.

SANTOS, K. C. et al. Enhancing carrot convective drying by combining ethanol and ultrasound as pre-treatments: Effect on product structure, quality, energy consumption, drying and rehydration kinetics. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 70, n. July 2020, p. 105304, 2020.

SANTOS, P. H. S.; SILVA, M. A. Kinetics of L-ascorbic acid degradation in pineapple drying under ethanolic atmosphere. **Drying Technology**, v. 27, n. 9, p. 947–954, 18 ago. 2009.

SIMPSON, R. et al. Understanding the success of Page's model and related empirical equations in fitting experimental data of diffusion phenomena in food matrices. **Trends in Food Science & Technology**, v. 62, p. 194–201, abr. 2017.

SOUSA, S. et al. In vitro evaluation of yacon (*Smallanthus sonchifolius*) tuber flour prebiotic potential. **Food and Bioproducts Processing**, v. 95, p. 96–105, 2015.

SUJKA, M. Ultrasonic modification of starch – Impact on granules porosity. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 37, p. 424–429, jul. 2017.

T. KUDRA, T.; MUJUMDAR, A. S. Sonic drying. In: PRESS, C. (Ed.). . **Advanced drying technologies**. second edi ed. Boca Raton (USA): Taylor& Francis Group, 2009. p. 199–224.

TATEMOTO, Y. et al. Drying characteristics of food materials injected with organic solvents in a fluidized bed of inert particles under reduced pressure. **Journal of Food Engineering**, v. 158, p. 80–85, ago. 2015.

VINATORU, M. Ultrasonically assisted extraction (UAE) of natural products some guidelines for good practice and reporting. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 25, p. 94–95, jul. 2015.

WANG, X. et al. Effect of vacuum and ethanol pretreatment on infrared-hot air drying of scallion (*Allium fistulosum*). **Food Chemistry**, v. 295, n. May, p. 432–440, 2019a.

WANG, X. et al. Effect of vacuum and ethanol pretreatment on infrared-hot air drying of scallion (*Allium fistulosum*). **Food Chemistry**, v. 295, p. 432–440, out. 2019b.

ZUBERNIK, J. et al. The Impact of the Pre-Treatment in Ethanol Solution on the Drying Kinetics and Selected Properties of Convective Dried Apples. **International Journal of Food Engineering**, p. 1–11, 2019.

OBJETIVOS

Objetivo geral

Avaliar a eficiência da utilização do etanol e ultrassom, combinados ou não, como pré-tratamento na secagem convectiva de batata yacon (*Smallanthus sonchifolius*), além de verificar o comportamento das fatias de yacon após os branqueamentos térmico e químico.

Objetivos específicos

Estudar o efeito do ultrassom (15 minutos) como pré-tratamento na secagem do yacon, por meio de análises de umidade e cor.

Estudar o efeito do etanol (15 minutos) como pré-tratamento na desidratação de yacon, por meio de análises de umidade e cor.

Estudar o efeito da associação do ultrassom com o etanol (15 minutos) como pré-tratamento na desidratação de yacon, por meio de análises de umidade e cor.

Verificar a influência dos branqueamentos químico e térmico na cinética de secagem e cor do yacon.

Estudar o efeito do ultrassom (30, 45 e 60 minutos) como pré-tratamento na dsecagem do yacon, por meio de análises de umidade, atividade de água, cor e microestrutura.

Estudar o efeito do etanol (30, 45 e 60 minutos) como pré-tratamento na desidratação de yacon, realizando análises de umidade, atividade de água, cor e microestrutura.

Estudar o efeito da associação do ultrassom com o etanol (30, 45 e 60 minutos) como pré-tratamento na desidratação de yacon, realizando análises de umidade, atividade de água, cor e microestrutura

Avaliar a cinética de secagem na temperatura de 50 °C e cinética de reidratação das fatias de yacon e verificar o ajuste aos modelos empíricos.

CAPÍTULO 1 – Use of ultrasound and ethanol to improve the drying of yacon potato (*Smallanthus sonchifolius*): effect of chemical and thermal bleaching

Alisson Martins et al.

Manuscript prepared and submitted to Food and Bioproducts Processing (Manuscript Number: FBP-D-21-00674)

**Use of ultrasound and ethanol to improve the drying of yacon potato
(*Smallanthus sonchifolius*): effect of chemical and thermal bleaching**

Alisson Felipe Lima Martins^{a*}, Érica Nascif Rufino Vieira^a, Bruno Ricardo de Castro
Leite Júnior^a, Afonso Mota Ramos^a

^a Department of Food Technology (DTA), Federal University of Viçosa (UFV), Viçosa,
MG, Brazil

Abstract

The yacon is a prebiotic food, rich in insoluble fibers, however, highly perishable because of its high moisture content and unstable coloration after peeling, due to enzymatic browning. To overcome such challenges, this study evaluated the effects of two types of bleaching (chemical and thermal) to precede the pre-treatment with ultrasound (US) and ethanol, in order to study the influence of these methods on drying kinetics, and also on changes in product color. Yacon cylinders were dried in a tray oven at 50°C and it was found that drying time until final moisture content (25%) was reduced after the application of pre-treatments. Particularly, pre-treatment with ethanol combined with ultrasound provided the greatest reduction in drying time for both the chemically bleached vegetable (30,1% reduction), and the thermally bleached vegetable (61,2% reduction). The best drying rate was observed for pre-treatment with US, yet the water which permeated into the internal matrix during this pre-treatment likely limited great reductions in drying time. Regarding product color, chemical bleaching was more efficient in preserving the color characteristics of the product. These results show new perspectives regarding the use of ethanol and ultrasound associated with different pre-treatments to improve the convective drying of yacon.

Keywords: Yacon roots; convective drying; drying kinetics; ultrasound technology; ethanol; color

Highlights:

- Ethanol+US provided the greatest reduction in drying time.
- Chemical bleaching was more efficient in reducing drying time.
- Pre-treatment with US resulted in a higher drying rate.
- Chemical bleaching promoted less interference in color.

1. Introduction

Yacon roots (*Smallanthus sonchifolius*) are native to the Andean regions of South America and belong to the botanical family Asteraceae. They consist, mostly, of carbohydrates of low energy value and insoluble fibers, such as FOS and inulin. These roots are constantly regarded in the literature as prebiotic sources and can be consumed in its dehydrated form or used as raw material for the formulation of products with a health appeal, such as jellies, syrups, flours, and in particular, foods for diabetics (MARQUES et al., 2020).

During the peeling and slicing of the yacon, the surface undergoes a rapid enzymatic darkening, changing from its natural color to a greenish-brown. This process is linked to the high content of phenolic compounds and high activity of the enzymes polyphenol oxidase (PPO) and peroxidase (POD), which also results in the reduction of total FOS content. Undesirable browning due to enzymatic action on phenols affects nutritional quality and reduces consumer acceptability of processed and fresh products (LANCETTI et al., 2020). The stability of enzymes present in the cell membrane is highly influenced by reactive oxygen species. That is, in the peeling and cutting operations, there is disruption of the cellular tissue, allowing the enzymes to act oxidatively on the available substrate, accelerating the browning and, consequently, the alteration and quality loss of the food. However, the internal balance of these species can be maintained chemically (chemical bleaching), using antioxidants or enzymes (DONG et al., 2021). This stability can also be maintained through thermal bleaching, though it should be noted that this type of treatment can lead to loss of nutritional value due to leaching of nutrients, thermal degradation of compounds, or alteration of starch granules after heating (KLANG et al., 2019).

Traditionally, the most widely used drying method is convective drying using hot air. This drying method, by itself, has some disadvantages such as requiring a long processing period and the use of high temperatures, hence, high energy expenditure, increasing the production costs, and deteriorating some thermosensitive vitamins. Thus, an alternative is to preprocess the product using efficient strategies before proceeding with drying.

To circumvent these complications, the introduction of unconventional technologies such as pre-treatments to accelerate drying is becoming increasingly common. It is already possible to find in the current literature several studies on the

application of ultrasound (HUANG et al., 2020) or pre-treatments with ethanol (ROJAS; AUGUSTO, 2018a) that do not involve high temperatures to reduce drying time and improve the final quality of products. In addition, these strategies have a greater environmental responsibility due to lower energy consumption and no release of polluting waste (LLAVATA et al., 2020).

However, there are still no studies that evaluate the drying behavior of yacon pre-treated with ultrasound and/or ethanol. A number of papers show promising results for other vegetables, however, each matrix must be analyzed for the effects on drying rates and visual quality, as well as for the impact of different types of bleaching, to be known. Therefore, this study evaluated the effect of ultrasound and ethanol to accelerate the drying process of yacon potatoes (*Smallanthus sonchifolius*), as well as the effect of chemical and thermal bleaching on the drying process and product color.

2. Material and Methods

Figure 1 shows the schematic representation of the process of obtaining yacon cylinders followed by bleaching (thermal and chemical) and preprocessing by ultrasound and ethanol alone and combined and then subjected to convective drying. In addition, the impact on the color of the product after processing and after drying was also evaluated. Detailed information is presented in the following items.

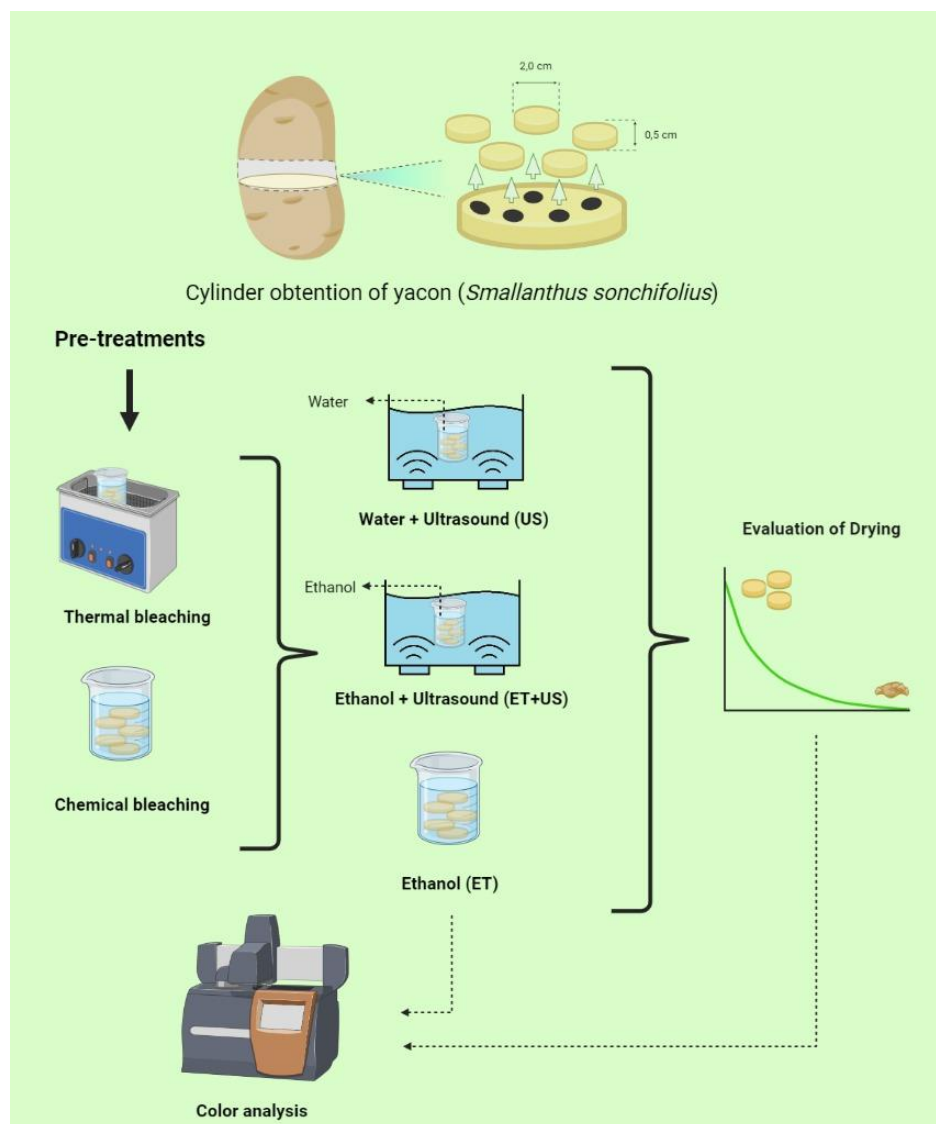


Figure 1-Schematic representation of the study steps.

2.1 Sample preparation

Fresh yacon potato tubers (*Smallanthus sonchifolius*) were obtained from the local market (Viçosa, MG). A sharp stainless steel tube (2.0 cm diameter) was used to extract cylinders from the central part of the yacon tubers. Then, from the extracted cylinders, yacon slices of 2.0 cm diameter \times 0.5 cm thickness were obtained for each treatment.

2.2 Bleachings

The samples were subjected to two types of bleaching: chemical and thermal bleaching. Chemical bleaching consisted of immersing the yacon slices in a beaker

containing 2% citric acid solution (w/v), for five minutes at 25°C. Afterward, the samples were drained and set aside for further preprocessing, either using ultrasound, ethanol, or a combination of both. Thermal bleaching was carried out by immersing yacon slices in a beaker containing distilled water placed in a water bath (SSDu 10L, Solidsteel, Piracicaba, Brazil) at a temperature of 90°C for 1 minute. Then, the sample was immersed in an ice bath, for 3 minutes, to interrupt the process, drained, and set aside for subsequent processes.

2.3 Ultrasound and ethanol pre-treatments

In addition to US and ethanol pre-treatments, unprocessed samples (control) were also subjected to drying for comparative evaluation. Therefore, the control samples were cut to the standard size, subjected to the same bleaching processes, and dried under the same conditions as the other treatments.

2.3.1 Pre-treatment with ethanol (ethanol)

A total of 20 yacon potato slices were immersed in a beaker containing 125 mL of ethanol and 90°GL (% m/m) at 25°C for 15 minutes. Subsequently, excess ethanol was removed and dried with absorbent paper. This process was carried out with a minimum of three repetitions.

2.3.2 Pre-treatment with ultrasound (US)

A total of 20 yacon potato slices were immersed in a beaker containing 125mL of distilled water and then processed with US for 15 minutes. The ultrasound process was executed using an ultrasonic bath (SSBu 6L, Solidsteel, Piracicaba, Brazil) with internal dimensions 10 x 30 x 24 cm, nominal capacity of 6 L, nominal power of 160 W, and frequency of 40 kHz. The volumetric power transmitted to the solution was measured according to the calorimetric method as described by O'donnell et al. (2010), resulting in 23.8 W/L. The US bath was previously filled with a volume of 3.6 L distilled water, and the beaker containing the sample was placed at the point of maximum exposure to ultrasonic intensity (previously determined by the aluminum foil method (VINATORU, 2015)). The temperature during processing was maintained at $25 \pm 2^\circ\text{C}$ and controlled employing a stainless steel heat exchanger in the ultrasonic bath with the recirculation of the water provided by an external ultra-thermostatic bath (SSDu 10L, Solidsteel, Piracicaba, Brazil). The process was performed in triplicate. After ultrasound processing, the samples were removed from

the water, and their surfaces were drained and superficially dried using absorbent paper.

2.3.3 Pre-treatment with ethanol and ultrasound (ethanol+US)

To evaluate the combined effect of ultrasound and ethanol, the same procedure as the previous sub-item was performed using the same conditions and process parameters, replacing only distilled water by 90° GL ethanol (% m/m).

2.4 Drying process

Convective drying took place at a temperature of 50°C until constant weight was achieved, using a fixed-bed dryer (tray dryer) made of stainless steel (model SSD, 85L, Solidsteel, Piracicaba, São Paulo) with circulation and renewal of drying air at an airspeed of 1m/s. The operating system of the dryer consisted of hot air flowing vertically through its trays. For the study of drying kinetics, the samples were weighed on a semi-analytical balance (Mark M2202, BEL Equipamentos, Piracicaba, Brazil) every 15 minutes during the first hour of drying; every 20 minutes during the second hour of drying, and every 30 minutes until the equilibrium condition was achieved.

Moisture in each stage was obtained by mass balance, considering the initial (after preprocessing) and final (after drying) moisture, which were obtained after the complete drying of the samples at 105°C until constant weight using an oven (Q819V2, QUIMIS, Diadema, Brazil).

It is noteworthy that during ethanol and ethanol+US preprocessing the samples lose water and solids, and gain ethanol. Therefore, according to Rojas and Augusto (2018b), the parameter "moisture" after pre-treatments with ethanol and ethanol+US includes the two volatile liquids, that is, it includes the remaining water and the absorbed ethanol.

The calculation of this moisture (M_P %) can be represented according to Eq. 1. Where W_P is remaining water, OH_P is absorbed ethanol and m_P is sample mass after ethanol and ethanol+US pre-treatments. As OH_P and W_P are masses that are difficult to calculate separately, in this study they were combined into a grouped parameter (L_P), including the mass of both liquids after pre-treatments (ROJAS; SILVEIRA; AUGUSTO, 2020).

$$M_p \% = \frac{W_p + OH_p}{m_p} * 100 = \frac{L_p}{m_p} * 100 \quad \text{Eq. 1}$$

During the drying process, mass loss also includes volatile liquids, pertaining to the loss of water and ethanol. Therefore, moisture content (M_t) over drying process time (t) is calculated according to Eq. 2. Likewise, it was calculated as the grouped parameter (L_t), which includes the mass of both liquids at any given drying time (t) (ROJAS; SILVEIRA; AUGUSTO, 2020).

$$M_t \% = \frac{W_t + OH_t}{m_t} * 100 = \frac{L_t}{m_t} * 100 \quad \text{Eq. 2}$$

Where W_t is water mass, OH_t is ethanol mass and m_t is the sample mass at any time (t).

Drying curves were plotted according to the dimensionless moisture content (MR) (Eq. 3) during the drying process time (ROJAS; SILVEIRA; AUGUSTO, 2020).

$$MR(t) = \frac{M_t - M_e}{M_p - M_e} \quad \text{Eq. 3}$$

Where M_t is moisture content (d.b.) (that is, kg of water/100 kg of dry matter) at any time (t) of the drying process, M_e is the equilibrium moisture content and M_p is the initial moisture (d.b.) after pre-treatments. Regarding control samples, M_p is equal to the initial moisture before preprocessing with US and ethanol. Thus, the samples start the drying process with MR values equal to one.

2.4.1 Drying kinetics

Drying kinetics was evaluated using the Page Model (Eq.4), where MR (t) is the dimensionless moisture content during drying time (t), k (h^{-n}) corresponds to the drying rate constant and n is the dimensionless drying constant. The k parameter can be interpreted as a “diffusion coefficient”, linked to sample geometry; the n parameter indicates “diffusion type” during the drying process. When $n > 1$, it refers to superdiffusion, while $n < 1$ refers to subdiffusion (SIMPSON et al., 2017). When $n \neq 1$, the importance of mechanisms unrelated to diffusion is highlighted, such as capillarity (ROJAS; AUGUSTO, 2018a).

$$MR(t) = \exp(-k \cdot t^n) \quad \text{Eq. 4}$$

Model fit was evaluated by the regression value R^2 (coefficient of determination), root mean square deviation value (RMSD, (Eq.5)), and by plotting the residual activity values obtained by the model (M_{model}) as a function of the experimental values ($M_{\text{experimental}}$). The regression of these data to a linear function (Eq. 6) results in three parameters: the linear slope (a ; which must be as close as possible to one), the intercept (b ; which must be as close as possible to zero) and the coefficient of determination (R^2 ; which must be as close as possible to one).

$$RMSD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (M_{\text{experimental}} - M_{\text{model}})^2}{n}} \quad \text{Eq.5}$$

$$M_{\text{model}} = a \cdot M_{\text{experimental}} + b \quad \text{Eq. 6}$$

2.5 Color analyzes

The surface color of yacon potato slices was evaluated before and after drying using COLOR QUEST II tristimulus colorimeter equipment and the Universe software, from Hunterlab, Reston, VA. Color determination was performed through direct reading of the reflectance of coordinates L^* , a^* , b^* using the CIELAB L^* scale, as it was adopted as standard by the International Commission on Illumination. This is a rectangular coordinate system that defines color according to L^* , which on a scale from 0 to 100 represents luminosity, ranging from black (0) to white (100); a^* , which represents the variation between green (negative values) and red (positive values); and finally, the b^* axis, which represents the variation from blue (negative values) to yellow (positive values). Through these parameters, the average color difference (ΔE^*) between the different pre-treatments and the fresh sample was calculated from Eq. 7. For each sample, three readings were performed at different locations on the product to obtain the average result. The fresh sample did not undergo any type of bleaching, nor was it pre-treated with ethanol or ultrasound, neither was it dehydrated (defined as a standard sample).

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad \text{Eq. 7}$$

2.6 Statistical analyses

The analytical procedures were performed in triplicate. The results were submitted to descriptive statistics (mean and standard deviation). To compare the averages between treatments regarding the parameters obtained from the Page

model, the drying time for different moisture contents, as well as for the color parameters (L^* , a^* and b^*), analysis of variance was used (ANOVA), followed by the Tukey test, with a significance level at 5% probability ($p < 0.05$).

3. Results and Discussion

3.1 Drying

The results of drying kinetics are shown in Fig. 2, and its data was adjusted to the Page Model (Eq.4). According to the values obtained for parameters a , b , RSMD and R^2 (Eqs. 5 and 6), the evaluated model described the experimental data well with $R^2 > 0.995$, “ a ” values very close to 1 ($| a-1 | < 0.0112$), “ b ” values close to 0 ($| b | < 0.0108$) and $\text{RMSD} < 0.032$. Graphs in Fig. 2 show “drying time”, which is the time needed to reach different moisture levels (50 to 25% w.b.), both for chemical bleaching (A) and for thermal bleaching (B); so that it is possible to assess the behavior of yacon slices during the different stages of the dehydration process.

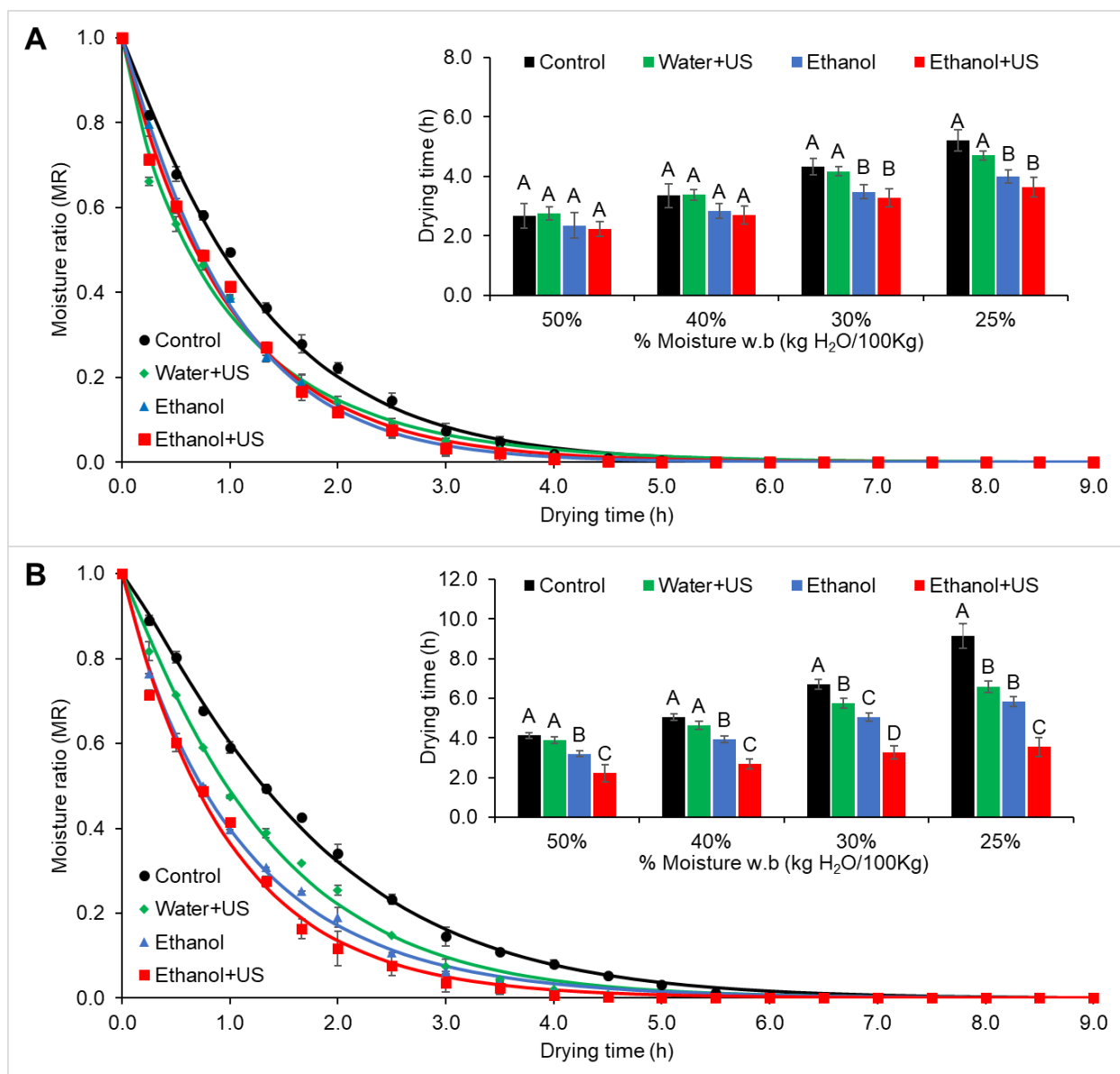


Figure 2- Dimensionless moisture (MR) behavior during time (t) of convective drying of yacon potato slices at 50 °C after ultrasound and ethanol processing, pre-treated by (A) chemical and (B) thermal bleaching. Different capital letters in the same % Moisture indicate statistically significant differences between the different treatments by the Tukey's test at 5% ($p > 0.05$).

From the results obtained, it was found that after chemical bleaching, the treatment with US displayed similarity in drying time when in comparison with the control treatment at all assessed moisture levels. The time required to reach 50% moisture was statistically equal ($p > 0.05$) for all treatments. Regarding other moisture levels (40 to 25%), the ethanol and ethanol+US treatments shortened drying time (Fig. 2A). In the thermally bleached samples (Fig. 2B), preprocessing by US and

ethanol had a greater impact in shortening drying time, particularly ethanol and ethanol+US processes which reduced the drying time when compared to the control sample in moisture levels ranging from 50 to 35%. This demonstrates that, among the evaluated conditions, ethanol promoted greater interference in the drying process than ultrasound. In a study by Santos et al. (2020), the authors also observed that treatments with ethanol+US and ethanol displayed the greatest reduction in drying time.

In the comparative evaluation, where samples were to reach the final moisture of 25% w.b. (considered the maximum desired final moisture (JAY; LOESSNER; GOLDEN, 2005)), the process with US was the one that showed the least reduction in the drying time when in comparison with the control sample regardless of the type of bleaching (9.6% reduction for the chemically bleached sample and 27.9% reduction for the thermally bleached one). These results were inferior to those found by Santos et al. (2021), who observed a 33% reduction in the drying time of carrot slices, although with US pre-treatment for thirty minutes and drying at 40°C. In another study, Rojas & Augusto (2018a) obtained a 23% reduction in the drying time of potato slices. These results were, in a way, expected, considering that the vast majority of works in the literature indicate a reduction of less than 25% in drying time in matrices treated with ultrasound (FIJALKOWSKA et al., 2016). On the other hand, as previously described, ethanol and ethanol+US treatments displayed the greatest efficiency in reducing drying time when compared to control, with emphasis on the Ethanol+US sample (30.1% reduction for chemically bleached samples and 61.2% for thermally bleached samples). These results highlight the potential of the combined effect (ethanol+US) for accelerating the drying time.

In the comparison between the two types of bleaching, on the other hand, although drying time was longer for the thermally bleached control sample (9.1h until moisture level of 25% w.b.) when compared to the chemically bleached control sample (5.2h until the same moisture level), the US and ethanol processes displayed greater efficiency in thermal bleaching than in chemical bleaching. Specifically, the greatest reductions were 36.4% (ethanol) and 61.2% (ethanol+US) for thermal bleaching, and 23.4% (ethanol) and 30.1% (ethanol + US) for chemical bleaching. These differences are possibly due to the greater impact of thermal bleaching on the structure of samples, making water removal difficult (extending drying time when compared to chemical bleaching). Therefore, US and Ethanol processes contributed

significantly in facilitating water removal and, consequently, in shortening the drying time of the thermally bleached samples.

Adjusting the data to the Page Model (Eq. 4), made it possible to obtain the k and n parameters (Table 1). Regarding chemical bleaching, the control sample had the lowest k value in comparison to processed samples ($p < 0.05$). On the other hand, treatments with US, ethanol+US, and ethanol, showed values of $k > 1$ and did not differ from one another ($p > 0.05$). This result highlights the positive impact of the pre-treatments applied to accelerate drying time since this parameter refers to drying rate. As for thermal bleaching, all treatments differed ($p > 0.05$). The control had the lowest k value, followed by the US and ethanol, whereas ethanol+US treatment had the highest value for this parameter. Thus, all pre-treatments increased the drying rate, reinforcing the efficiency of the pre-treatments and displaying the influence of the combined ethanol and ultrasound processes to increase drying rate and shorten drying time.

In the comparison between the two types of bleaching tested (chemical and thermal) chemically bleached samples had higher k values than those same samples when thermally bleached ($p < 0.05$), aside from the ethanol+US sample which did not differ between bleaching types ($p > 0.05$). These values confirm the shorter time needed for drying the chemically bleached samples when compared to those thermally bleached.

Table 1- Parameters k and n of Page Model (Equation (4)) of convective drying of yacon potato slices at 50 °C after ultrasound and ethanol processing pre-treated by chemical and thermal bleaching.

Bleaching	Treatment	Page model parameters		
		k (h ⁻¹)	n	R ²
Chemical	Control	0.76±0.08 ^c	1.077±0.062 ^b	0.998
	US	1.05±0.09 ^a	0.864±0.070 ^d	0.995
	Ethanol	1.00±0.06 ^a	1.072±0.042 ^b	0.999
	Ethanol+US	1.01±0.01 ^a	0.986±0.061 ^{bc}	0.997
Thermal	Control	0.51±0.01 ^d	1.162±0.022 ^a	0.995
	US	0.72±0.00 ^c	1.076±0.020 ^b	0.999
	Ethanol	0.92±0.01 ^b	0.938±0.008 ^{cd}	0.999
	Ethanol+US	1.01±0.01 ^a	0.990±0.074 ^{bc}	0.997

Different lower-case letters in the same column indicate statistically significant differences between the different treatments (bleaching method and processing by Ultrasound and ethanol) by the Tukey's test at 5% ($p > 0.05$).

The parameter n , which represents the dimensionless drying constant, can be used to indicate the "type of diffusion" during the drying process (SIMPSON et al., 2017). In the evaluation between the different treatments, regarding the chemically bleached samples, the n value of the processed samples was equal to the control ($p > 0.05$), except for the US treatment that displayed a lower n value ($p < 0.05$). As for the thermally bleached samples, all treatments reduced n value in relation to the control sample ($p < 0.05$), while the treatments using ethanol (ethanol and ethanol+US) displayed the lowest values, not differing from one another ($p > 0.05$).

As a result of the formation of microchannels, through cavitation and mass transfer, due to the surface tension gradient formed (Marangoni effect), it was expected that samples treated with US and ethanol would cause an increase in n value, leading to a superdiffusive effect. However, this was not observed. So far it is difficult to directly relate the increase or decrease in n value only to changes in the structure of the food matrix. The noted decrease in n value likely also correlates with the structure of the cell wall, as well as with changes in the composition of the sample surface produced by ethanol and enhanced by the duration of the ultrasound process (ROJAS; SILVEIRA; AUGUSTO, 2020).

When comparing the two types of bleaching, higher n values were found for control samples and for US treated samples, previously thermally bleached, in comparison to those same samples when chemically bleached ($p < 0.05$). The opposite was found for the sample pre-treated with ethanol ($p < 0.05$), and no difference was found for ethanol+US samples between bleaching types ($p > 0.05$). This behavior implies that thermal treatment has a greater interference in the diffusivity of most samples during the drying process when compared to the chemical treatment.

According to Miano et al. (2016), when the ultrasound process is applied, the food matrix tends to form several channels with different shapes and directions. It appears these cavities are formed at random, and may or may not connect to one another or to the external surface, causing the mass transfer to be from slightly to extremely influenced. A significant increase in diffusion and/or drying rate will only be

observed if a large number of channels are formed and provided those are connected to the external surface of the sample. In the opposite case, that is, the formation of few channels, or channels isolated from the external environment, liquid may become confined within the matrix, hindering mass transfer and causing a subdiffusive system to emerge (Rojas et al., 2020).

To assess the influence of both ethanol and ultrasound as pre-treatments, the drying rate was also calculated and displayed in Fig.3.

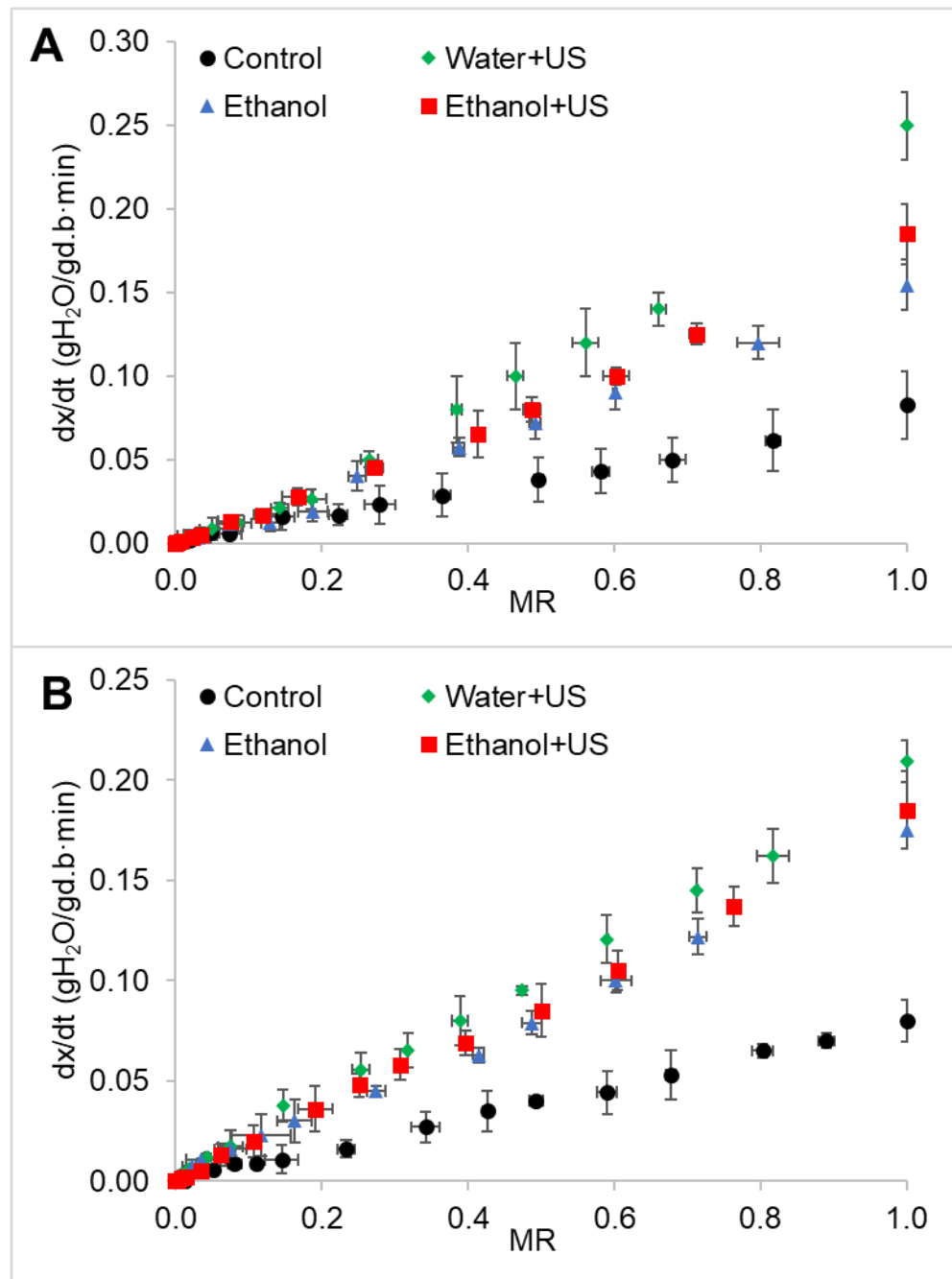


Figure 3- Drying rate behavior of yacon potato slices at 50 °C after ultrasound and ethanol processing pre-treated by (A) chemical and (B) thermal bleaching.

It is interesting to note that although treatment with US was not the one that most shortened drying time (Fig. 2), this pre-treatment provided the highest drying rate, for both chemical (Fig. 3A) and thermal bleaching (Fig. 3B). The explanation for this phenomenon may be related to the water absorbed by the sample during pre-treatment. Such water can either fill spaces created during cavitation or permeate into cells. In the first case, free water is easily removed at the start of drying. Greater amounts of free water in the sample after pre-treatment are observed by an increase in k value. As for the second case, it is harder to remove intracellular water, once it first must break the barrier of the cell wall, and later become free for vaporization during the drying process (RICCE et al., 2016).

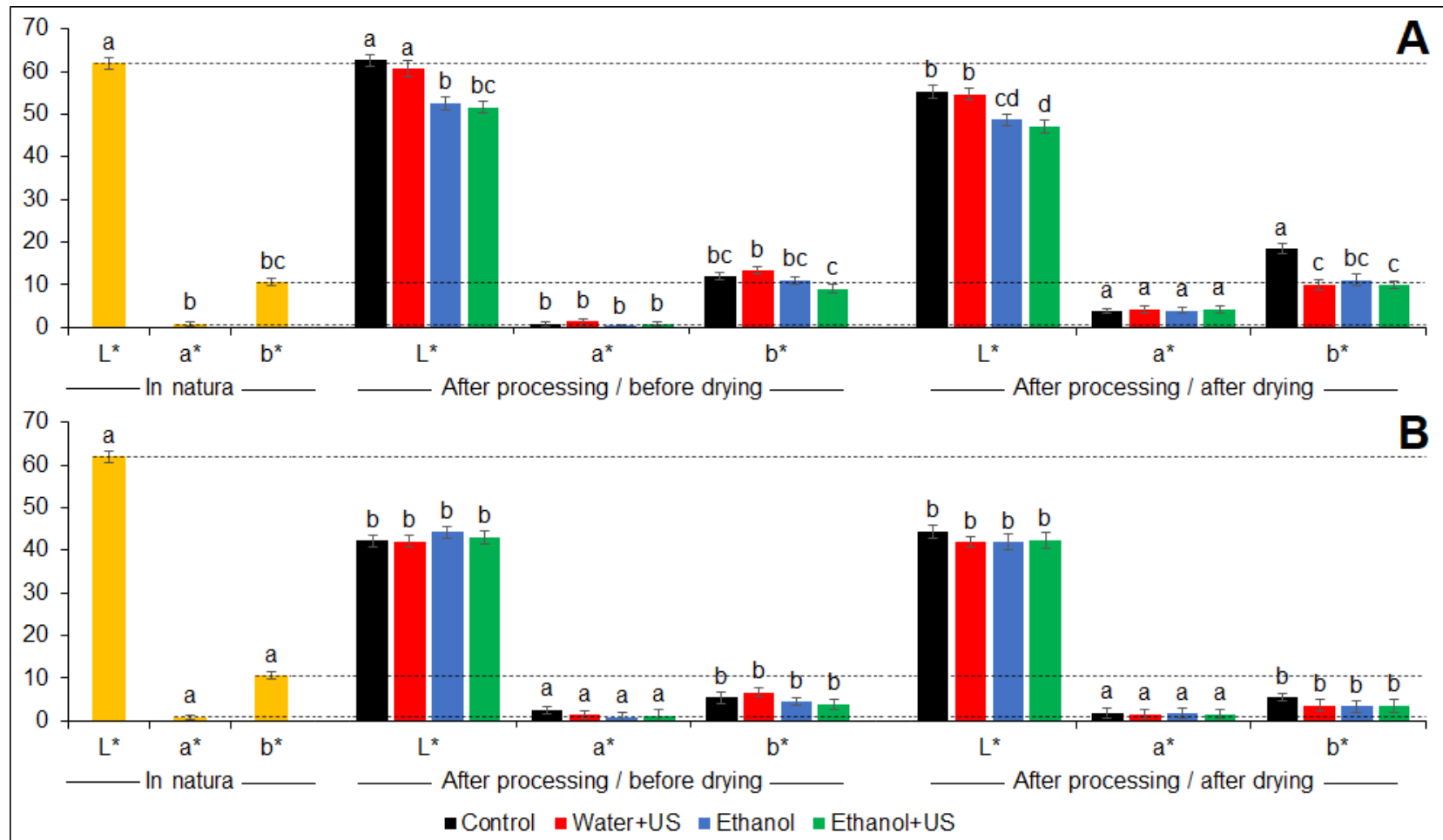
The drying rate in ethanol treatments was also higher than in control samples. This can be explained by the desiccant property of ethanol, given its hygroscopic properties and that pre-treatment with this solvent can result in a higher drying rate. Another possibility is an increase in cell membrane permeability, considering that some solutes are extracted by ethanol (DA CUNHA et al., 2020). Furthermore, ethanol has a higher surface tension than water, and this gradient induces the Marangoni effect. This effect extracts water from within the sample, reducing drying time.

3.2 Color

Food color is one of the most important quality parameters, as it determines the acceptance of processed food products. Color evaluation allows visualization of the changes suffered by samples during processing and after drying and indicates the influence of each treatment on this quality parameter. Fig. 4 displays the results of the color analysis in the fresh sample, after preprocessing, and after drying the samples, both for chemical (A) and thermal bleaching (B).

For chemically bleached samples, regarding the L^* parameter, which is correlated with the product's luminosity, US treatment preserved the luminosity of the samples after pre-treatment. After drying, although there was a decrease in luminosity in relation to the fresh sample, it did not differ from the control sample ($p > 0.05$). When the sample is immersed in liquid media during US treatment, color is better preserved due to limited access to air (NOWACKA et al., 2017). Nowacka et al. (2017) also observed that ultrasound treatment preserves luminosity when

evaluating the behavior of kiwi undergoing this process. On the other hand, ethanol treatments reduced sample luminosity after processing and after drying ($p < 0.05$). It is possible this occurred because pre-treatment with ethanol may increase the exposure of compounds to the oxidation effect caused by contact with outside air. Immersion in ethanol can remove air from tissues and alter the composition of the cell walls of the porous structure, increase the contact surface, and decrease the cell wall thickness of the yacon samples, which can further expose its internal components, allowing the activity of oxidative enzymes. There is a direct relationship between this enzyme's activity and the browning reaction of samples (ROJAS et al., 2020).



1

2 **Figure 4-** Color of in natura, pre-treated (before drying) and dried yacon potato slices: Samples processed by ultrasound and ethanol
 3 pre-treated by (A) chemical and (B) thermal bleaching. Lower cases indicate significant differences between the different samples for
 4 the same parameter (L* or a* or b*) by the Tukey's test at 5% ($p > 0.05$).

Regarding the a^* parameter, which indicates the level of red-green colors, none of the processes displayed significant interference in the chemically bleached samples ($p > 0.05$). However, after drying, all samples showed higher values than the fresh sample, including the control sample, indicating an expected consequence of the drying process ($p < 0.05$). As for the b^* parameter, which is related to yellow-blue colors, none of the samples differed from the fresh sample after processing ($p > 0.05$); nevertheless, after drying, b^* value was higher for the control sample than for the fresh sample ($p < 0.05$).

Regarding thermally bleached samples concerning parameters L^* and b^* , all treatments, including control, displayed lower values than the fresh sample ($p < 0.05$). However, none of them differed from one another, neither after processing nor after drying ($p > 0.05$). This behavior demonstrates that the heat treatment, by itself, significantly decreases the luminosity of the yacon, with minimal alteration during US and ethanol processes, as well as during drying. As for the a^* parameter, there was no difference between processed, dried, and fresh samples ($p > 0.05$).

This behavior points to thermal bleaching having a greater interference in sample color than chemical bleaching. This may be due to damage caused by high temperature in plant tissues. Furthermore, L^* , a^* , and b^* parameters were used to calculate the total color difference (ΔE), which describes the general changes in reference to fresh sample color (Table 2).

Based on these values, thermal bleaching caused major changes in sample color when compared to fresh yacon ($\Delta E = 20.4$ for the control sample). While chemical bleaching enabled the maintenance of product color after bleaching ($\Delta E = 2.1$ for the control sample), although after drying, as expected, this value increased ($\Delta E = 10.7$ for the control sample).

Regarding the effect of ultrasound and ethanol processes, after chemical bleaching, it was found that the control sample and the sample treated with ultrasound were both characterized by lower ΔE values than samples treated with ethanol (ethanol and ethanol+US), because of the high impact of ethanol on the L^* parameter, as previously discussed. Whereas after thermal bleaching, ΔE values were similar between the processes, including control, both after processing, as well as after drying. Possibly, due to the intense alteration this bleaching causes on product color, the impact of US-ethanol and drying processes were minimized. According to the interpretation by Choi et al. (2002), ΔE values greater than 2 confirm

a visible color difference between samples. Thus, we can conclude that among the applied processes, chemical bleaching, as well as the ultrasound process, were the ones that resulted in the least alteration of color characteristics of the product.

Table 2-Values of color ΔE of in natura, pre-treated (before drying), and dried yacon potato slices.

Bleaching	Treatment	ΔE	
		Before drying	After drying
Chemical	Control	2.1 \pm 0.4	10.7 \pm 1.2
	US	2.8 \pm 0.5	8.0 \pm 1.6
	Ethanol	9.3 \pm 1.5	13.6 \pm 2.1
	Ethanol+US	10.4 \pm 1.3	15.1 \pm 2.4
Thermal	Control	20.4 \pm 1.9	18.2 \pm 1.5
	US	20.3 \pm 2.0	21.1 \pm 1.4
	Ethanol	18.8 \pm 2.5	21.2 \pm 2.9
	Ethanol+US	20.1 \pm 2.1	20.7 \pm 2.3
Fresh sample (<i>in natura</i>)		Reference	

4. Conclusion

The use of ethanol and ultrasound pre-treatments was studied in association with different bleaching to accelerate the convective drying of yacon potatoes. Evaluated treatments were efficient in shortening drying time. In particular, the effect of ethanol on drying time was more evident than the effect of ultrasound, however, when combined, a synergistic effect was observed. The highest drying rate was observed for the sample pre-treated with US, however, the water which permeated into the samples during this pre-treatment likely prevented further reductions in drying time. Chemical bleaching managed to preserve the color characteristics of the samples in relation to the fresh product, in contrast, thermally bleached samples displayed the lowest luminosity values, both before and after drying. These results show new perspectives on the use of ethanol and ultrasound to improve yacon convective drying.

Funding

This research was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Finance Code 001.

References

ADRIANO, L. S. et al. Yacon syrup reduces postprandial glycemic response to breakfast: A randomized, crossover, double-blind clinical trial. **Food Research International**, v. 126, p. 108682, dez. 2019.

AOAC, G. W. **Official methods of analysis of AOAC International**. 20. ed. Rockville: AOAC International, 2016.

BARONI, S. et al. Effect of crude extracts of leaves of *Smallanthus sonchifolius* (yacon) on glycemia in diabetic rats. **Revista Brasileira de Ciências Farmaceuticas/Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences**, v. 44, n. 3, p. 521–530, 2008.

BELMIRO, R. H.; TRIBST, A. A. L.; CRISTIANINI, M. Impact of high pressure processing in hydration and drying curves of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.). **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 47, n. March, p. 279–285, 2018.

BOUCHER, R. M. G. Drying by airborne ultrasonics. **Ultrasonic News**, v. 3, p. 8–16, 1959.

CAMPOS, D.; AGUILAR-GALVEZ, A.; PEDRESCHI, R. Stability of fructooligosaccharides, sugars and colour of yacon (*Smallanthus sonchifolius*) roots during blanching and drying. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 51, n. 5, p. 1177–1185, 2016.

CASTAGNINI, J. M. et al. Pulsed electric fields effect on mechanical and sorption properties of dried apple tissue. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 65, n. May, 2020.

CHOI, M. .; KIM, G. .; LEE, H. . Effects of ascorbic acid retention on juice color and pigment stability in blood orange (*Citrus sinensis*) juice during refrigerated storage. **Food Research International**, v. 35, n. 8, p. 753–759, jan. 2002.

DA CUNHA, R. M. C. et al. Effect of ethanol pretreatment on melon convective

drying. **Food Chemistry**, v. 333, n. April, p. 127502, 2020.

DENG, L. Z. et al. Chemical and physical pretreatments of fruits and vegetables: Effects on drying characteristics and quality attributes—a comprehensive review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 59, n. 9, p. 1408–1432, 2019.

DIONÍSIO, A. P. et al. Cashew-apple (*Anacardium occidentale* L.) and yacon (*Smallanthus sonchifolius*) functional beverage improve the diabetic state in rats. **Food Research International**, v. 77, p. 171–176, 2015.

DONG, T. et al. A novel aspartic protease inhibitor inhibits the enzymatic browning of potatoes. **Postharvest Biology and Technology**, v. 172, n. 61, p. 111353, 2021.

FENG, Y. et al. Aspartic Acid Can Effectively Prevent the Enzymatic Browning of Potato by Regulating the Generation and Transformation of Brown Product. **Postharvest Biology and Technology**, v. 166, p. 111209, ago. 2020.

FERNANDES, F. A. N.; LINHARES, F. E.; RODRIGUES, S. Ultrasound as pre-treatment for drying of pineapple. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 15, n. 6, p. 1049–1054, set. 2008.

FERNANDES, F. A. N.; RODRIGUES, S. Dehydration of Sapota (*Achras sapota* L.) Using Ultrasound as Pretreatment. **Drying Technology**, v. 26, n. 10, p. 1232–1237, 19 set. 2008.

FIJALKOWSKA, A. et al. Ultrasound as a Pretreatment Method to Improve Drying Kinetics and Sensory Properties of Dried Apple. **Journal of Food Process Engineering**, v. 39, n. 3, p. 256–265, jun. 2016.

GREGUSS, P. The mechanism and possible applications of drying by ultrasonic irradiation. **Ultrasonics**, v. 1, n. 2, p. 83–86, abr. 1963.

GUIGOZ, Y. et al. Effects of oligosaccharide on the faecal flora and non-specific immune system in elderly people. **Nutrition Research**, v. 22, n. 1–2, p. 13–25, 2002.

HABIB, N. C. et al. Hypolipidemic effect of *Smallanthus sonchifolius* (yacon) roots on diabetic rats: Biochemical approach. **Chemico-Biological Interactions**, v. 194, n. 1, p. 31–39, 2011.

HALDER, A.; DATTA, A. K.; SPANSWICK, R. M. Water transport in cellular tissues during thermal processing. **AIChE Journal**, v. 57, n. 9, p. 2574–2588, set. 2011.

HALL, J. N. et al. Global Variability in Fruit and Vegetable Consumption. **American Journal of Preventive Medicine**, v. 36, n. 5, p. 402- 409.e5, maio 2009.

HUANG, D. et al. Application of ultrasound technology in the drying of food products. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 63, n. November 2019, p. 104950, 2020.

JAY, J. M.; LOESSNER, M. J.; GOLDEN, D. A. Protection of Foods by Drying. In: **Modern Food Microbiology**. Boston, MA: Springer US, 2005. p. 443–456.

KEK, S. P.; CHIN, N. L.; YUSOF, Y. A. Direct and indirect power ultrasound assisted pre-osmotic treatments in convective drying of guava slices. **Food and Bioproducts Processing**, v. 91, n. 4, p. 495–506, out. 2013.

KOWALSKI, S. J.; MIERZWA, D.; STASIAK, M. Ultrasound-assisted convective drying of apples at different process conditions. **Drying Technology**, v. 35, n. 8, p. 939–947, 11 jun. 2017.

LACHMAN, J.; FERNÁNDEZ, E. C.; ORSÁK, M. Yacon [*Smallanthus sonchifolia* (Poepp. et Endl.) H. Robinson] chemical composition and use - A review. **Plant, Soil and Environment**, v. 49, n. 6, p. 283–290, 2003.

LEONG, T.; ASHOKKUMAR, M.; SANDRA, K. The fundamentals of power ultrasound - A review. **Acoustics Australia**, v. 39, n. 2, p. 54–63, 2011.

LEONG, T. S. H.; MARTIN, G. J. O.; ASHOKKUMAR, M. Ultrasonic encapsulation – A review. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 35, p. 605–614, mar. 2017.

LIN, M. et al. Inhibitory effects of p-alkylbenzoic acids on the activity of polyphenol oxidase from potato (*Solanum tuberosum*). **Food Chemistry**, v. 119, n. 2, p. 660–663, 15 mar. 2010.

LLAVATA, B. et al. Innovative pre-treatments to enhance food drying: a current review. **Current Opinion in Food Science**, v. 35, p. 20–26, 2020.

MENON, A.; STOJCESKA, V.; TASSOU, S. A. A systematic review on the recent advances of the energy efficiency improvements in non-conventional food drying technologies. **Trends in Food Science and Technology**, v. 100, n. March, p. 67–76, 2020.

MIANO, A. C.; IBARZ, A.; AUGUSTO, P. E. D. Mechanisms for improving mass transfer in food with ultrasound technology: Describing the phenomena in two model

cases. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 29, p. 413–419, 2016.

MURALIDHARA, H. S.; ENSMINGER, D.; PUTNAM, A. ACOUSTIC DEWATERING AND DRYING (LOW AND HIGH FREQUENCY): STATE OF THE ART REVIEW. **Drying Technology**, v. 3, n. 4, p. 529–566, 9 nov. 1985.

NOWACKA, M. et al. Drying of ultrasound pretreated apple and its selected physical properties. **Journal of Food Engineering**, v. 113, n. 3, p. 427–433, dez. 2012.

NOWACKA, M. et al. Influence of ultrasound-assisted osmotic dehydration on the main quality parameters of kiwifruit. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 41, p. 71–78, 2017.

NOWACKA, M.; WEDZIK, M. Effect of ultrasound treatment on microstructure, colour and carotenoid content in fresh and dried carrot tissue. **Applied Acoustics**, v. 103, p. 163–171, fev. 2016.

O'DONNELL, C. P. et al. Effect of ultrasonic processing on food enzymes of industrial importance. **Trends in Food Science & Technology**, v. 21, n. 7, p. 358–367, jul. 2010.

OLIVEIRA, M. Á. DE; NISHIMOTO, E. K. Caracterização e quantificação dos carboidratos de reservas das raízes de yacon (*polymnia sonchifolia*) mantidas sob condições ambientais e refrigeração. **Revista Raízes e Amidos Tropicais**, v. 1, p. 30–39, 2005.

OLIVEIRA, R. B. et al. Topical anti-inflammatory activity of yacon leaf extracts. **Brazilian Journal of Pharmacognosy**, v. 23, n. 3, p. 497–505, 2013.

PAREDES, L. L. R. et al. International Journal of Biological Macromolecules Yacon fructans (*Smallanthus sonchifolius*) extraction , characterization and activation of macrophages to phagocyte yeast cells. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 108, p. 1074–1081, 2018.

PARK, E. Y. et al. Effect of thermal shock cycling on storage stability and quality of fresh-cut potato. **LWT**, v. 121, p. 108972, mar. 2020.

RICCE, C. et al. Ultrasound pre-treatment enhances the carrot drying and rehydration. **Food Research International**, v. 89, p. 701–708, 2016.

RODRIGUES, O. R. L.; ASQUIERI, E. R.; ORSI, D. C. Prevention of enzymatic

browning of yacon flour by the combined use of anti-browning agents and the study of its chemical composition. **Food Science and Technology**, v. 34, n. 2, p. 275–280, 2014.

ROJAS, M. L.; AUGUSTO, P. E. D. Ethanol pre-treatment improves vegetable drying and rehydration: Kinetics, mechanisms and impact on viscoelastic properties. **Journal of Food Engineering**, v. 233, p. 17–27, 2018a.

ROJAS, M. L.; AUGUSTO, P. E. D. Ethanol and ultrasound pre-treatments to improve infrared drying of potato slices. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 49, n. April, p. 65–75, 2018b.

ROJAS, M. L.; AUGUSTO, P. E. D.; CÁRCEL, J. A. Ethanol pre-treatment to ultrasound-assisted convective drying of apple. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 61, n. November 2019, p. 102328, 2020.

ROJAS, M. L.; SILVEIRA, I.; AUGUSTO, P. E. D. Ultrasound and ethanol pre-treatments to improve convective drying: Drying, rehydration and carotenoid content of pumpkin. **Food and Bioproducts Processing**, v. 119, p. 20–30, 2020.

SANTOS, K. C. et al. Enhancing carrot convective drying by combining ethanol and ultrasound as pre-treatments: Effect on product structure, quality, energy consumption, drying and rehydration kinetics. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 70, n. July 2020, p. 105304, 2020.

SANTOS, P. H. S.; SILVA, M. A. Kinetics of L-ascorbic acid degradation in pineapple drying under ethanolic atmosphere. **Drying Technology**, v. 27, n. 9, p. 947–954, 18 ago. 2009.

SIMPSON, R. et al. Understanding the success of Page's model and related empirical equations in fitting experimental data of diffusion phenomena in food matrices. **Trends in Food Science & Technology**, v. 62, p. 194–201, abr. 2017.

SOUSA, S. et al. In vitro evaluation of yacon (*Smallanthus sonchifolius*) tuber flour prebiotic potential. **Food and Bioproducts Processing**, v. 95, p. 96–105, 2015.

SUJKA, M. Ultrasonic modification of starch – Impact on granules porosity. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 37, p. 424–429, jul. 2017.

T. KUDRA, T.; MUJUMDAR, A. S. Sonic drying. In: PRESS, C. (Ed.). . **Advanced drying technologies**. second ed. Boca Raton (USA): Taylor & Francis Group,

2009. p. 199–224.

TATEMOTO, Y. et al. Drying characteristics of food materials injected with organic solvents in a fluidized bed of inert particles under reduced pressure. **Journal of Food Engineering**, v. 158, p. 80–85, ago. 2015.

VINATORU, M. Ultrasonically assisted extraction (UAE) of natural products some guidelines for good practice and reporting. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 25, p. 94–95, jul. 2015.

WANG, X. et al. Effect of vacuum and ethanol pretreatment on infrared-hot air drying of scallion (*Allium fistulosum*). **Food Chemistry**, v. 295, n. May, p. 432–440, 2019a.

WANG, X. et al. Effect of vacuum and ethanol pretreatment on infrared-hot air drying of scallion (*Allium fistulosum*). **Food Chemistry**, v. 295, p. 432–440, out. 2019b.

ZUBERNIK, J. et al. The Impact of the Pre-Treatment in Ethanol Solution on the Drying Kinetics and Selected Properties of Convective Dried Apples. **International Journal of Food Engineering**, p. 1–11, 2019.

CAPÍTULO 2 – Efeito de pré-tratamentos com etanol e ultrassom em fatias de yacon:

cinética de secagem, reidratação, microestrutura e cor

Alisson Martins et al.

Manuscrito sendo preparado para submissão

Efeito de pré-tratamentos com etanol e ultrassom em fatias de yacon: cinética de secagem, reidratação, microestrutura e cor

Alisson Felipe Lima Martins^{a*}, Érica Nascif Rufino Vieira^a, Bruno Ricardo de Castro Leite Júnior^a, Afonso Mota Ramos^a

^a Department of Food Technology (DTA), Federal University of Viçosa (UFV), Viçosa, MG, Brazil

Resumo

Yacon (*Smallanthus sonchifolia*), é uma raiz tuberosa perecível por conter elevada umidade e atividade enzimática, sendo esta última motivo de rejeição do produto processado pelo consumidor. Este estudo avaliou a secagem de batata yacon utilizando etanol, ultrassom (US) e etanol associado ao ultrassom (etanol+US) como pré-tratamentos à secagem convectiva, e seus efeitos sobre a cinética de secagem e reidratação, além das alterações de cor, microestrutura e aparência do produto. Após os pré-tratamentos com ultrassom e etanol (30, 45 ou 60 minutos), cilindros de yacon foram secos em estufa de bandeja a 50°C. Verificou-se que o aumento no tempo de pré-tratamento não provocou, necessariamente, a redução no tempo de secagem. As alterações estruturais provocadas pelos períodos de pré-tratamento impediram o aumento na retenção de água das amostras durante o processo de reidratação. O pré-tratamento com US foi o que menos alterou a cor do produto, seja após o uso de ultrassom ou após a secagem. Longos períodos de pré-tratamento seja com ultrassom ou com etanol, não favorecem a cinética de secagem ou a reidratação do yacon, devido às grandes alterações estruturais provocadas por esses processos.

Keywords: Yacon roots; convective drying; drying kinetics; ultrasound technology; quality parameters

Highlights:

- Longos períodos de pré-tratamento não aumentam a eficiência da secagem.
- Alterações estruturais impediram a retenção de água durante a reidratação.
- O ultrassom promoveu alterações mínimas na cor do produto.
- O ultrassom provocou inchamento das células.
- Etanol diminuiu a espessura da parede celular.

1. Introdução

O yacon (*Smallanthus sonchifolia*), é uma cultura com origem nos vales andinos que chegou ao Brasil por volta dos anos 80 trazida por imigrantes japoneses. É uma fonte abundante de β -(2-1) fruto-oligossacarídeos (FOS) reconhecido como um componente alimentar prebiótico com diversos benefícios à saúde (ADRIANO et al., 2019). Alguns estudos associam a ingestão regular do Yacon com a melhora de algumas características fisiológicas, aumentando a resistência contra patógenos intestinais e promovendo um bom desenvolvimento de resposta imune, incluindo a diminuição das alergias, redução do índice glicêmico, controle dos níveis de colesterol, entre outros (Habib et al., 2011; Oliveira et al., 2013; Paredes et al., 2018).

O beneficiamento do yacon se apresenta como uma boa oportunidade para agregar valor ao produto, seja em termos de funcionalidade, praticidade extensão da vida de prateleira ou em rentabilidade para a indústria alimentícia. Como se trata de uma raiz tuberosa de elevada umidade, a tecnologia de secagem pode ser uma alternativa promissora para o seu processamento. Tradicionalmente, o método de secagem mais utilizado é a secagem convectiva utilizando ar quente. No entanto, esse método de secagem apresenta algumas desvantagens como: longo período de secagem e utilização de altas temperaturas, com alto gasto energético, elevando os custos de produção, além de promover a deterioração de algumas vitaminas termossensíveis e alterações bruscas na aparência dos produtos. Buscando solucionar esses problemas, a utilização de tecnologias emergentes como pré-tratamentos para secagem convencional estão se tornando cada vez mais comuns. Entre as tecnologias que podem otimizar o processo de secagem, o ultrassom (HUANG et al., 2020) e a imersão em etanol (Rojas & Augusto, 2018) são bastante promissoras.

Quando o ultrassom é aplicado ao alimento, produz efeitos como a cavitação, que consiste em sucessivas compressões e expansões (efeito esponja) do material tratado ou uma pequena agitação interna, que proporciona uma transferência de massa mais eficiente (LLAVATA et al., 2020) possibilitando a remoção de parte da água fortemente ligada. Em geral, o tratamento com ultrassom reduz a atividade hídrica, melhora a cor do produto e diminui a perda de flavonoides, atividade antioxidante, vitamina C e teor fenólico total (HUANG et al., 2020).

Por outro lado, a utilização do etanol como pré-tratamento consiste na dissolução de constituintes da parede celular da matriz alimentícia, aumentando a porosidade, removendo o ar dos espaços intercelulares e por consequência, elevando a permeabilidade e reduzindo o tempo de secagem. Além disso, há evidências que corroboram com a eficiência da utilização do etanol, como pré-tratamento para secagem, na retenção de compostos bioativos (Wang et al., 2019).

Alguns estudos evidenciam o potencial de utilização do ultrassom e do etanol como pré-tratamentos à secagem de matrizes vegetais. Entretanto, nenhum estudo foi realizado avaliando o comportamento do yacon submetido a esses pré-tratamentos. Tendo em vista que cada matriz apresenta suas características intrínsecas, este trabalho objetivou avaliar o efeito do ultrassom e do etanol na cinética de secagem e reidratação bem como na microestrutura e cor da batata yacon.

2. Material e Métodos

A Figura 1 representa o esquema de obtenção dos cilindros de yacon seguido do branqueamento químico e dos pré-tratamentos por ultrassom, etanol e combinação de ultrassom e etanol previamente à secagem convectiva. Após a secagem foram avaliadas a reidratação do produto, o impacto na coloração e na microestrutura dos tubérculos.

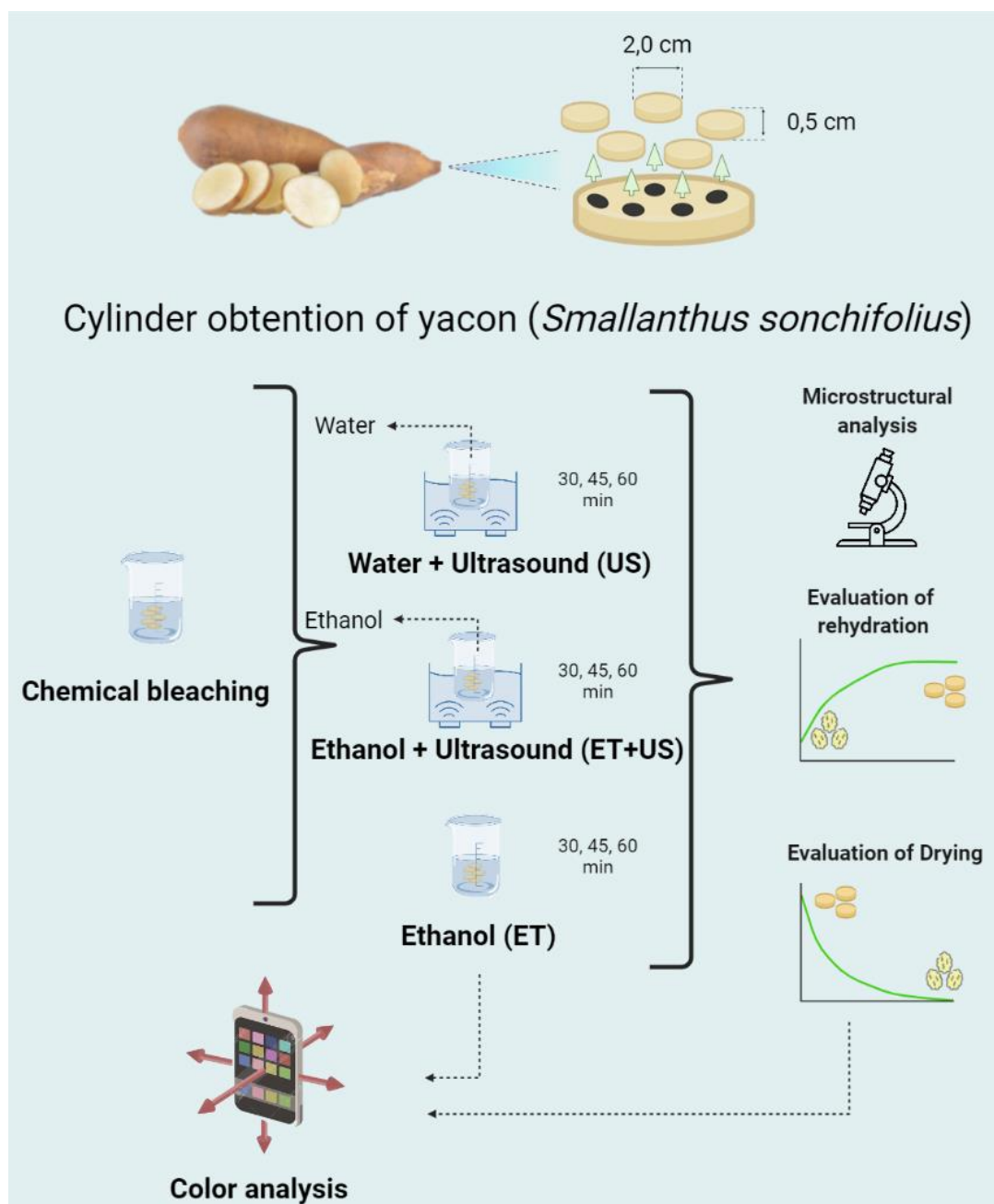


Figura 1- Representação esquemática da obtenção dos cilindros de yacon. Também estão representados os pré-tratamentos, a avaliação de secagem e reidratação e a análise microestrutural e de cor.

2.1 Preparo das amostras

Tubérculos de batata yacon frescos (*Smallanthus sonchifolius*) foram adquiridos no mercado local (Viçosa, MG, Brazil). A fim de padronizar o tamanho das fatias, um tubo de aço inoxidável afiado de 2,0 cm de diâmetro foi usado para extrair cilindros da parte central dos tubérculos, obtendo-se, assim, fatias de 2,0 cm de

diâmetro × 0,5 cm de espessura para cada tratamento. As amostras foram submetidas ao branqueamento químico, que consistiu na imersão das fatias de yacon em um béquer contendo solução de ácido cítrico 2% (m/v), por cinco minutos à 25°C. Após esse processo, as amostras foram drenadas e reservadas para posterior pré-tratamento seja no ultrassom, no etanol ou na combinação de ambos.

2.2 Composição centesimal

Os teores de umidade, proteína, carboidrato, sódio, lipídeos, cinzas e fibra bruta do yacon *in natura* foram analisados de acordo com as metodologias descritas pela AOAC (2016). Todas as análises foram realizadas em triplicata.

2.3 Pré-tratamentos por ultrassom e etanol

Além dos pré-tratamentos por US e etanol, as amostras não processadas (controle) também foram submetidas a secagem para avaliação comparativa. Para isso, as amostras controle foram cortadas no tamanho padrão, submetidas ao mesmo processo de branqueamento e secas nas mesmas condições dos demais tratamentos.

2.3.1 Pré-tratamento com etanol (etanol)

Um total de 20 fatias de batata yacon foram imersas em um béquer contendo 125 mL de etanol 90° GL (% m/m) à 25°C por 30, 45 e 60 minutos (condições definidas após pré-testes). Após esse período, o excesso de etanol foi removido e seco com papel absorvente. Esse processo foi conduzido em três repetições.

2.3.2 Pré-tratamento com ultrassom (US)

Um total de 20 fatias de batata yacon foram imersas em um béquer contendo 125mL de água destilada e, em seguida, processadas por US por 30, 45 e 60 minutos (condições definidas após pré-testes). O processo de ultrassom foi conduzido utilizando banho ultrassônico (SSBu 6L, Solidsteel, Piracicaba, Brasil) com dimensões internas de 10 x 30 x 24 cm, capacidade nominal de 6 L, potência nominal de 160 W e frequência de 40 kHz. A potência volumétrica entregue a solução foi medida de acordo com o método calorimétrico conforme descrito por O'donnell et al. (2010) sendo essa de 23,8 W/L. O banho US foi previamente preenchido com um volume de 3,6 L de água destilada, e o béquer contendo a

amostra foi posicionado no ponto de exposição máxima à intensidade ultrassônica (previamente determinado pelo método da folha de alumínio (VINATORU, 2015)). A temperatura durante o processamento foi mantida em 25 ± 2 °C, e foi controlada por meio de um trocador de calor de aço inoxidável dentro do banho ultrassônico com a recirculação da água fornecida por um banho ultra termostático externo (SSDu 10L, Solidsteel, Piracicaba, Brasil). Após o processamento por ultrassom, as amostras foram retiradas da água, e suas superfícies foram drenadas e secadas superficialmente com papel absorvente.

2.3.3 Pré-tratamento com etanol e ultrassom (etanol+US)

Para avaliação do efeito combinado do ultrassom e etanol foi realizado o mesmo procedimento do subitem anterior (2.3.2) utilizando as mesmas condições e parâmetros de processo, substituindo apenas a água destilada pelo etanol com 90° GL (% m/m).

2.4 Processo de secagem

A secagem convectiva foi realizada à temperatura de 50°C, até a condição de peso constante utilizando um secador de leito fixo (secador de bandejas) de aço inoxidável (modelo SSD, 85L, Solidsteel, Piracicaba, São Paulo) com circulação e renovação do ar de secagem a uma velocidade do ar de 1m/s. O sistema de operação do secador consistiu na passagem de ar quente verticalmente através de bandejas. Para o estudo da cinética de secagem, as amostras foram pesadas em uma balança semi-analítica (Mark M2202, BEL Equipamentos, Piracicaba, Brasil) em intervalos de 15 em 15 minutos durante a primeira hora de secagem; de 20 em 20 minutos durante a segunda hora de secagem e de 30 em 30 minutos até que a condição de equilíbrio fosse atingida.

A umidade em cada tempo foi obtida por balanço de massa, considerando a umidade inicial (após os pré-processamentos) e final (após a secagem). Tanto a umidade final quanto a inicial, foram obtidas após a secagem completa das amostras a 105 °C até peso constante em estufa (Q819V2, QUIMIS, Diadema, Brasil).

Durante os pré-tratamentos por etanol e etanol+US é importante mencionar que as amostras perdem água e sólidos, e ganham etanol. Portanto, segundo Rojas & Augusto (2018b), o parâmetro "umidade" após os pré-tratamentos com etanol e etanol+US incluem os dois líquidos voláteis, ou seja, inclui a água remanescente e o etanol absorvido.

O cálculo de umidade (MP %) pode ser representado de acordo com Eq. 1, em que WP é a água restante, OHP o etanol absorvido e Mp é a massa amostral após os pré-tratamentos com etanol e etanol+US. Como o OHP e WP são massas difíceis de calcular separadamente, neste trabalho elas foram consideradas juntas como um parâmetro agrupado (LP), que incluem a massa de ambos os líquidos após os pré-tratamentos (ROJAS; SILVEIRA; AUGUSTO, 2020).

$$M_p \% = \frac{W_p + OHP}{m_p} * 100 = \frac{L_p}{m_p} * 100 \quad \text{Eq. 1}$$

Durante o processo de secagem, a perda de massa inclui também os líquidos voláteis, referentes a perda de água e etanol. Portanto, o teor de umidade (Mt), ao longo do tempo de processo de secagem (t) é calculado de acordo com a Eq. 2. Da mesma forma, foi calculado considerando um parâmetro agrupado (Lt), que inclui a massa de ambos os líquidos em determinado tempo de secagem (t) (ROJAS; SILVEIRA; AUGUSTO, 2020).

$$M_t \% = \frac{W_t + OH_t}{m_t} * 100 = \frac{L_t}{m_t} * 100 \quad \text{Eq. 2}$$

Em que Wt é a massa de água, OHt é a massa de etanol e mt é a massa amostral em determinado tempo de secagem (t).

As curvas de secagem foram traçadas em função do dimensionless moisture content (MR) (Eq. 3) durante o tempo do processo de secagem (ROJAS; SILVEIRA; AUGUSTO, 2020).

$$MR(t) = \frac{M_t - M_e}{M_p - M_e} \quad \text{Eq. 3}$$

Mt é o teor de umidade em base seca (d.b.) (ou seja, kg de água/ 100 kg de matéria seca) em um determinado tempo (t) do processo de secagem, Me é a umidade do equilíbrio e Mp é a umidade inicial (d.b.) após os pré-tratamentos. No caso das amostras controle, Mp é igual à umidade inicial antes dos pré-processamentos por US e etanol. Assim, as amostras iniciam o processo de secagem com valores de MR iguais a um.

2.4.1 Cinética de secagem

A cinética de secagem foi avaliada utilizando-se o Modelo de Page (Eq.4), em que $MR(t)$ é a umidade adimensional no tempo de secagem (t), k (h^{-n}) corresponde ao parâmetro de taxa de secagem e n é a constante de secagem adimensional. O parâmetro k pode ser interpretado como um “coeficiente de difusão”, correlacionado com a geometria da amostra; já o parâmetro n sinaliza o “tipo de difusão” durante o processo de secagem. Quando $n > 1$, refere-se a uma super difusão, por outro lado, $n < 1$ está relacionado com uma subdifusão (SIMPSON et al., 2017). Quando $n \neq 1$, evidencia-se a importância de mecanismos que não se referem a difusão, como por exemplo, a capilaridade (ROJAS; AUGUSTO, 2018a).

$$MR(t) = \exp(-k \cdot t^n) \quad \text{Eq. 4}$$

O ajuste do modelo foi avaliado pelo valor da regressão R^2 (coeficiente de determinação), os valores de desvio quadrático médio (RMSD, (Eq.5)) e plotando os valores de atividade residual obtidos pelo modelo (M_{model}) em função dos valores experimentais ($M_{experimental}$). A regressão desses dados para uma função linear (Eq. 6) resulta em três parâmetros: a inclinação linear (a ; que deve ser o mais próximo possível de um), o intercepto (b ; que deve ser o mais próximo possível de zero) e o coeficiente de determinação (R^2 ; que deve ser o mais próximo possível de um).

$$RMSD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (M_{experimental} - M_{model})^2}{n}} \quad \text{Eq.5}$$

$$M_{model} = a \cdot M_{experimental} + b \quad \text{Eq. 6}$$

2.5 Processo de reidratação

A reidratação foi avaliada de forma semelhante à realizada por Rojas et al., (2020). Para isso, ~1 g de fatias de batata yacon (5 fatias) foram imersos em 120 mL de água destilada mantida a 25 °C. As fatias foram retiradas da água periodicamente, sendo superficialmente secas com papel absorvente, pesadas e devolvidas à água. As fatias foram pesadas a cada 5 minutos durante os primeiros 30 minutos de reidratação e a cada 10 minutos, até peso constante. A umidade amostral sobre o tempo de reidratação foi determinada pelo equilíbrio de massa

considerando a umidade das amostras secas e a massa registrada em cada período de reidratação. O processo foi realizado em triplicata.

2.5.1 Cinética de reidratação

Os dados de reidratação foram ajustados usando o modelo Peleg (Eq. (7)) (Peleg, 1988), em que $M(t)$ é o teor de umidade em base seca (g água / 100 g matéria seca (% d.b)) no tempo t (min), M_0 é o teor de umidade inicial (% d.b), k_1 é a taxa constante (min d.b^{-1}) e k_2 é a constante do nível assintótico (d.b^{-1}). O valor de k_1 representa a taxa de absorção de água e o valor de k_2 representa a capacidade de retenção de água.

$$M(t) = M_0 + \frac{t}{k_1 + k_2 * t} \quad \text{Eq. 7}$$

2.6 Análises de cor e microscopia

A cor superficial das fatias de yacon foi avaliada antes e após a secagem utilizando colorímetro de triestímulo COLOR QUEST II (Reino Unido), e o software Universe da Hunterlab, Reston, VA. A determinação de cor foi realizada pela leitura direta de reflectância das coordenadas L^* , a^* , b^* empregando a escala CIELAB L^* , por ser adotada como padrão pela Comissão Internacional de Iluminação. Esse é um sistema de coordenadas retangulares que define a cor em termos de L^* , que numa escala de 0 a 100 representa a luminosidade, variando desde o preto (0) ao branco (100); a^* , que representa a variação entre o verde (valores negativos) e o vermelho (valores positivos); e por fim, o eixo b^* , que representa a variação de azul (valores negativos) ao amarelo (valores positivos). Através destes parâmetros, foi calculada a diferença média de cor (ΔE^*) entre os diferentes pré-tratamentos e a amostra *in natura*, utilizando a Eq. 8. Para cada amostra foram realizadas três leituras em diferentes pontos do produto a fim de se obter o resultado médio. A amostra *in natura* não passou por qualquer tipo de branqueamento, tampouco foi pré-tratada com etanol ou ultrassom e não foi desidratada (definida como amostra padrão).

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad \text{Eq. 8}$$

A análise microestrutural foi realizada utilizando o microscópio óptico binocular (Anatomic Opton®, Model TIM-18, Campinas, São Paulo, Brasil) com lâmpada halogênio de 20 W e uma câmera portátil de 8 megapixels. O yacon foi fatiado com lâminas apropriadas em tamanho aproximado de 10 μ m e observado com lente objetivo com um aumento de 10x. Para melhor observação, foi utilizado um corante azul de metileno (0,05%). Em seguida, verificou-se a microestrutura da amostra *in natura* e após os pré-tratamentos, sendo as imagens capturadas após a segurança de um campo representativo.

2.7 Atividade de água

A determinação da atividade de água ocorreu à temperatura de 25°C com o uso do equipamento Aqualab, modelo 4TE (Decagon Devices, EUA). As análises foram realizadas em triplicata.

2.8 Análises estatísticas

Os procedimentos analíticos foram realizados em três repetições. Os resultados foram submetidos à estatística descritiva (média e desvio-padrão). Para a comparação das médias entre os tratamentos para os parâmetros obtidos do modelo de Page, do tempo de secagem para os diferentes conteúdos de umidade, bem como para os parâmetros de cor (L^* , a^* e b^*) foi utilizada a análise de variância (ANOVA), seguido do teste de Tukey, adotando-se o nível de significância de 5% de probabilidade ($p < 0,05$).

3. Resultados e discussão

3.1 Secagem

Os resultados da cinética de secagem são apresentados na Fig. 2, cujo os dados foram ajustados ao Modelo de Page (Eq.4). De acordo com os valores obtidos dos parâmetros a , b , RSMD e R^2 (Eq. 5 e 6), o modelo avaliado descreveu bem os dados experimentais com $R^2 > 0,9978$, valores “ a ” muito próximos de 1 ($| a-1 | < 0,0026$), valores “ b ” próximos a 0 ($| b | < 0,0035$) e $RMSD < 0,015$. Os gráficos da taxa de secagem (Fig. 2), para os pré-tratamentos com ultrassom (A), etanol (B) e

etanol+ultrassom (C) permitem avaliar o comportamento das fatias de yacon, durante o processo de secagem.

Para as amostras pré-tratadas apenas com US, a taxa de secagem foi maior em comparação com a amostra controle. Por outro lado, não houve diferença para as taxas de secagem entre os diferentes tempos de exposição ao ultrassom ($p < 0,05$). O mesmo comportamento foi observado nas amostras tratadas com etanol+US. Já as amostras pré-tratadas apenas com etanol não apresentaram diferença ($p > 0,05$) em nenhum dos tempos de imersão avaliados (30, 45 e 60 min.) e também não se diferiram da amostra controle. O efeito da duração do pré-tratamento com ultrassom não é linear. O comportamento de cada matriz vegetal é único, variando de matriz para matriz, devido a diversos fatores como composição da parede celular, porosidade, entre outros. Nowacka et al. (2012) observaram que fatias de maçã expostas por 20 minutos ao ultrassom resultou na maior taxa de secagem, em comparação com os outros tempos avaliados (10 e 30 min.). Já Fernandes; Linhares & Rodrigues, (2008), observaram a melhor taxa de secagem para abacaxi no tratamento com ultrassom por 20 minutos, em relação às amostras pré-tratadas com 10 e 30 minutos. ZUBERNIK et al. (2019) avaliaram o pré-tratamento de fatias de maçã com etanol utilizando imersão em tempos curtos (5, 15, 60 e 180 segundos), e só observaram redução na taxa de secagem no maior tempo avaliado (180 s). Nesse estudo, o tempo de exposição ao ultrassom e ao etanol resultou em pouca diferença na redução da taxa de secagem.

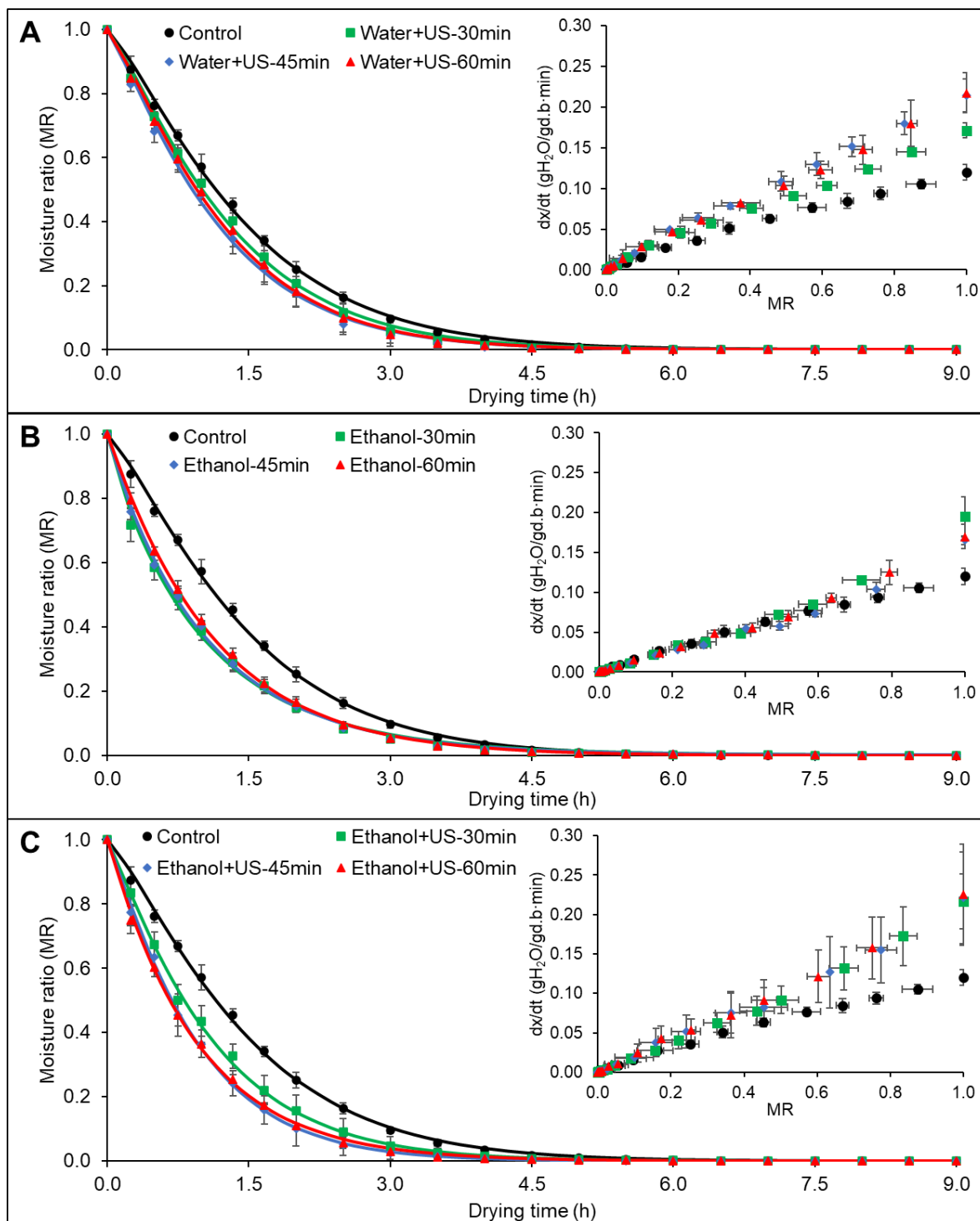


Figura 2- Comportamento da umidade adimensional (MR) e taxa de secagem durante o tempo (t) da secagem convectiva a 50 ° C após pré-tratamento por ultrassom (A), etanol (B) e etanol + ultrassom (C). Os pontos são dados experimentais; linhas contínuas são os dados previstos usando o modelo de page.

O ajuste dos dados ao Modelo de page (Eq. 4), permitiu obter os parâmetros k e n (Table 1). O valor de k é referente a taxa de secagem das amostras, sendo que valores maiores, indicam uma maior taxa de secagem do produto. Já o parâmetro n , representa a constante de secagem adimensional, que pode ser utilizado para sinalizar o “tipo de difusão” durante o processo de secagem (SIMPSON et al., 2017). Comparado às amostras controle verificou-se um aumento no valor de k e redução no valor de n , nas amostras pré-tratadas com etanol e etanol+US. Os maiores valores de n foram obtidos para as amostras tratadas com ultrassom e as amostras controle, que não diferiram entre si ($p < 0,05$). Quando $n \neq 1$, alguns outros mecanismos, que não apenas a transferência de massa simplesmente difusiva exercem maior influência durante o processo de secagem (ROJAS; AUGUSTO, 2018b, 2018c). Sendo assim, pode-se sugerir que a redução nos valores de n nos pré-tratamentos com etanol são devido aos mecanismos associados à transferência de massa externa serem mais influentes. Por outro lado, altos valores de n durante a aplicação do ultrassom podem estar relacionados com os mecanismos de transferência interna. Portanto, nas condições estudadas, os pré-tratamentos com etanol e US afetam as resistências externas e internas, sendo que o etanol se mostrou mais importante na redução da resistência externa, enquanto o US, em comparação com os pré-tratamentos com etanol, apresentou maior influência na redução da resistência interna (ROJAS; AUGUSTO; CÁRCEL, 2020).

Rojas e Augusto (2018b) explicaram o mecanismo da secagem quando o etanol é utilizado como pré-tratamento, que incluem modificações estruturais (expulsão de ar intercelular, afinamento da parede celular com alguma extração composta) e entrada de etanol, que promove os fenômenos de transferência de água pelo Efeito Marangoni durante a secagem (ROJAS; SILVEIRA; AUGUSTO, 2020). No presente trabalho foi utilizado etanol de maior concentração (90% v/v). Portanto, é necessário um tempo mais curto para sua entrada na amostra e para alcançar as maiores modificações estruturais. Isso também pode explicar por que os maiores valores de k foram observados nos tempos de 30 e 45 minutos; tanto para as amostras tratadas apenas com etanol, quanto para as amostras tratadas com etanol+US.

Tabela 1- Parâmetros k e n do Modelo de Page (Equação (4)) de secagem convectiva de fatias de yacon a 50 ° C após pré-tratamento por ultrassom e etanol.

Pre- tratamento	Parâmetros do modelo de Page		
	k (h ⁻¹)	n	R ²
Controle	0.58 ± 0.11 ^a	1.24 ± 0.03 ^a	0.9993
Water+US-30min	0.69 ± 0.08 ^{ab}	1.20 ± 0.05 ^{ab}	0.9991
Water+US-45min	0.78 ± 0.09 ^{bcd}	1.17 ± 0.01 ^{abc}	0.9989
Water+US-60min	0.74 ± 0.08 ^{bc}	1.21 ± 0.06 ^a	0.9992
Etanol-30min	1.00 ± 0.09 ^{ef}	0.92 ± 0.08 ^f	0.9987
Etanol-45min	0.97 ± 0.05 ^{ef}	0.96 ± 0.05 ^{ef}	0.9993
Etanol-60min	0.89 ± 0.04 ^{de}	1.03 ± 0.01 ^{de}	0.9995
Etanol+US-30min	0.87 ± 0.11 ^{cde}	1.12 ± 0.07 ^{bcd}	0.9990
Etanol+US-45min	1.05 ± 0.14 ^f	1.11 ± 0.03 ^{cd}	0.9992
Etanol+US-60min	1.05 ± 0.07 ^f	1.02 ± 0.06 ^{de}	0.9994

Letras minúsculas diferentes na mesma coluna indicam diferenças estatisticamente significativas entre os diferentes tratamentos pelo teste de Tukey a 5% ($p < 0,05$).

O teor relativamente alto da água na batata yacon (87%) permite que este vegetal seja considerado um alimento rapidamente perecível. A redução da atividade de água é fundamental para inibir alterações microbiológicas e físico-químicas. Todos os tratamentos mantiveram a atividade de água das amostras abaixo de 0,6, sendo considerados microbiologicamente estáveis; não houve diferença estatística da amostra controle. Isso é importante, pois em atividades de água menores, as moléculas de água estão mais fortemente ligadas ao alimento, tornando-se menos disponíveis aos microrganismos.

Com relação ao tempo de secagem das amostras submetidas aos pré-tratamentos com etanol e ultrassom até atingir 25% de umidade (w.b.), constatou-se que nenhuma das amostras pré-tratadas com ultrassom reduziu o tempo de secagem suficientemente para se diferirem da amostra controle (Figura 3.). Nowacka & Wedzik (2016) também não observaram diferenças significativas entre cenouras pré-tratadas com ultrassom durante 10, 20 e 30 minutos. Quando são aplicados tempos mais longos de pré-tratamento com ultrassom, maiores alterações

microestruturais ocorrem além de serem formados mais micros-canais, aumentando, assim, o caminho para a saída de água durante o processo de secagem e o valor k também aumenta (RICCE et al., 2016). Além disso, como explicado também por Miano; Ibarz & Augusto, (2016), durante o pré-processamento com ultrassom, a matriz alimentícia tende a formar diversos micro-canais com diferentes formas e sentidos. Ao que se percebe, essas cavidades são formadas de forma arbitrária, podendo ou não se conectarem entre si ou com a superfície externa da amostra, fazendo com que o tempo de secagem seja de ligeiramente a extremamente influenciado. Um aumento significativo na difusão e/ou na taxa de secagem só será observado, caso haja a formação de um grande número de canais que devem ainda, estar conectados com a superfície externa do produto. Caso isso não aconteça, ou seja, a formação de poucos canais, ou canais isolados da parte externa, é esperado que ocorra um aprisionamento do líquido no interior da matriz, dificultando a transferência de massa, fazendo com que ocorra um sistema de subdifusão, resultando em pouca ou nenhuma redução no tempo de secagem seja percebida (Rojas et al., 2020).

A maior redução no tempo de secagem foi observada nas amostras pré-tratadas com a combinação de etanol e ultrassom (Figura 3), sendo que aquelas tratadas com 45 e 60 minutos reduziram 29 e 20%, respectivamente, não se diferenciando entre si ($p < 0,05$). De fato, as propriedades do etanol, principalmente sua menor tensão superficial, promovem a formação de bolhas de cavitação durante a aplicação do US, aumentando os efeitos no tecido vegetal (ROJAS; SILVEIRA; AUGUSTO, 2020). Diferentes explicações para o efeito na redução no tempo de secagem devido a aplicação de álcool foram propostas. Uma explicação é que o etanol vaporiza rapidamente na superfície criando um fluxo através dos canais e poros das amostras, acelerando a expulsão da água durante a fase inicial do processo de secagem (TATEMOTO et al., 2015). A existência desses canais é evidenciada pela mudança significativa no valor de n , que foi menor nas amostras tratadas com etanol, seguida das amostras tratadas com etanol+US.

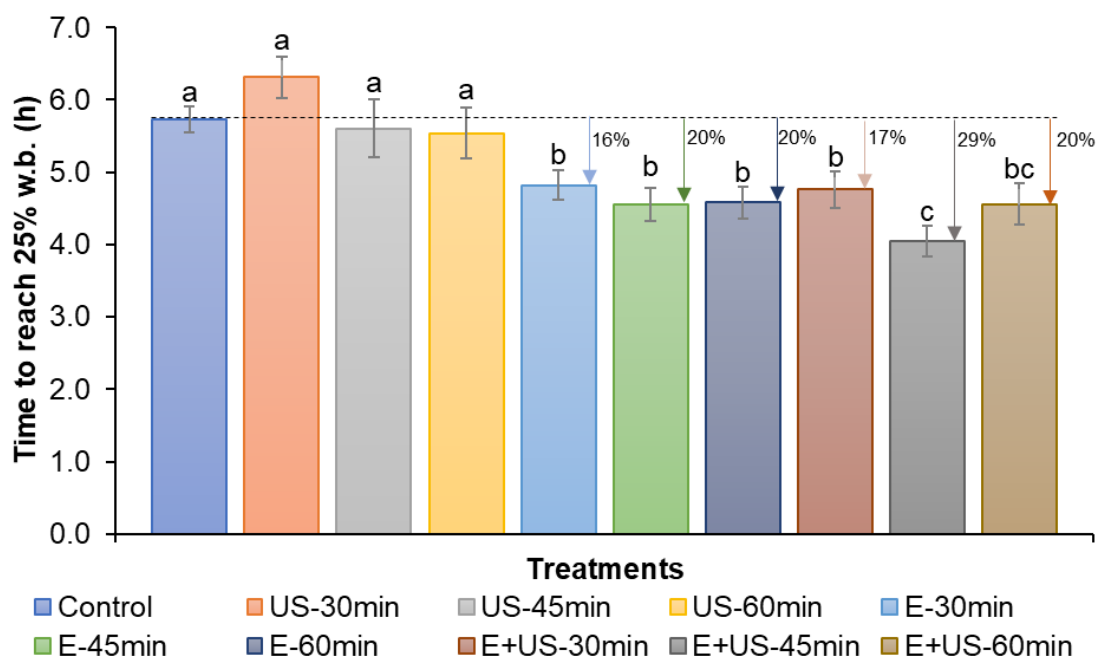


Figura 3- Tempo de secagem para atingir 25% w.b. (h) para amostras de pré-tratamento

o por ultrassom (US), etanol (E) e etanol + ultrassom (E + US). Letras diferentes indicam diferenças significativas entre os tratamentos pelo teste de Tukey a 5% ($p < 0,05$).

3.2 Cor e microscopia

Antes da secagem, todos os pré-tratamentos reduziram a luminosidade das amostras, seja ele com etanol, ultrassom ou a combinação de ambos, em qualquer tempo avaliado (Fig. 4). Após a secagem, o pré-tratamento com US foi o único que não diferiu da amostra controle. O pré-tratamento por 30 e 45 minutos preservou a luminosidade das amostras. Durante o pré-tratamento com ultrassom, as amostras se encontram submersas em água, o que torna limitado o acesso ao oxigênio, sendo ele fundamental para o processo de escurecimento enzimático. Nesse sentido, Nowacka & Wedzik, (2016) também perceberam que o pré-tratamento por com ultrassom resultou na manutenção da cor de cenouras, quando comparadas às amostras não tratadas. As amostras processadas com etanol e etanol+US provocaram os maiores efeitos na redução da luminosidade (Figura 4), tanto após o processamento quanto após a secagem. O efeito do etanol provoca uma alteração nos tecidos e na composição da parede celular das amostras, diminuindo sua espessura, e além disso, aumenta a superfície de contato dos constituintes internos proporcionando aumento da atividade das enzimas oxidativas. Esse aumento é o principal precursor do escurecimento do produto processado (ROJAS et al., 2020).

Da cunha et al. (2020), ao avaliarem a secagem de fatias de melão também observaram o pré-tratamento com etanol provocou grande redução na luminosidade.

Não foram observadas alterações nos valores de a^* após os pré-tratamentos. Por outro lado, todos os processos resultaram em redução no valor de a^* após a secagem, quando comparados com a amostra controle (Figura 4). Já para o parâmetro b^* , houve redução tanto após o pré-tratamento, quanto após a secagem das amostras. As menores reduções foram observadas nos pré-tratamentos com ultrassom, nos três tempos avaliados (30, 45 e 60 minutos), tanto após o processamento, quanto após a secagem (Figura 4). Isso corrobora com a proposta de que é possível evitar, ou pelo menos reduzir a degradação da cor do produto utilizando o pré-tratamento com ultrassom, por outro lado, não foi possível reduzir os efeitos na coloração provocados pelo uso do etanol, que se mostrou bastante agressivo a essa matriz vegetal.

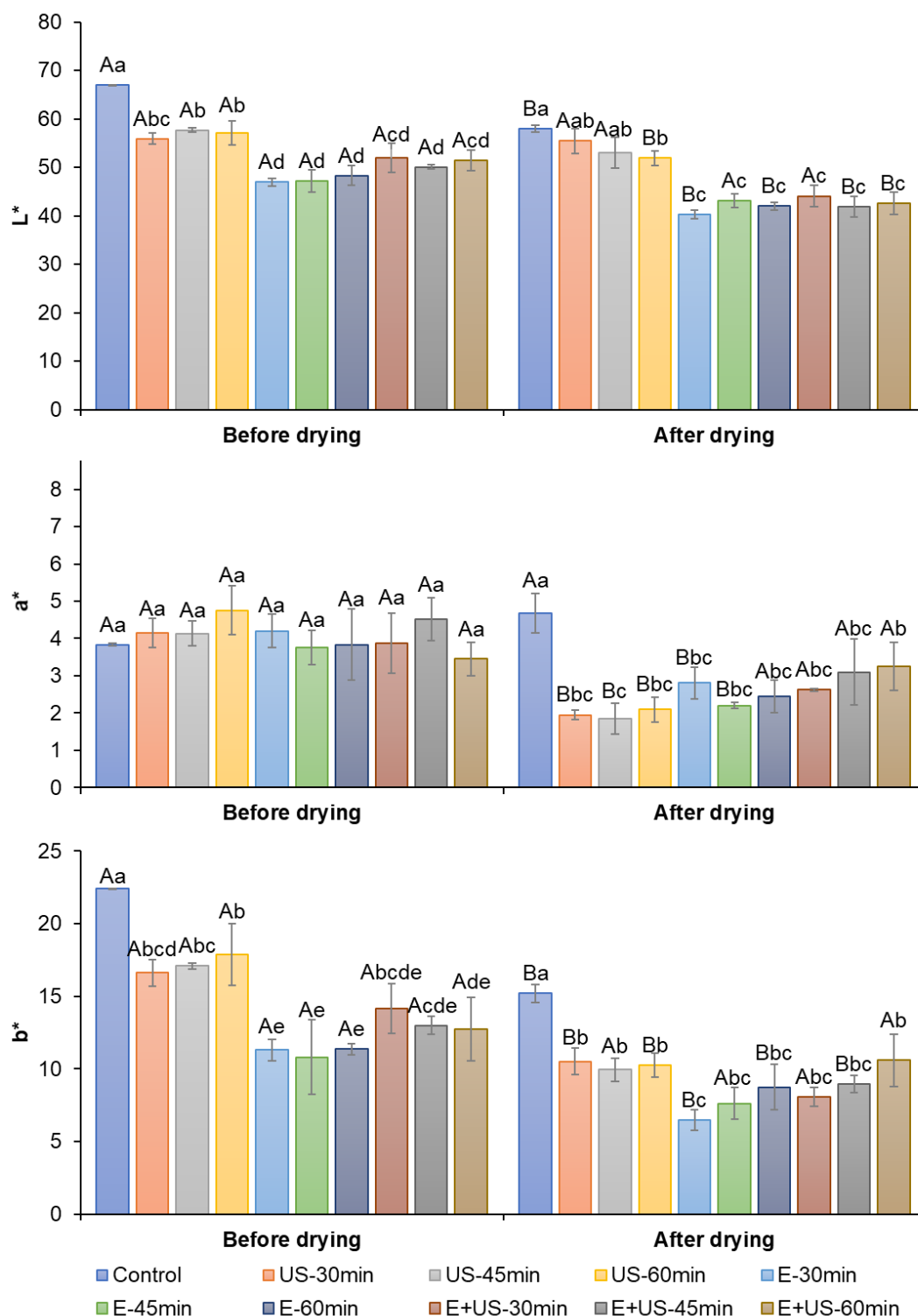


Figura 4- Cor (L^* ou a^* ou b^*) de rodela de batata yacon pré-tratadas por ultrassom e etanol. Letras maiúsculas diferentes indicam diferença significativa entre a mesma amostra antes e depois da secagem e letras minúsculas diferentes indicam diferença significativa entre amostras na mesma etapa (antes da secagem ou após a secagem) pelo teste de Tukey a 5% ($p > 0,05$).

Os parâmetros L *, a * e b * foram usados para calcular a diferença total de cor (ΔE), que descreve as mudanças gerais em relação à cor da amostra *in natura* (Tabela 2).

Tabela 2- Valores de cor ΔE de fatias de batata yacon pré-tratadas por ultrassom e etanol antes da secagem e após a secagem.

Pre-tratamento	ΔE	
	Antes da secagem	Após a secagem
Controle	Referência	11.6 ± 0.7a
Water+US-30min	12.6 ± 0.6b	16.8 ± 2.3b
Water+US-45min	10.8 ± 0.4a	18.9 ± 2.8b
Water+US-60min	11.0 ± 3.1ab	19.5 ± 1.7b
Etanol-30min	22.9 ± 1.1c	31.1 ± 0.6d
Etanol-45min	23.0 ± 3.3c	28.2 ± 1.7c
Etanol-60min	21.8 ± 1.9c	28.6 ± 1.4c
Etanol+US-30min	17.2 ± 3.5d	27.1 ± 2.2c
Etanol+US-45min	19.5 ± 0.7d	28.6 ± 2.1c
Etanol+US-60min	18.4 ± 2.9d	27.2 ± 2.8c

Letras minúsculas diferentes na mesma coluna indicam diferenças estatisticamente significativas entre os diferentes tratamentos pelo teste de Tukey a 5% ($p < 0,05$).

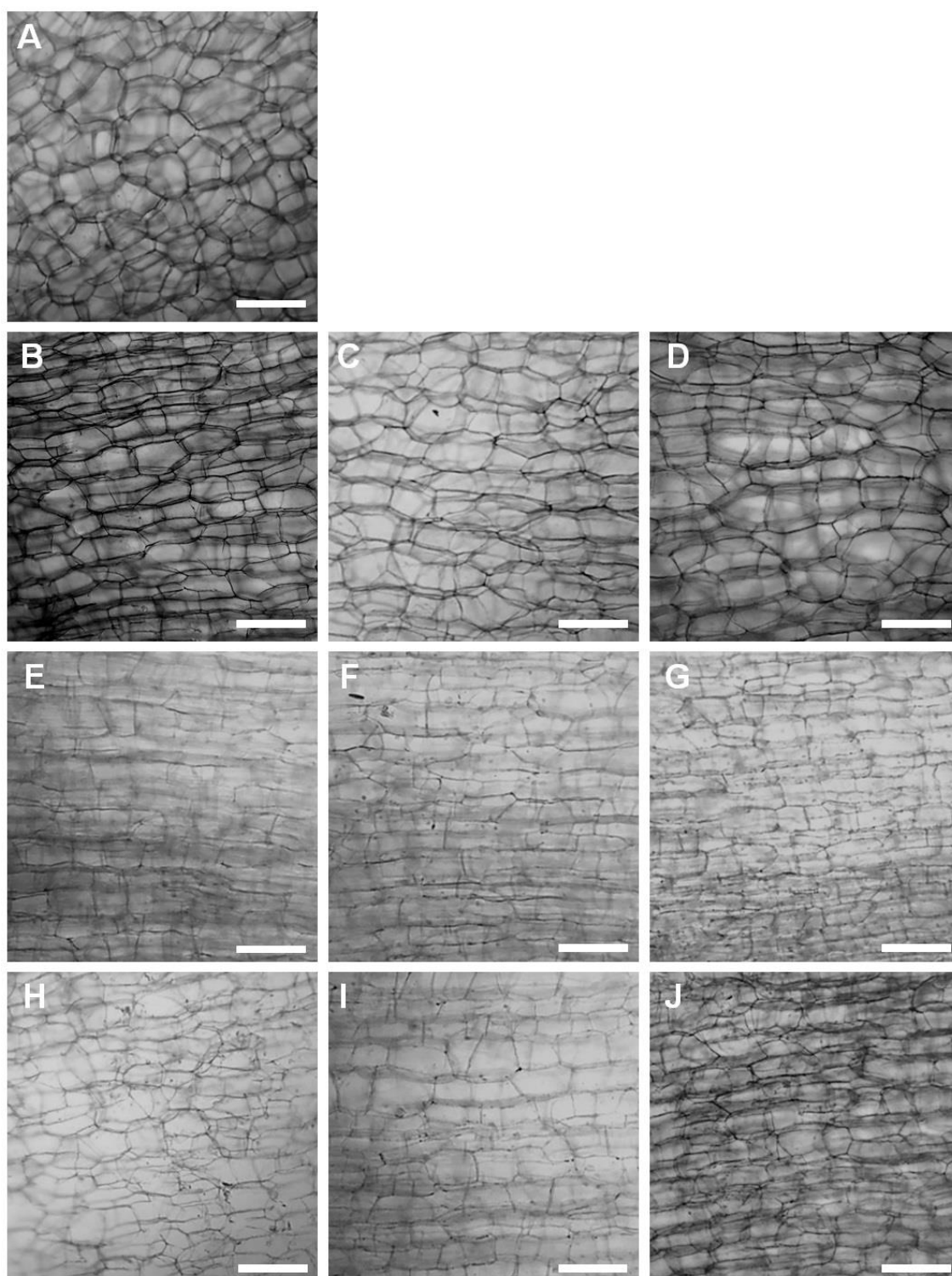
Um valor de ΔE maior que 2 confirma a diferença visível de cor entre as amostras, evidenciando a influência dos pré-tratamentos (CHOI; KIM; LEE, 2002). Nesse sentido, todos os pré-tratamentos avaliados interferiram na coloração das amostras, promovendo alterações visíveis tanto após o processamento, quanto após a secagem. Os menores valores de ΔE foram observados nas amostras pré-tratadas com ultrassom, sendo os tempos de 45 e 60 minutos o que proporcionou menor alteração na cor do produto antes da secagem. As maiores mudanças observadas, antes da secagem, foram nas amostras pré-tratadas com etanol, sendo que o ultrassom intensificou esse efeito nas amostras. Após a secagem, observou-se que o efeito do ultrassom nas amostras pré-tratadas com etanol+US não foi evidente, tendo em vista que apenas a amostra pré-tratada com etanol por 30 minutos se diferiu ($p < 0,05$) das demais (Tabela 2).

O efeito visual causado pelos pré-tratamentos, tanto antes, quanto após a secagem é apresentado na figura 4. Como já discutido anteriormente e corroborando com os dados apresentados na figura 5, o pré-tratamento com etanol foi o que mais alterou a cor do produto após o processamento. O pré-tratamento com etanol, seja ele associado ou não ao ultrassom, resultou em amostras mais escuras, quando comparadas às amostras controle. É visível a grande interferência causada pela

imersão das amostras em etanol, e essa influência é refletida após a secagem do yacon. Ainda que as amostras pré-tratadas com ultrassom tenham interferido menos na cor do produto, todos os pré-tratamentos proporcionaram amostras mais escuras após a secagem, ao compararmos com a amostra controle (Figura 5).

Figura 5- Influência dos pré-tratamentos com etanol, ultrassom e etanol+US, na aparência das fatias de yacon, antes e após a secagem.

A Fig. 6 mostra a microestrutura da superfície das fatias de yacon, permitindo uma visão geral do tecido das amostras *in natura* (A) e pré-tratadas.



F
Figura 6. Observação microscópica (aumento de 10x) das fatias de batata yacon após s

diferentes pré-tratamentos (controle (A), Água + US (B-30min, C-45min, D-60min), Etanol (E-30min, F-45min, G -60min) e Etanol + US (H-30min, I-45min, J-60min)). As barras de escala têm 200 μm de comprimento.

Embora as amostras pré-tratadas com Água + US tenham sido processadas sob as mesmas condições ultrassônicas que o Etanol + US, a formação de microcanais não foi observada sem a presença do etanol (Figura 6).

O efeito do ultrassom nas amostras pré-tratadas sem o etanol não foi tão evidente, uma vez que a formação de microcanais não foi observada, muito embora as condições de pré-tratamento com relação a potência, frequência e tempo de processamento, tenham sido os mesmos. Isso pode explicar a baixa influência dos tratamentos de ultrassom na redução do tempo de secagem como discutido anteriormente (Fig. 2). Além disso, este resultado pode comprovar o efeito sinérgico proporcionado pela utilização do ultrassom associado ao etanol, que pode ser explicado por três mecanismos. Em primeiro lugar, a pressão de vapor, a viscosidade e a tensão superficial do etanol são diferentes da água, fazendo com que a intensidade e a efetividade da cavitação seja diferente em cada pré-tratamento (SUJKA, 2017). Outra explicação seria com relação às diferentes propriedades de dissolução dos componentes, seja em água ou etanol, bem como uma disposição espacial possivelmente diferente de macromoléculas nesses dois solventes. Com isso espera-se que a estrutura celular e tecidual seja diferente em ambos os pré-tratamentos (ou seja, Água + US e Etanol + US), o que promove diferentes efeitos na matriz vegetal (ROJAS; AUGUSTO, 2018b). Outro motivo seria a alteração da rigidez e espessura da parede celular das amostras pré-tratadas com etanol+US, ou seja, o etanol facilita e intensifica a ação do ultrassom, de modo que a cavitação gerada pelas ondas sonoras permita maior formação de microcanais.

Após o pré-tratamento com etanol, observou-se um ligeiro enrugamento da parede celular das amostras (Figura 6), além de apresentarem um aspecto mais fino e levemente achatado. Foi possível perceber maior impacto exercido pelo etanol nos espaços intercelulares e na parede celular e um impacto menos perceptível na membrana celular. Segundo Halder; Datta; Spanswick, (2011) a permeabilidade da membrana celular das células da batata, de um modo geral, é bastante reduzida em meio aquoso, quando comparada à permeabilidade do espaço entre as células e da parede celular. Portanto, quando há o contato da amostra com o etanol, ele

primeiro se acomoda nos espaços intercelulares deixados após a expulsão natural da água e do ar, antes ali presentes. Por outro lado, há também a lixiviação de alguns solutos das paredes celulares (celulose, hemicelulose e pectina) e como consequência, a parede celular sofre uma compactação, mudando sua forma inicial, apresentando-se mais achatada (ROJAS; AUGUSTO, 2018b). Resultados similares, quando se utilizou etanol como pré-tratamento à secagem foram relatados por Wang et al. (2019) para alho e por Santos et al. (2020) para cenouras. As amostras pré-tratadas com Etanol + US apresentaram comportamento semelhante às pré-tratadas com etanol, sendo observado enrugamento e achatamento das células. Além disso, foi possível perceber ruptura celular e formação de microcanais em algumas partes do tecido. De fato, durante o pré-tratamento com os US, muitos trabalhos já relataram a ruptura de tecidos e células e a formação de microcanais devido à cavitação acústica (RICCE et al., 2016; ROJAS & AUGUSTO, 2018a, 2018b; DA CUNHA et al., 2020).

O efeito unicamente do ultrassom pode ser avaliado ao se utilizar água em contato com as amostras em substituição ao etanol. Nesse pré-tratamento (água+US), observou-se um inchamento significativo das células. Esse mesmo efeito foi observado por Rojas; Augusto, (2018b) durante o pré-tratamento com água+US em fatias de batata. Os autores explicaram que os grânulos de amido que estavam inicialmente compactados no interior das células (como observado nas amostras in natura), foram separados e distribuídos dentro da célula após o pré-tratamento do ultrassom, provocando aumento no tamanho celular. Outro mecanismo ao qual é constantemente atribuído essa absorção de água pelas amostras é a ocorrência intercalada e consecutiva entre a contração e dilatação estrutural das amostras, efeito esse conhecido como efeito esponja e é causado pelas ondas mecânicas que passam pela matriz vegetal. Esse efeito já foi anteriormente observado em diferentes matrizes pré-tratadas com ultrassom, como sorgo e melão (MIANO; IBARZ; AUGUSTO, 2016); cenoura (RICCE et al., 2016); e batatas (ROJAS; AUGUSTO, 2018b).

3.3 Reidratação

O processo de secagem pode promover diversas alterações estruturais na matriz vegetal, por isso a reidratação foi avaliada buscando verificar a influência dos pré-tratamentos nas fatias de yacon.

A Fig. 7 mostra a cinética de reidratação das amostras controle e pré-tratadas com Water+US (A), Etanol (B) and Etanol+US (C) que foram ajustadas utilizando o modelo Peleg (Eq. (7)), que ajudou a avaliar o comportamento das fatias de yacon durante o processo de reidratação por meio dos parâmetros obtidos K_1 e K_2 . Quanto menor o valor de K_1 , maior a taxa inicial de reidratação, ou seja, maior capacidade de absorção de água, por outro lado, quanto menor o valor de K_2 , maior o teor de umidade de equilíbrio, ou seja, maior a capacidade de reter a água absorvida.

Com relação ao parâmetro K_1 , o menor valor foi observado para o pré-tratamento água+US com 45 minutos, não havendo diferença para o controle ($p>0,05$). Para o parâmetro K_2 , tanto as amostras pré-tratadas com água+US quanto aquelas pré-tratadas com etanol+US não diferiram em relação ao controle ($p>0,05$). Já as amostras pré-tratadas somente com etanol, apenas a imersão por 60 minutos não se diferiu do controle ($p>0,05$) (Tabela 3).

Esperava-se que os pré-tratamentos reduzissem os valores de K_1 e K_2 , contudo, isso não foi observado. Os menores valores obtidos para esses parâmetros foram do controle, que ocorreu, provavelmente, devido a danos estruturais elevados. Isso, em alguns casos, pode resultar em uma absorção mais rápida da água, contudo, influencia negativamente na retenção dessa água absorvida (ROJAS; SILVEIRA; AUGUSTO, 2020).

É importante mencionar que diversos fatores podem estar associados à modificação estrutural da matriz vegetal, como por exemplo, o tipo de fluido utilizado no pré-tratamento com ultrassom. Quando o etanol é usado como meio, o impacto na estrutura é maior quando comparado à água (Rojas e Augusto, 2018a). Além disso, características da matéria-prima relacionadas a estrutura e composição influenciam muito como o pré-tratamento pode afetar a reidratação (ROJAS; SILVEIRA; AUGUSTO, 2020).

Outro fator seria o tempo de pré-tratamento. Ricce et al. (2016) concluíram que os danos estruturais causados pelo longo período de processo de ultrassom e etanol melhoram a taxa de desidratação; no entanto, essas amostras não têm a capacidade de reter a água absorvida, devido às grandes alterações causadas na estrutura das amostras.

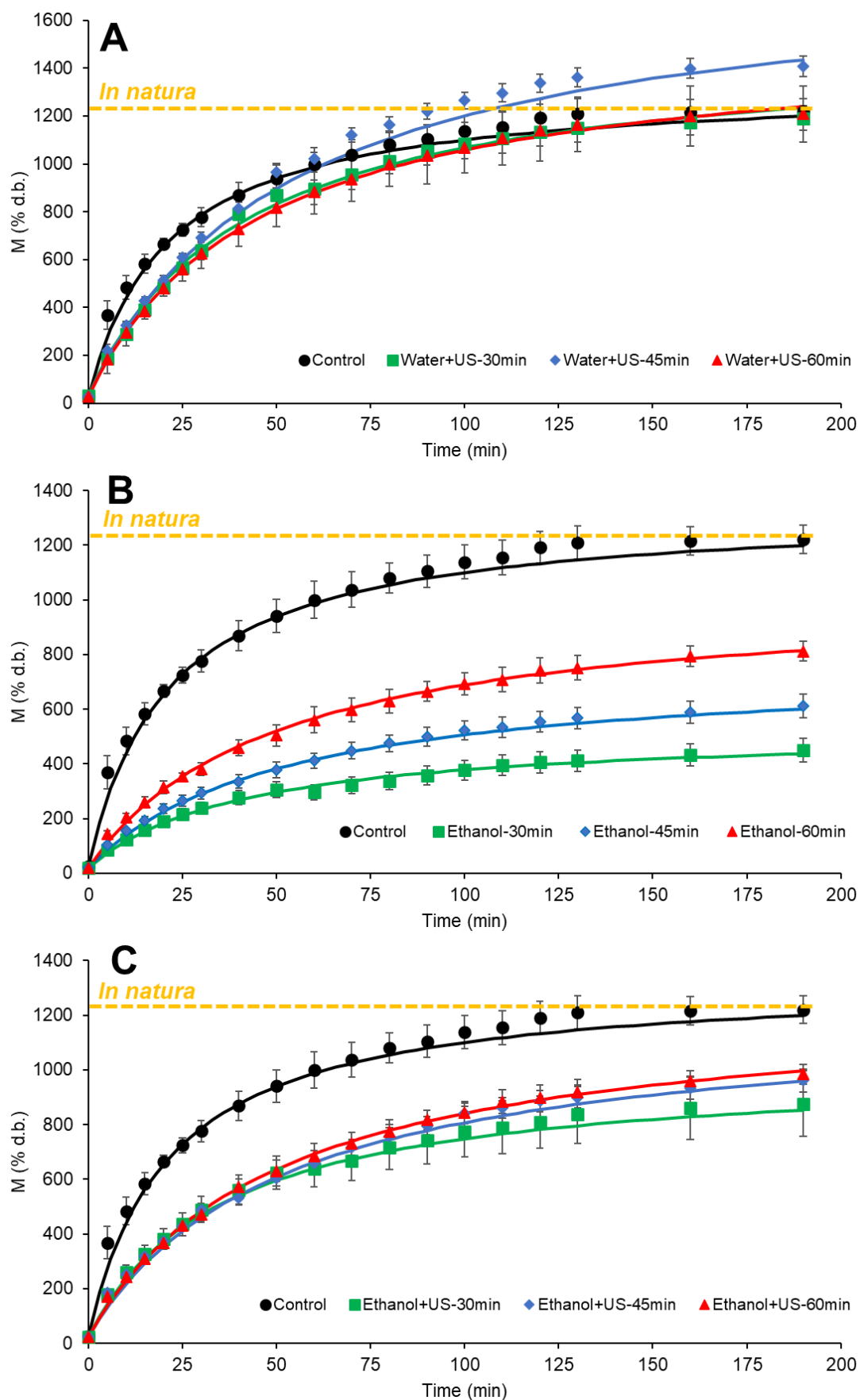


Figura 6- Cinética de reidratação de fatias de batata yacon desidratadas nos diferentes pré-tratamentos (controle, Água + US (A), Etanol (B) e Etanol + US (C)). Os pontos são dados experimentais; linhas contínuas são os dados previstos usando o modelo Peleg.

Tabela 3- Parâmetros do modelo Peleg k_1 e k_2 (Equação (7)) para o processo de reidratação de fatias de batata yacon secas nas diferentes condições (controle, Água + US, Etanol e Etanol + US).

Pre-tratamento	Parâmetro do modelo Peleg		
	k_1 (min.%d.b. ⁻¹)	k_2 (%d.b. ⁻¹) 1)	2
Controle	0.016 ± 0.004 ^a	0.0008 ± 0.0002 ^a	0.996
Water+US-30min	0.028 ± 0.004 ^b	0.0007 ± 0.0000 ^a	0.997
Water+US-45min	0.030 ± 0.012 ^{ab}	0.0006 ± 0.0001 ^a	0.998
Water+US-60min	0.031 ± 0.002 ^b	0.0007 ± 0.0001 ^a	0.999
Etanol-30min	0.082 ± 0.008 ^e	0.0020 ± 0.0002 ^c	0.996
Etanol-45min	0.070 ± 0.010 ^{de}	0.0014 ± 0.0003 ^b	0.999
Etanol-60min	0.050 ± 0.011 ^{cd}	0.0010 ± 0.0010 ^{ab}	0.999
Etanol+US-30min	0.037 ± 0.011 ^{bc}	0.0010 ± 0.0002 ^{ab}	0.998
Etanol+US-45min	0.044 ± 0.018 ^{bc}	0.0008 ± 0.0001 ^{ab}	0.998
Etanol+US-60min	0.041 ± 0.003 ^c	0.0008 ± 0.0000 ^a	0.999

Letras minúsculas diferentes na mesma coluna indicam diferenças significativas entre os diferentes tratamentos pelo teste de Tukey a 5% ($p < 0,05$).

4. Conclusão

Diferentes tempos de pré-tratamento em etanol e ultrassom foram estudados com o objetivo de avaliar a influência no tempo de secagem, no processo de reidratação e alterações na estrutura, cor e aparência dos produtos. O aumento no tempo de pré-tratamento não reduziu diretamente o tempo de secagem. Longos tempos de aplicação do pré-tratamento com ultrassom e etanol, causaram maiores alterações microestruturais no yacon. A reidratação do produto foi fortemente afetada por essas alterações estruturais. Os pré-tratamentos com etanol e ultrassom provocaram as maiores alterações na cor e, conseqüentemente, na aparência do yacon, tanto após o processo, quanto após a secagem. Os pré-tratamentos com etanol, US e etanol+US devem ser avaliados em outras matrizes uma vez que, apesar de os resultados obtidos não terem sido tão positivos como o esperado, cada produto se comporta de forma diferente, a depender de todas as variáveis que envolvem o processo, como tempo de pré-tratamento, tempo de secagem, composição do alimento, entre outros.

Financiamento

Esta pesquisa foi, em parte, financiada pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) – Código de financiamento 001.

O presente trabalho foi realizado com apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

Referências

ADRIANO, L. S. et al. Yacon syrup reduces postprandial glycemc response to breakfast: A randomized, crossover, double-blind clinical trial. **Food Research International**, v. 126, p. 108682, dez. 2019.

AOAC, G. W. **Official methods of analysis of AOAC International**. 20. ed. Rockville: AOAC International, 2016.

BARONI, S. et al. Effect of crude extracts of leaves of *Smallanthus sonchifolius* (yacon) on glycemia in diabetic rats. **Revista Brasileira de Ciências Farmaceuticas/Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences**, v. 44, n. 3, p. 521–530, 2008.

BELMIRO, R. H.; TRIBST, A. A. L.; CRISTIANINI, M. Impact of high pressure processing in hydration and drying curves of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.). **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 47, n. March, p. 279–285, 2018.

BOUCHER, R. M. G. Drying by airborne ultrasonics. **Ultrasonic News**, v. 3, p. 8–16, 1959.

CAMPOS, D.; AGUILAR-GALVEZ, A.; PEDRESCHI, R. Stability of fructooligosaccharides, sugars and colour of yacon (*Smallanthus sonchifolius*) roots during blanching and drying. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 51, n. 5, p. 1177–1185, 2016.

CASTAGNINI, J. M. et al. Pulsed electric fields effect on mechanical and sorption properties of dried apple tissue. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 65, n. May, 2020.

CHOI, M. .; KIM, G. .; LEE, H. . Effects of ascorbic acid retention on juice color and pigment stability in blood orange (*Citrus sinensis*) juice during refrigerated storage. **Food Research International**, v. 35, n. 8, p. 753–759, jan. 2002.

DA CUNHA, R. M. C. et al. Effect of ethanol pretreatment on melon convective drying. **Food Chemistry**, v. 333, n. April, p. 127502, 2020.

DENG, L. Z. et al. Chemical and physical pretreatments of fruits and vegetables: Effects on drying characteristics and quality attributes—a comprehensive review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 59, n. 9, p. 1408–1432, 2019.

DIONÍSIO, A. P. et al. Cashew-apple (*Anacardium occidentale* L.) and yacon (*Smallanthus sonchifolius*) functional beverage improve the diabetic state in rats. **Food Research International**, v. 77, p. 171–176, 2015.

DONG, T. et al. A novel aspartic protease inhibitor inhibits the enzymatic browning of potatoes. **Postharvest Biology and Technology**, v. 172, n. 61, p. 111353, 2021.

FENG, Y. et al. Aspartic Acid Can Effectively Prevent the Enzymatic Browning of Potato by Regulating the Generation and Transformation of Brown Product. **Postharvest Biology and Technology**, v. 166, p. 111209, ago. 2020.

FERNANDES, F. A. N.; LINHARES, F. E.; RODRIGUES, S. Ultrasound as pretreatment for drying of pineapple. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 15, n. 6, p. 1049–1054, set. 2008.

FERNANDES, F. A. N.; RODRIGUES, S. Dehydration of Sapota (*Achras sapota* L.) Using Ultrasound as Pretreatment. **Drying Technology**, v. 26, n. 10, p. 1232–1237, 19 set. 2008.

FIJALKOWSKA, A. et al. Ultrasound as a Pretreatment Method to Improve Drying Kinetics and Sensory Properties of Dried Apple. **Journal of Food Process Engineering**, v. 39, n. 3, p. 256–265, jun. 2016.

GREGUSS, P. The mechanism and possible applications of drying by ultrasonic irradiation. **Ultrasonics**, v. 1, n. 2, p. 83–86, abr. 1963.

GUIGOZ, Y. et al. Effects of oligosaccharide on the faecal flora and non-specific

immune system in elderly people. **Nutrition Research**, v. 22, n. 1–2, p. 13–25, 2002.

HABIB, N. C. et al. Hypolipidemic effect of *Smallanthus sonchifolius* (yacon) roots on diabetic rats: Biochemical approach. **Chemico-Biological Interactions**, v. 194, n. 1, p. 31–39, 2011.

HALDER, A.; DATTA, A. K.; SPANSWICK, R. M. Water transport in cellular tissues during thermal processing. **AIChE Journal**, v. 57, n. 9, p. 2574–2588, set. 2011.

HALL, J. N. et al. Global Variability in Fruit and Vegetable Consumption. **American Journal of Preventive Medicine**, v. 36, n. 5, p. 402–409.e5, maio 2009.

HUANG, D. et al. Application of ultrasound technology in the drying of food products. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 63, n. November 2019, p. 104950, 2020.

JAY, J. M.; LOESSNER, M. J.; GOLDEN, D. A. Protection of Foods by Drying. In: **Modern Food Microbiology**. Boston, MA: Springer US, 2005. p. 443–456.

KEK, S. P.; CHIN, N. L.; YUSOF, Y. A. Direct and indirect power ultrasound assisted pre-osmotic treatments in convective drying of guava slices. **Food and Bioproducts Processing**, v. 91, n. 4, p. 495–506, out. 2013.

KOWALSKI, S. J.; MIERZWA, D.; STASIAK, M. Ultrasound-assisted convective drying of apples at different process conditions. **Drying Technology**, v. 35, n. 8, p. 939–947, 11 jun. 2017.

LACHMAN, J.; FERNÁNDEZ, E. C.; ORSÁK, M. Yacon [*Smallanthus sonchifolia* (Poepp. et Endl.) H. Robinson] chemical composition and use - A review. **Plant, Soil and Environment**, v. 49, n. 6, p. 283–290, 2003.

LEONG, T.; ASHOKKUMAR, M.; SANDRA, K. The fundamentals of power ultrasound - A review. **Acoustics Australia**, v. 39, n. 2, p. 54–63, 2011.

LEONG, T. S. H.; MARTIN, G. J. O.; ASHOKKUMAR, M. Ultrasonic encapsulation – A review. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 35, p. 605–614, mar. 2017.

LIN, M. et al. Inhibitory effects of p-alkylbenzoic acids on the activity of polyphenol oxidase from potato (*Solanum tuberosum*). **Food Chemistry**, v. 119, n. 2, p. 660–

663, 15 mar. 2010.

LLAVATA, B. et al. Innovative pre-treatments to enhance food drying: a current review. **Current Opinion in Food Science**, v. 35, p. 20–26, 2020.

MENON, A.; STOJCESKA, V.; TASSOU, S. A. A systematic review on the recent advances of the energy efficiency improvements in non-conventional food drying technologies. **Trends in Food Science and Technology**, v. 100, n. March, p. 67–76, 2020.

MIANO, A. C.; IBARZ, A.; AUGUSTO, P. E. D. Mechanisms for improving mass transfer in food with ultrasound technology: Describing the phenomena in two model cases. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 29, p. 413–419, 2016.

MURALIDHARA, H. S.; ENSMINGER, D.; PUTNAM, A. ACOUSTIC DEWATERING AND DRYING (LOW AND HIGH FREQUENCY): STATE OF THE ART REVIEW. **Drying Technology**, v. 3, n. 4, p. 529–566, 9 nov. 1985.

NOWACKA, M. et al. Drying of ultrasound pretreated apple and its selected physical properties. **Journal of Food Engineering**, v. 113, n. 3, p. 427–433, dez. 2012.

NOWACKA, M. et al. Influence of ultrasound-assisted osmotic dehydration on the main quality parameters of kiwifruit. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 41, p. 71–78, 2017.

NOWACKA, M.; WEDZIK, M. Effect of ultrasound treatment on microstructure, colour and carotenoid content in fresh and dried carrot tissue. **Applied Acoustics**, v. 103, p. 163–171, fev. 2016.

O'DONNELL, C. P. et al. Effect of ultrasonic processing on food enzymes of industrial importance. **Trends in Food Science & Technology**, v. 21, n. 7, p. 358–367, jul. 2010.

OLIVEIRA, M. Á. DE; NISHIMOTO, E. K. Caracterização e quantificação dos carboidratos de reservas das raízes de yacon (*polymnia sonchifolia*) mantidas sob condições ambientais e refrigeração. **Revista Raízes e Amidos Tropicais**, v. 1, p. 30–39, 2005.

OLIVEIRA, R. B. et al. Topical anti-inflammatory activity of yacon leaf extracts. **Brazilian Journal of Pharmacognosy**, v. 23, n. 3, p. 497–505, 2013.

PAREDES, L. L. R. et al. International Journal of Biological Macromolecules Yacon fructans (*Smallanthus sonchifolius*) extraction , characterization and activation of macrophages to phagocyte yeast cells. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 108, p. 1074–1081, 2018.

PARK, E. Y. et al. Effect of thermal shock cycling on storage stability and quality of fresh-cut potato. **LWT**, v. 121, p. 108972, mar. 2020.

RICCE, C. et al. Ultrasound pre-treatment enhances the carrot drying and rehydration. **Food Research International**, v. 89, p. 701–708, 2016.

RODRIGUES, O. R. L.; ASQUIERI, E. R.; ORSI, D. C. Prevention of enzymatic browning of yacon flour by the combined use of anti-browning agents and the study of its chemical composition. **Food Science and Technology**, v. 34, n. 2, p. 275–280, 2014.

ROJAS, M. L.; AUGUSTO, P. E. D. Ethanol pre-treatment improves vegetable drying and rehydration: Kinetics, mechanisms and impact on viscoelastic properties. **Journal of Food Engineering**, v. 233, p. 17–27, 2018a.

ROJAS, M. L.; AUGUSTO, P. E. D. Ethanol and ultrasound pre-treatments to improve infrared drying of potato slices. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 49, n. April, p. 65–75, 2018b.

ROJAS, M. L.; AUGUSTO, P. E. D. Microstructure elements affect the mass transfer in foods: The case of convective drying and rehydration of pumpkin. **LWT**, v. 93, p. 102–108, jul. 2018c.

ROJAS, M. L.; AUGUSTO, P. E. D.; CÁRCEL, J. A. Ethanol pre-treatment to ultrasound-assisted convective drying of apple. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 61, n. November 2019, p. 102328, 2020.

ROJAS, M. L.; SILVEIRA, I.; AUGUSTO, P. E. D. Ultrasound and ethanol pre-treatments to improve convective drying: Drying, rehydration and carotenoid content

of pumpkin. **Food and Bioproducts Processing**, v. 119, p. 20–30, 2020.

SANTOS, K. C. et al. Enhancing carrot convective drying by combining ethanol and ultrasound as pre-treatments: Effect on product structure, quality, energy consumption, drying and rehydration kinetics. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 70, n. July 2020, p. 105304, 2020.

SANTOS, P. H. S.; SILVA, M. A. Kinetics of L-ascorbic acid degradation in pineapple drying under ethanolic atmosphere. **Drying Technology**, v. 27, n. 9, p. 947–954, 18 ago. 2009.

SIMPSON, R. et al. Understanding the success of Page's model and related empirical equations in fitting experimental data of diffusion phenomena in food matrices. **Trends in Food Science & Technology**, v. 62, p. 194–201, abr. 2017.

SOUSA, S. et al. In vitro evaluation of yacon (*Smallanthus sonchifolius*) tuber flour prebiotic potential. **Food and Bioproducts Processing**, v. 95, p. 96–105, 2015.

SUJKA, M. Ultrasonic modification of starch – Impact on granules porosity. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 37, p. 424–429, jul. 2017.

T. KUDRA, T.; MUJUMDAR, A. S. Sonic drying. In: PRESS, C. (Ed.). . **Advanced drying technologies**. second edition. Boca Raton (USA): Taylor & Francis Group, 2009. p. 199–224.

TATEMOTO, Y. et al. Drying characteristics of food materials injected with organic solvents in a fluidized bed of inert particles under reduced pressure. **Journal of Food Engineering**, v. 158, p. 80–85, ago. 2015.

VINATORU, M. Ultrasonically assisted extraction (UAE) of natural products some guidelines for good practice and reporting. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 25, p. 94–95, jul. 2015.

WANG, X. et al. Effect of vacuum and ethanol pretreatment on infrared-hot air drying of scallion (*Allium fistulosum*). **Food Chemistry**, v. 295, n. May, p. 432–440, 2019a.

WANG, X. et al. Effect of vacuum and ethanol pretreatment on infrared-hot air drying of scallion (*Allium fistulosum*). **Food Chemistry**, v. 295, p. 432–440, out. 2019b.

ZUBERNIK, J. et al. The Impact of the Pre-Treatment in Ethanol Solution on the Drying Kinetics and Selected Properties of Convective Dried Apples. **International Journal of Food Engineering**, p. 1–11, 2019.