



VOLUME 21

LUCIANO JOSÉ QUINTÃO TEIXEIRA
MAGNO FONSECA SANTOS (ORGS.)

Tecnologias emergentes

de concentração e conservação de alimentos





Esta obra foi selecionada para integrar a “Coleção Pesquisa Ufes”, a partir de Chamada Pública feita pela Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação (PRPPG) da Universidade Federal do Espírito Santo (Ufes) aos programas de pós-graduação da universidade.

A seleção teve por base pareceres que consideraram critérios de inovação, relevância e impacto.

O financiamento da Coleção foi viabilizado por meio do Programa de Apoio à Pós-Graduação (Proap) da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) e de recursos do Tesouro Nacional.



**Universidade Federal
do Espírito Santo**



Editora Universitária – Edufes

Filiada à Associação Brasileira
das Editoras Universitárias (Abeu)

Av. Fernando Ferrari, 514
Campus de Goiabeiras
Vitória – ES · Brasil
CEP 29075-910

+55 (27) 4009-7852
edufes@ufes.br
www.edufes.ufes.br

Reitor

Paulo Sergio de Paula Vargas

Vice-reitor

Roney Pignaton da Silva

Chefe de Gabinete

Zenólia Christina Campos Figueiredo

Diretor da Edufes

Wilberth Salgueiro

Conselho Editorial

Carlos Roberto Vallim, Eliana Zandonade,
Eneida Maria Souza Mendonça, Fátima Maria
Silva, Graziela Baptista Vidaurre, Isabella Vilhena
Freire Martins, José André Lourenço, Marcos
Vogel, Margarete Schat Góes, Rogério Borges
de Oliveira, Sandra Soares Della Fonte, Sérgio da
Fonseca Amaral

Secretaria do Conselho Editorial

Douglas Salomão

Administrativo

Josias Bravim
Washington Romão dos Santos

Seção de Edição e Revisão de Textos

Fernanda Scopel, George Vianna,
Jussara Rodrigues, Roberta
Estefânia Soares

Seção de Design

Ana Elisa Poubel, Juliana Braga,
Samira Bolonha Gomes, Willi Piske Jr.

Seção de Livraria e Comercialização

Adriani Raimondi, Dominique Piazzarollo,
Marcos de Alarcão, Maria Augusta
Postinghel, Maria de Lourdes Zampier



Este trabalho atende às determinações do Repositório Institucional do Sistema Integrado de Bibliotecas da Ufes e está licenciado sob a Licença Creative Commons Atribuição-NãoComercial-SemDerivações 4.0 Internacional.

Para ver uma cópia desta licença, visite <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>.



Diretora da MC&G Editorial

Maria Clara Costa

Secretaria do Conselho Editorial

Helena Pires

Seção de Edição e Revisão de Textos

Carlos Otávio Flexa | Natalia Natalino |
Roberto Azul | Joyce Guimarães

Seção de Design

Glauco Coelho | Victória Sacagami

Conselho Editorial

Alexandra Santos Pinheiro | UFGD | Brasil
Angélica Ferrarez de Almeida | UERJ | Brasil
Antonio Liberac C. Simões Pires | UFRB | Brasil
Arlindo Nkadibuala | UniRovuma | Moçambique
Juan Miguel González Velasco | UMSA | Bolívia
Luciano Brito | UFRB | Brasil
Maria Alice Resende | UFRB | Brasil
Núria Lorenzo Ramírez | UB-GREC | Barcelona
Rosy de Oliveira | UFRB | Brasil
Thayse Figueira Guimaraes | UFGD | Brasil

Preparação de texto

Carlos Otávio Flexa

Projeto gráfico

Edufes

Diagramação e capa

Glauco Coelho

Revisão de texto

Roberto Azul
Natalia Natalino

Fotografia da capa por
Andrei Castanha obtida em
<https://unsplash.com/>.

Esta obra foi composta com
a família tipográfica Crimson Text.

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)

T255 Tecnologias emergentes de concentração e conservação de alimentos [recurso eletrônico] / orgs. Luciano José Quintão Teixeira, Magno Fonseca Santos. — Vitória : EDUFES ; Rio de Janeiro : MC&G, 2021.
Dados eletrônicos (e-pub). — (Coleção Pesquisa UFES ; 21).

Inclui bibliografia.

ISBN: 978-85-7772-00-9 (coleção)

ISBN: 978-85-7772-27-6

1. Alimentos - Conservação. 2. Alimentos - Inovações tecnológicas. 3. Alimentos - Indústria. 4. Tecnologia de Alimentos - métodos. I. Teixeira, Luciano José Quintão. II. Santos, Magno Fonseca. III. Título. IV. Coleção.

CDU: 664.024

Elaborado por Priscila Pena Machado – CRB - 7/6971

LUCIANO JOSÉ QUINTÃO TEIXEIRA
MAGNO FONSECA SANTOS (ORGS.)

Tecnologias emergentes

de concentração e conservação de alimentos

 **EDUFES**

Vitória, 2021

Dedicamos este livro a todos aqueles que estão em constante aprendizado e empenhados na evolução da ciência e do sistema de produção e processamento de alimentos.

Dedicamos também aos mestrandos e egressos do Programa de Ciência e Tecnologia de Alimentos (PCTA/Ufes) que , com muita dedicação e trabalho, contribuíram para alavancar a produção científica deste Programa.

Agradecimentos

Gostaríamos de agradecer à Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-graduação (PRPPG) da Ufes pelo apoio financeiro, via Programa de Apoio à Pós-Graduação e Recursos do Tesouro Nacional, arcando com os custos de publicação da presente obra, parte da “Coleção Pesquisa Ufes”. Agradecemos ao Centro de Ciências Agrárias e Engenharias (CCAEE) da Ufes, que sempre apoiou o programa de Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos (PCTA).

Nossos sinceros agradecimentos à Fapes e à Capes pelas bolsas de mestrado dos seguintes autores: Bárbara Santos Valiati (Fapes), Gustavo Victor Louvain (Capes) e Leticia de Souza Oliveira (Capes), e ainda do autor, organizador e egresso do PCTA: Magno Fonseca Santos (Capes).

Finalmente, agradecemos a todos os autores dos capítulos pelo empenho e dedicação dispensados na produção, correção e publicação desta obra.

Os organizadores

Apresentação

No ano de 2020, o Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos (PCTA), da Universidade Federal do Espírito Santo (Ufes), completou 10 anos. Sua criação ocorreu em novembro de 2010, quando obteve a recomendação de funcionamento pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), com a primeira turma iniciando o curso no início de 2011.

Os 10 anos de funcionamento foram coroados com fatos importantes, como a defesa da 100ª dissertação de mestrado, ocorrida em novembro de 2020, e a publicação do livro intitulado *Tópicos especiais em ciência e tecnologia de alimentos*, publicado pela Edufes, com acesso *on-line* e gratuito.

É neste clima de comemoração que parte dos professores, alunos e egressos do PCTA colocam à disposição da comunidade acadêmica e não acadêmica a presente obra, resultado de parte do arcabouço teórico da dissertação do egresso Magno Fonseca Santos e complementado com trabalhos das disciplinas “Processamento não térmico dos alimentos” e “Análise de alimentos”, ambas oferecidas para o PCTA e também para outros programas de pós-graduação da Ufes, *campus Alegre* (ES).

Além do trabalho de um egresso do PCTA e de duas discentes do Programa Pós-Graduação em Nutrição e Saúde (PPGNS) da Ufes,

esta organização também contou com a supervisão e a contribuição de três professores desta instituição, bem como com a parceria e a contribuição de um professor da Universidade Federal de São João del-Rei (UFSJ), os quais demonstraram a valorização do trabalho em equipe com o intuito de produzir uma obra de qualidade e relevância para a área de conhecimento.

A publicação deste livro somente se tornou viável pois o mesmo foi contemplado por uma seleção da Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-graduação (PRPPG), com financiamento do Proap e Recursos do Tesouro Nacional, fazendo parte da “Coleção Pesquisa Ufes”. Após publicado no formato *e-book*, ele será disponibilizado gratuitamente no Repositório Institucional do Sistema Integrado de Bibliotecas da instituição e licenciado sob a licença Creative Commons — Atribuição 4.0 Internacional.

Os organizadores

Lista de figuras e tabelas

FIGURAS

Figura 1: Diagrama esquemático da unidade experimental de microfiltração de fibra oca.....	18
Figura 2: Diagrama esquemático do sistema de ultrafiltração laboratorial	22
Figura 3: Diagrama esquemático do sistema de separação por membranas de nanofiltração.....	27
Figura 4: Diagrama esquemático do sistema de osmose reversa laboratorial	31
Figura 5: Representação esquemática da unidade de osmose direta em escala de bancada	36
Figura 6: Instalação experimental para a crioc Concentração em bloco	40
Figura 7: Diagrama esquemático do sistema experimental de alta pressão	63
Figura 8: Vários tipos de sistemas ultrassônicos: (A) banho ultrassônico; (B) sistema de sonda do tipo batelada; (C) sistema de sonda contínua usado para processamento de alimentos líquidos.....	68
Figura 9: Diagrama esquemático do sistema de campo elétrico pulsado	72
Figura 10: Padrão de identidade e qualidade do suco de laranja.....	88
Figura 11: Princípio de funcionamento de um refratômetro	89
Figura 12: Coordenadas do espaço de cores do sistema CIE $L^*a^*b^*$ (A) e diagrama de Munsuell (B)	105
Figura 13: Expressão gráfica do resultado das coordenadas de cor a^* e b^* para duas amostras hipotéticas.....	108

TABELAS

Tabela 1: Aplicações da microfiltração em processamento de alimentos ...	19
Tabela 2: Aplicações da ultrafiltração em processamento de alimentos	23
Tabela 3: Aplicações da nanofiltração em processamento de alimentos.....	28

Tabela 4: Aplicações da osmose reversa em processamento de alimentos	32
Tabela 5: Aplicações da osmose direta em processamento de alimentos	37
Tabela 6: Aplicações da crioc Concentração em processamento de alimentos	41
Tabela 7: Aplicações do processamento de alta pressão em processamento de alimentos	64
Tabela 8: Aplicações das tecnologias assistidas por ultrassom em processamento de alimentos	69
Tabela 9: Aplicações das tecnologias assistidas por ultrassom em processamento de alimentos	73
Tabela 10: Interpretação da diferença de cor medida de forma instrumental.....	107

Sumário

Capítulo 1

Tecnologias emergentes de concentração de alimentos	14
Introdução	14
Tecnologias de membrana	15
Microfiltração	16
Ultrafiltração	21
Nanofiltração	25
Osmose reversa	30
Osmose direta	34
Crioconcentração	39
Considerações finais	43
Referências	45

Capítulo 2

Tecnologias emergentes de conservação de alimentos	61
Introdução	61
Processamento de alta pressão	62
Técnicas assistidas por ultrassom	66
Campo elétrico pulsado	71
Considerações finais	75
Referências	76

Capítulo 3

Análises físico-químicas em suco de laranja: uma abordagem dos principais parâmetros de qualidade	86
Introdução	86
Padrão de identidade e qualidade do suco de laranja	88
Sólidos solúveis totais	88
Acidez total titulável	91
Relação entre sólidos solúveis totais e acidez total titulável	92

Ácido ascórbico	92
Cromatografia líquida de alta eficiência	93
Método titulométrico de Tillmans.....	94
Iodometria	95
Açúcares totais naturais	96
Titulação do branco.....	96
Titulação definitiva	97
Cálculo de açúcares totais	97
Óleo essencial	97
Identificação de óleos essenciais.....	98
Quantificação de óleos essenciais	98
Compostos fenólicos	99
Método de Folin-Ciocalteu.....	99
Espectroscopia no infravermelho	100
Atividade antioxidante	100
DPPH	101
FRAP.....	102
ORAC.....	102
ABTS.....	103
Análise instrumental da cor	104
Expressão dos resultados	107
Considerações finais	109
Referências	110
Índice	119
Sobre os autores.....	122

Tecnologias emergentes de concentração de alimentos

*Magno Fonseca Santos
Antonio Manoel Maradini Filho
Sérgio Henriques Saraiva
Luciano José Quintão Teixeira*

INTRODUÇÃO

A concentração de alimentos é uma operação importante e amplamente utilizada na indústria de alimentos. Essa tecnologia tem como principal objetivo remover a água e aumentar o teor de sólidos para prolongar a vida útil do alimento, promovendo a estabilidade microbiana (ORELLANA-PALMA, GONZÁLEZ e PETZOLD, 2019). O processo também reduz o tamanho e o volume do produto para evitar custos excessivos de transporte e armazenamento (JULIAN *et al.*, 2020) e é comumente utilizado como pré-processamento em processos de secagem como o *spray dryer* (LIMA *et al.*, 2019).

A principal técnica utilizada na indústria para a concentração de alimentos líquidos é a evaporação (QUIST-JENSEN *et al.*, 2016). Nesse método, o uso de altas temperaturas – e em diferentes estágios – provoca a evaporação de parte da água, possibilitando atingir

a concentração desejada. No entanto, por ser um método térmico, ele produz efeitos deletérios em compostos sensíveis ao calor, resultando na alteração de sabor e cor. Além disso, quando empregado em alimentos contendo compostos orgânicos voláteis, pode produzir gases perigosos, aumentando o risco de explosões (JUSOH, YUNUS e HASSAN, 2009; ASSAWARACHAN e NOOMHORM, 2010; KESHANI *et al.*, 2010; Amran *et al.*, 2016).

Existem métodos emergentes alternativos que podem substituir a evaporação como, por exemplo, as tecnologias de membrana e a criocentralização. As tecnologias de membrana exploram as diferentes propriedades físico-químicas das misturas para obter a separação dos componentes (LOIZZO *et al.*, 2019); já a criocentralização consiste em congelar total ou parcialmente a solução líquida para posterior separação da fração de gelo do líquido (GUERRA-VALLE *et al.*, 2018).

Esses processos podem ser aplicados para concentrar compostos bioativos de sucos, extratos vegetais e leite, reduzindo os danos causados pela evaporação térmica convencional da água e resultando na manutenção de suas características nutricionais, funcionais e sensoriais (GIRARD e FUKUMOTO, 2000). Este capítulo descreve as tecnologias emergentes que podem ser usadas para melhorar a concentração de alimentos líquidos, a fim de aumentar a sua eficácia e os seus usos no presente e no futuro.

TECNOLOGIAS DE MEMBRANA

Comparado aos processos de separação convencionais, os processos de separação por membrana provocaram uma mudança significativa na indústria de processamento de alimentos e ganham mais atenção devido às suas vantagens, como alta seletividade, menor consumo de energia e facilidade de implementação (MOHAMMAD *et al.*, 2012). Essas tecnologias preservam as propriedades funcionais dos produtos alimentícios sem a redução significativa dos nutrientes e compostos bioativos, além de serem processamentos mais limpos

devido à ausência de produtos químicos (SOODAM e GUINEE, 2018; LOIZZO *et al.*, 2019). Conseqüentemente, as tecnologias de membrana – como técnicas não térmicas, por exemplo – foram utilizadas como substitutos para as técnicas tradicionais de clarificação de sucos, por não envolver mudança de fase nem agentes químicos (CAI *et al.*, 2020).

Membrana pode ser definida como um filtro ou barreira que separa duas fases e que restringe, total ou parcialmente, o transporte de uma ou várias espécies químicas presentes nas fases (SOUTO *et al.*, 2005). A morfologia da membrana e a natureza do material que a constitui são algumas das características que definem o tipo de aplicação e a eficiência de separação. Sua aplicação depende da microporosidade da membrana, que determina quais componentes da corrente de alimentação serão retidos ou permeados (SOODAM e GUINEE, 2018). Já a eficiência de separação depende muito de sua interação com o fluido a ser processado, o que inclui o material da membrana e a distribuição do tamanho dos poros (MIRSAEEDGHAZI *et al.*, 2010).

Diferentes tipos de compostos de alto valor agregado podem ser separados por tecnologias de membrana, como carboidratos, pectina, açúcares, compostos antioxidantes, antocianinas, proteínas e compostos fenólicos (NAZIR *et al.*, 2019). Processos de membrana como microfiltração, ultrafiltração, nanofiltração, osmose reversa e osmose direta têm sido utilizados para descoloração, clarificação, estabilização, despectinização, concentração e remoção de impurezas (GUO *et al.*, 2018), especificamente na produção de sucos com alta qualidade, sabor natural e livres de aditivos (SHI *et al.*, 2019).

Microfiltração

A microfiltração (MF) é uma tecnologia de membrana acionada por pressão (0,3 a 2,1 bar), a qual tem sido aplicada a compostos separados de alto valor agregado, oferecendo várias vantagens tecnológicas

(CASTRO-MUÑOZ e FÍLA, 2018), podendo substituir a centrifugação (CHAKRABORTY, UPPALURI e DAS, 2020).

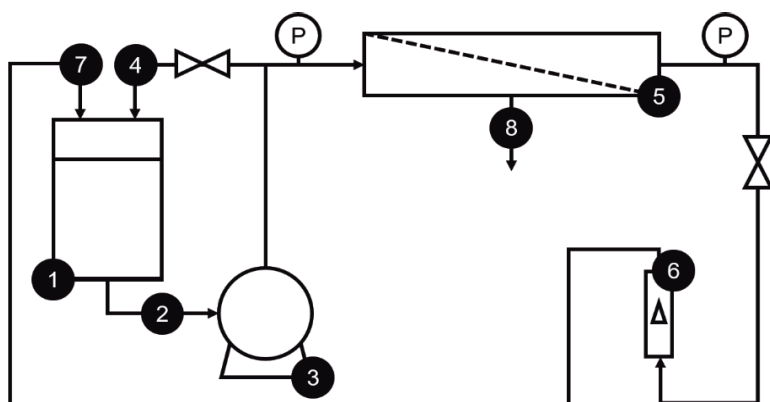
As membranas de MF têm tamanho de poro variando de 100 a 10000 nm e peso molecular de corte superior a 500000 Da, podendo remover coloides, emulsões e impurezas de alto peso molecular, incluindo microrganismos. Panigrahi *et al.* (2018) descrevem um esquema de configuração de MF, ilustrado na Figura 1. O sistema de MF consiste em um tanque de alimentação, um módulo de membrana, uma bomba auxiliar, dois manômetros (na entrada e saída do módulo de membrana), duas válvulas e um rotâmetro. A válvula de desvio e a válvula reguladora de contrapressão na linha retentada foram usadas para ajustar e manter a pressão transmembrana desejada e a taxa de fluxo cruzado independentemente. Os experimentos foram realizados em um ambiente controlado, impedindo o crescimento de bactérias na corrente retentada, no modo de reciclo total, com reciclagem de permeado e retentado no tanque de alimentação para manter uma concentração uniforme de alimentação. Controlando as válvulas de desvio e de retenção, as pressões transmembranas e as taxas de fluxo cruzado foram definidas independentemente.

O processamento de MF apresenta baixo consumo de energia, alta eficiência de separação, fácil implementação e operação, alta produtividade, ausência de transição de fase e não uso de solventes adicionais, os quais favorecem a recuperação do soluto (VIERA *et al.*, 2020). Comparada à ultrafiltração, a MF possui melhor eficiência energética e menor pressão de operação no tratamento de suco, o que é benéfico para a sua aplicação industrial (ILAME e SINGH, 2015). Embora o aumento da temperatura da MF aumente o fluxo de permeação, o aumento do fluxo pode aumentar a taxa de incrustação, causada pelos materiais insolúveis pécticos e celulósicos presentes nos sucos de frutas (DE OLIVEIRA, DOCÊ e DE BARROS, 2012), podendo diminuir a permeação dos outros compostos.

Essa tecnologia é mais usada para clarificação de sucos e remoção de resíduos em nível industrial (CASTRO-MUÑOZ, CONIDI e

CASSANO, 2018). Não mostrados resultados publicados sobre o uso da MF em sucos de frutas ou extratos de outros materiais vegetais e leite:

Figura 1: Diagrama esquemático da unidade experimental de microfiltração de fibra oca [1: tanque de alimentação; 2: tubo de sucção; 3: bomba de reforço; 4: tubo de derivação; 5: módulo de membrana; 6: rotâmetro; 7: linha do tubo de fluxo de saída do rotâmetro; 8: linha do permeado]



Fonte: Adaptado de Panigrahi (2018).

A principal aplicação da MF, mostrada nos estudos recentes, serve para garantir a estabilidade microbológica e remover microrganismos, estendendo a vida útil dos produtos – embora algumas publicações tenham surgido após a aplicação dessa tecnologia de membrana para clarificar sucos e outros extratos.

Tabela 1: Aplicações da microfiltração em processamento de alimentos

Tipo de alimento	Objetivo	Resultado	Referência
Suco de romã	Avaliar se a MF poderia substituir a pasteurização como uma técnica de estabilização microbiológica do suco fresco minimamente processado.	Os dados demonstraram que a MF era comparável com a pasteurização, garantindo estabilidade microbiológica do suco, evitando a deterioração do produto.	COLANTUONO <i>et al.</i> (2018).
Caldo de cana	Atingir o fluxo máximo, retenção mínima de sacarose, rejeição máxima de sólidos totais e remoção máxima de microrganismos do permeado.	As condições otimizadas de operação foram: pressão transmembrana = 104 kPa e velocidade de fluxo cruzado = 0,369 m/s.	PANIGRAHI <i>et al.</i> (2018).
Suco de maçã	Investigar a lacase imobilizada em nanopartículas de sílica magnética quelatadas por metais e usada para clarificação contínua de suco.	O tratamento com lacase imobilizada combinada com a MF proporcionou um suco estável com menor perda de compostos fenólicos totais e atividade antioxidante.	WANG <i>et al.</i> (2020).
Suco de cabaça	Definir parâmetros de referência úteis para a clarificação do suco usando membranas cerâmicas.	A membrana de 0,75 μm com pressão transmembrana de 137,9 kPa exibiu o melhor desempenho combinatório em termos de características de incrustação, cor, translucidez, teor de proteína, teor de carboidrato e teor de polifenóis.	CHAKRABORTY, UPPALURI e DAS (2020).

Tipo de alimento	Objetivo	Resultado	Referência
Leite cru	Obter um isolamento mais suave do material de membrana de glóbulos de gordura do leite por MF cerâmica em escala piloto de leite cru.	O trabalho descreve um método de produção industrialmente relevante para um material de membrana de glóbulos de gordura do leite menos processado e de alta pureza.	HANSEN <i>et al.</i> (2020).
Vinho de amora	Fornecer uma orientação para a MF de vinho, analisando o desempenho com diferentes membranas, relacionando com o mecanismo de bloqueio de poros e a identificação de contaminantes.	A MF proporcionou um vinho com maior translucidez, altamente polidisperso, de cor clara e com estabilidade de esterilização satisfatória.	XIONG <i>et al.</i> (2020).
Molho de soja	Fornecer uma compreensão global da incrustação de membranas, oferecendo assim orientações para sua aplicação industrial.	A membrana PVDF de 0,45 μm exibiu uma eficiência de filtração relativamente alta resultante da baixa propensão à incrustação, altamente correlacionada à rugosidade da superfície da membrana.	GUO <i>et al.</i> (2020).
Extrato de erva mate	Estender a vida útil dos extratos usando clarificação por separação de membrana.	O extrato clarificado manteve sua estabilidade fenólica e diminuiu a turbidez ao longo de 30 dias de armazenamento, aumentando sua vida útil.	SANTOS <i>et al.</i> (2020).

Fonte: Os autores.

Ultrafiltração

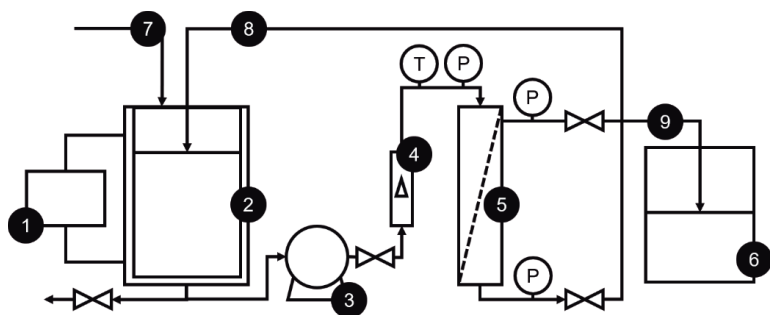
Nas últimas duas décadas, os pesquisadores estudaram amplamente a clarificação de sucos de frutas e vegetais usando ultrafiltração (UF), substituindo o uso de técnicas térmicas tradicionais (BHATTACHARJEE, SAXENA e DUTTA, 2018). A UF é um processo industrial acionado por pressão (1 a 10 bar), que separa compostos valiosos dos sucos, eliminam o uso de enzimas, produtos químicos e calor, diminuindo, assim, as chances de contaminação e falha do processo (GULEC, BAGCI e BAGCI, 2018; GHOSH *et al.*, 2019; CAI *et al.*, 2020).

As membranas de UF têm tamanho de poro variando de 1 a 100 nm e peso molecular de corte variando de 10000 a 500000 Da, sendo capazes de reter macromoléculas – como, por exemplo, proteínas, taninos e polifenóis no retido –, enquanto micro solutos, açúcares, vitaminas, ácidos orgânicos, compostos aromáticos, pigmentos e sais permeiam através da membrana junto com a água. A parte retida ou concentrada produzida pela UF é composta de fibras e sólidos em suspensão e o permeado é principalmente água e micromoléculas essenciais, livres de microrganismos indesejáveis (BHATTACHARJEE, SAXENA e DUTTA, 2018).

Li *et al.* (2018a) descrevem um sistema de UF laboratorial, conforme ilustrado na Figura 2, o qual consiste em uma unidade de membrana cerâmica, um tanque de alimentação, uma bomba, um medidor de vazão, medidores de pressão e um termômetro. A amostra é bombeada para dentro do módulo de membrana a partir do tanque de alimentação e permeada radialmente através da membrana para clarificação em um modo de fluxo cruzado. O retido é devolvido ao tanque de alimentação, enquanto o permeado é coletado próximo à instalação. O volume de amostra no sistema é mantido constante a 50 L durante todo o experimento, adicionando continuamente amostra no tanque de alimentação. A pressão transmembranar e a velocidade do fluxo cruzado são controladas pelas válvulas de entrada, de saída e lateral do permeado. O fluxo do permeado é medido utilizando um cilindro graduado e um cronômetro.

A UF é usada principalmente para remoção de sólidos em suspensão, responsáveis pela formação de neblina e fatores relacionados à turbidez, mas poderia ser usada para concentrar compostos fenólicos em sucos, mantendo com sucesso uma alta porcentagem de polifenóis em seu retido (CONIDI *et al.*, 2017). Por se tratar de uma operação de baixa temperatura, também conhecido como esterilização a frio (GHOSH *et al.*, 2019), as chances de atividade microbiana danificar o permeado são mínimas em comparação às técnicas de evaporação térmica (BHATTACHARJEE, SAXENA e DUTTA, 2018). No entanto, a incrustação de membranas é uma grande desvantagem da UF, especialmente em membranas poliméricas, limitando seu uso na indústria de suco de frutas (ZHAO *et al.*, 2015).

Figura 2: Diagrama esquemático do sistema de ultrafiltração laboratorial [1: banho d'água; 2: tanque de alimentação; 3: bomba; 4: medidor de vazão; 5: módulo de membrana; 6: permeado; 7: amostra; 8: fluxo do retido; 9: fluxo do permeado]



Fonte: Adaptado de Li *et al.* (2018).

É necessário entender as alterações dos perfis físico-químicos dos sucos pelo tratamento da UF, principalmente os compostos fenólicos e a estabilidade do suco durante o armazenamento (CAI *et al.*, 2020), assim como entender o mecanismo de incrustação de um processo específico para controlar a incrustação de membranas e melhorar o

desempenho a longo prazo da UF (YILMAZ e BAGCI, 2019). Na **tabela 2** são mostrados resultados publicados sobre o uso da UF para a clarificação de alguns sucos de frutas ou extratos de outros materiais vegetais.

A clarificação de diferentes sucos de frutas usando UF resulta na melhoria da cor e aumenta a translucidez do suco, eliminando substâncias pécticas e partículas coloidais. O suco clarificado tem uma viscosidade mais baixa devido à remoção de macromoléculas e sólidos em suspensão, e os sólidos solúveis – sobretudo açúcar e vitaminas – são recuperados no permeado.

Tabela 2: Aplicações da ultrafiltração em processamento de alimentos

Tipo de alimento	Objetivo	Conclusão	Referência
Suco de melancia	Analisar a incrustação e qualidade do suco clarificado.	O suco clarificado não apresentou alterações significativas em suas propriedades físico-químicas e a incrustação reversível apresentou contribuição mais significativa para a resistência total.	BHATTACHARJEE, SAXENA e DUTTA (2018).
Suco de maçã	Investigar as condições de clarificação sobre as propriedades físico-químicas, de fluxo e armazenamento.	As condições mais adequadas para a clarificação por UF foram: material de membrana = polietersulfona; corte de peso molecular = 10 kDa; pressão transmembranar = 0,75 MPa e taxa de fluxo cruzado = 30 L/h.	CAI <i>et al.</i> (2020).

Tipo de alimento	Objetivo	Conclusão	Referência
Suco de brócolis	Estudar o comportamento de incrustação e a qualidade do suco clarificado.	A membrana de polietersulfona a 50 kDa de pressão transmembrantar foi considerada a membrana mais adequada para a clarificação do suco.	YILMAZ e BAGCI (2019).
Suco de jamun	Determinar o período de armazenamento do suco de jamun clarificado por diferentes métodos.	A UF pode ser considerada como o melhor método para clarificação do suco, com um prazo de validade prolongado e ótimas qualidades.	GHOSH <i>et al.</i> (2019).
Suco de kinnow	Estudar os efeitos da queda da taxa de fluxo cruzado e da pressão transmembrantar na qualidade do suco de permeado.	A membrana de polissulfona com corte de peso molecular da membrana de 30 kDa foi a mais adequada, selecionada pelos seguintes critérios: fluxo do permeado e qualidade do suco, atendendo aos padrões de suco cítrico.	ILAME e SINGH (2018).
Suco de amora	Investigar a influência da clarificação e armazenamento subsequente nas propriedades fenólicas e na cor do suco.	A membrana de UF com corte de peso molecular de 100 kDa possui grande potencial na clarificação de sucos com o objetivo de enriquecer compostos fenólicos e melhorar as atividades bioativas e a estabilidade de armazenamento.	LI <i>et al.</i> (2019b).

Tipo de alimento	Objetivo	Conclusão	Referência
Suco de laranja	Isolar compostos de fitosterol do suco.	A membrana de celulose regenerada apresentou o maior fluxo de permeado, com maior índice de incrustação e boa eficiência de separação dos fitoesteróis do suco, mas todas as membranas investigadas apresentaram eficiência de limpeza maior que 95%.	ABD-RAZAK, CHEW e BIRD (2019).
Caldo de cana	Discutir um processo de refino de açúcar intensificado para remover a cor e simplificar o refino adicional.	O processo assistido por UF produziu produtos de açúcar de grau alimentar de alta qualidade, atendendo às especificações comerciais, com economias consideráveis em custos de capital e operacionais.	VU, LEBLANC e CHOU (2020).

Fonte: Os autores.

Nanofiltração

A nanofiltração (NF) é uma tecnologia de separação da fase líquida, econômica e de baixo impacto ambiental. Ela pode separar eficientemente solutos de baixo peso molecular por exclusão de tamanho e efeito de carga (SHON *et al.*, 2013; LI *et al.*, 2015a). Essa tecnologia consiste em um processo de membranas nanoporosas, com tamanho de poro variando de 1 a 5 nm e peso molecular de corte variando de 200 a 1000 Da, acionado por pressão (7 a 10 bar), e suas propriedades estão entre as de membranas de osmose reversa não porosa e as membranas de ultrafiltração porosa (SHON *et al.*, 2013).

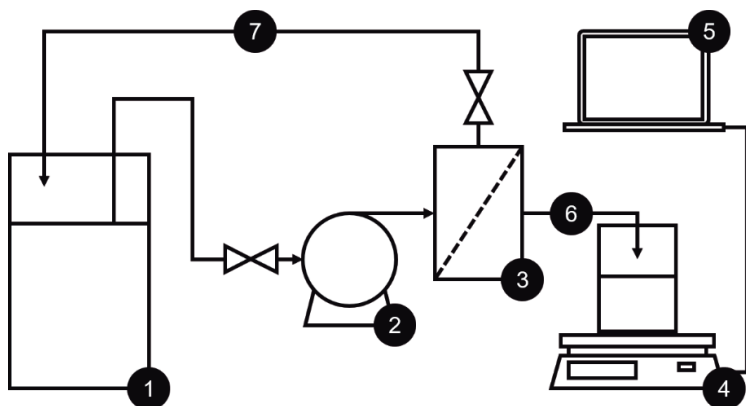
A NF foi desenvolvida como uma tecnologia promissora para reter ingredientes de alimentos e medicamentos promovendo a extração de água sem os efeitos térmicos. Essa tecnologia apresenta alta rejeição a solutos, alta permeabilidade à água e requisitos de pressão moderada (MAHER, SADEGHI e MOHEB, 2014; LIM *et al.*, 2014; LI *et al.*, 2015a).

Li e Shahbazi (2006) descrevem um sistema de NF que consiste em uma bomba de recirculação, unidade de NF e uma unidade de ponderação de permeado *on-line*. No diagrama do sistema de NF mostrado na Figura 3, o permeado ultrafiltrado é circulado do fermentador para a unidade de membrana a uma velocidade constante através de uma bomba positiva. O fermentador é utilizado para manter o permeado ultrafiltrado a temperatura e pH constantes. O concentrado é reciclado para o fermentador através da bomba, enquanto o permeado é coletado em um recipiente e colocado em uma balança eletrônica.

Uma das principais vantagens do emprego de membranas de NF é a seleção de membranas ideais com limite de peso molecular adequado, podendo ser usada para fracionar moléculas de peso molecular semelhante (faixa de 100-2000 Da) (LI *et al.*, 2019a). A NF também tem se mostrado vantajosa em termos de custo, uma vez que o processo consome menos energia se comparado às tecnologias de membrana, como osmose reversa e evaporação osmótica (ACOSTA *et al.*, 2017).

A aplicação da NF para concentração de sucos e extratos de frutas ou vegetais é relativamente nova e existem muitos problemas teóricos e técnicos a serem resolvidos (LI *et al.*, 2019a). Na tabela 3 são mostrados resultados publicados sobre o uso da NF para a concentração de alguns sucos de frutas ou extratos de outros materiais vegetais.

Figura 3: Diagrama esquemático do sistema de separação por membranas de nanofiltração [1: fermentador; 2: bomba de recirculação; 3: unidade de membrana; 4: balança; 5: computador; 6: permeado; 7: concentrado de volta ao fermentador]



Fonte: Adaptado de Li e Shahbazi (2006).

Embora algumas publicações tenham discutido a aplicação dessa tecnologia de membrana como uma excelente alternativa para concentrar compostos bioativos, como compostos fenólicos e polifenólicos, ela também pode ser utilizada como ferramenta para separar componentes em misturas.

Tabela 3: Aplicações da nanofiltração em processamento de alimentos

Tipo de alimento	Objetivo	Conclusão	Referência
Suco de amora	Determinar a viabilidade da concentração dos principais compostos polifenólicos encontrados em suco clarificado.	A membrana NF270 a 3 MPa de pressão transmembrana apresentou potencial de concentração dos principais compostos polifenólicos.	ACOSTA <i>et al.</i> (2017).
Suco de morango	Avaliar a viabilidade dos processos de separação na concentração dos compostos bioativos.	A NF mostrou-se uma alternativa eficaz para a concentração dos principais compostos bioativos com manutenção da cor vermelha e dos compostos fenólicos essenciais para a qualidade.	AREND <i>et al.</i> (2017).
Açúcar	Avaliar os fatores que afetam a separação do xilitol da xilose e arabinose.	A membrana de NF interna de polietersulfona tem um alto potencial para a separação do xilitol e é semelhante ao método cromatográfico amplamente utilizado.	FANEER <i>et al.</i> (2017).
Extrato de folhas de oliveira	Produzir uma fração concentrada de oleuropeína.	A fração concentrada obtida pela membrana NF apresentou alto conteúdo de oleuropeína, o que torna essa tecnologia útil no desenvolvimento de novos produtos com propriedades funcionais adequadas.	KHEMAKHEM <i>et al.</i> (2017).

Tipo de alimento	Objetivo	Conclusão	Referência
Extrato de bagaço de maçã	Avaliar a viabilidade técnica e econômica da concentração de compostos fenólicos em escala piloto em laboratório.	A NF mostrou viabilidade técnica na extração e concentração de polifenóis em laboratório e em escala piloto, mas não se mostrou economicamente viável sob as premissas feitas.	UYTTEBROEK <i>et al.</i> (2018).
Extrato de semente de uva	Otimizar as condições de concentração para maximizar o rendimento das procianidinas e compostos polifenólicos.	As condições ótimas de concentração de NF foram: corte de peso molecular da membrana de NF = 400 Da; concentração de procianidinas = 27,66 µg/mL; pH = 5,20.	LI <i>et al.</i> (2018b).
Suco de uva	Estabelecer um modelo de previsão com base na NF para separar procianidinas em temperatura ambiente.	O modelo matemático pode prever a rejeição de procianidinas; a atividade antioxidante foi preservada de forma eficaz.	LI <i>et al.</i> (2019b).
Água potável	Testar a seletividade da membrana ideal para a purificação da água potável contaminada com metais pesados.	As membranas de NF adulteradas com sacarose foram escolhidas para estudo, mostrando uma boa rejeição para metais pesados e capacidade de separação estável durante um teste ininterrupto de 30 horas.	SHEN <i>et al.</i> (2020).

Fonte: Os autores.

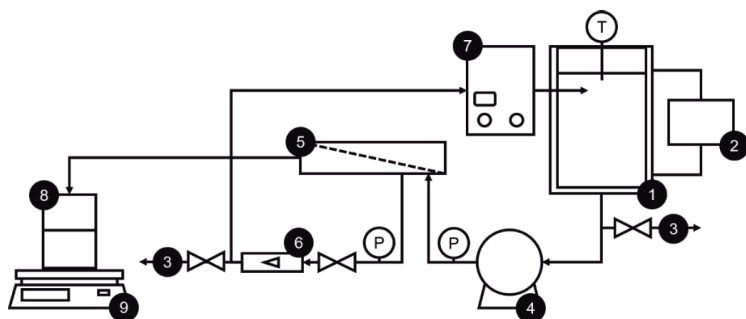
Osmose reversa

Nos últimos anos a osmose reversa (OR) tem despertado interesse devido ao seu potencial de concentração não térmica de sucos de frutas. A OR é um processo de separação por membrana acionado por pressão (20 a 100 bar), com tamanho de poro inferior a 1 nm e peso de corte molecular inferior a 200, limitada pela pressão osmótica do produto que aumenta com a elevação da concentração (BHATTACHARJEE, SAXENA e DUTTA, 2017). Essa tecnologia é eficaz para remover compostos orgânicos com baixo peso molecular e baixa concentração de soluções aquosas em diferentes campos, incluindo processamento de suco de frutas e vegetais (WETEN e KHOIRUDDIN, 2016), podendo efetivamente dobrar a capacidade operacional e melhorar as características de cor e sabor quando comparada com a evaporação térmica e/ou com a concentração por congelamento (GIRARD e FUKUMOTO, 2000).

A maior parte dos sistemas de OR industriais caracterizam-se por serem grandes processos, de várias etapas, nos quais toda a alimentação é concentrada em uma única passagem (AL-OBAIDI *et al.*, 2017). Destani *et al.* (2020) descrevem uma planta de bancada de laboratório de OR composta por um painel de controle, um tanque de alimentação com camisa cilíndrica construído em aço inoxidável, uma bomba de êmbolo de alimentação com acionamento por correia, dois manômetros, um medidor de vazão digital, um termômetro colocado dentro do tanque de alimentação e um alojamento cilíndrico capaz de acomodar um módulo de membrana espiralada (Figura 4). O ajuste da pressão operacional e da vazão de alimentação foi feito pelo controle de rotação da bomba através de um inversor de frequência e uma válvula de agulha, simultaneamente. A temperatura de operação foi controlada pela circulação de um fluido de aquecimento ou de um líquido de arrefecimento através da camisa do tanque. A permeabilidade à água de cada membrana foi obtida como a inclinação da linha reta resultante da plotagem do fluxo de água *versus* a pressão transmembranar aplicada.

A retenção de constituintes do suco, principalmente os compostos responsáveis por sabor e aroma, e o fluxo do permeado, em relação ao desempenho da OR, são dois fatores principais – ambos relacionados ao tipo de membrana e às condições operacionais utilizadas durante o processo (DESTANI *et al.*, 2020). No entanto, há uma necessidade de evitar fenômenos de incrustação, um grande desafio que compromete o desempenho e a vida útil geral das membranas de OR (REIS *et al.*, 2016). Na indústria de suco de frutas, a OR é geralmente considerada como uma técnica de pré-concentração que permite uma concentração de suco de cerca de 30 °Brix, correspondente a pressões osmóticas de cerca de 50 bar (CASSANO, CONIDI e DRIOLI, 2011).

Figura 4: Diagrama esquemático do sistema de osmose reversa laboratorial [1: tanque de alimentação; 2: reservatório de resfriamento; 3: torneira de descarga; 4: bomba de alimentação; 5: módulo de membrana; 6: medidor de vazão digital; 7: painel de controle; 8: tanque de permeado; 9: balança digital]



Fonte: Adaptado de Destani *et al.* (2020).

A técnica de OR tem sido empregada na remoção de álcool de diferentes bebidas fermentadas, incluindo o vinho (GIL *et al.*, 2013), mas também tem outras aplicações. Na tabela 4 são mostrados resultados publicados sobre o uso da osmose reversa em sucos de frutas, vinhos, leite e outros materiais vegetais.

A OR, além de sua utilização para concentração e dessalinização de água, é uma alternativa promissora para a desalcolização, pois pode remover o álcool sob temperatura amena e, portanto, preservar o sabor e os componentes nutritivos das bebidas desalcolizadas.

Tabela 4: Aplicações da osmose reversa em processamento de alimentos

Tipo de alimento	Objetivo	Conclusão	Referência
Água potável	Determinar o potencial de crescimento de <i>L. pneumophila</i> na água potável e compará-la às águas subterrâneas tratadas convencionalmente.	A água tratada por OR apresentou potencial de crescimento de <i>L. pneumophila</i> e de formação de biofilme inferiores à água tratada convencionalmente.	LEARBUCH <i>et al.</i> (2019).
Vinho de arroz (takju)	Preparar takju com baixo teor alcoólico.	A OR foi apropriada para obtenção de takju desalcolizado (0,04-0,28%), mas a amostra obtida era pobre em compostos voláteis e valor nutricional.	KIM <i>et al.</i> (2019a).
Suco de romã	Implementar a ativação de plasma de nitrogênio de baixa pressão (PNBP) para melhorar o desempenho das membranas comerciais de poliamida.	Foi observado um aumento no fluxo de água da membrana modificada, promovendo um conteúdo de sólidos solúveis mais alto, possibilitando economia de tempo de 30% durante o processo de destilação osmótica adicional.	BAGCI <i>et al.</i> (2019).

Tipo de alimento	Objetivo	Conclusão	Referência
Queijo coalho	Otimizar a utilização de leite desnatado concentrado por OR para melhorar a coagulação e as propriedades de fabricação de queijo.	A concentração por OR induziu um aumento no tempo de coagulação e na taxa de endurecimento máximo do gel (9% de proteína), aumentando a mineralização de cálcio das micelas de caseína, o rendimento, a umidade e o teor de lactose no queijo.	DUSSAULT-CHOUINARD, BRITTEN e POILLOT (2019).
Vinhos <i>Cabernet Sauvignon</i>	Investigar as mudanças nos perfis químicos e sensoriais de cinco vinhos <i>Cabernet Sauvignon</i> após sua desalcooolização parcial.	O tratamento não afetou significativamente o aroma e o sabor do vinho, o que foi consistente com as mudanças composicionais relativamente pequenas, observadas entre os vinhos antes e após a desalcooolização parcial.	PHAM <i>et al.</i> (2020).
Suco de laranja	Analisar o potencial de membranas de OR na recuperação e concentração de compostos aromáticos de correntes de condensado do evaporador do suco.	Altos valores de retenção para compostos aromáticos (>80%) foram medidos para todas as membranas de OR utilizadas.	DESTANI <i>et al.</i> (2020).

Tipo de alimento	Objetivo	Conclusão	Referência
Leite	Investigar o potencial de diferentes configurações de processo para a concentração de leite por OR e destilação por membrana com espaçamento de ar (DMEA).	A configuração ideal do processo de concentração de leite começa com a OR até a concentração máxima possível de 18% de sólidos, seguida pela DMEA até a concentração final de 50% de sólidos.	MOEJES <i>et al.</i> (2020).
Xarope de bordo	Desenvolver um modelo para minimizar o consumo de energia e o custo de energia, a fim de concentrar a seiva de bordo.	Para produzir xarope com o menor custo possível de energia, a seiva deve primeiro ser concentrada em 32% de teor de sólidos a uma pressão operacional de 50 bar.	WEAVER <i>et al.</i> (2020).

Fonte: Os autores.

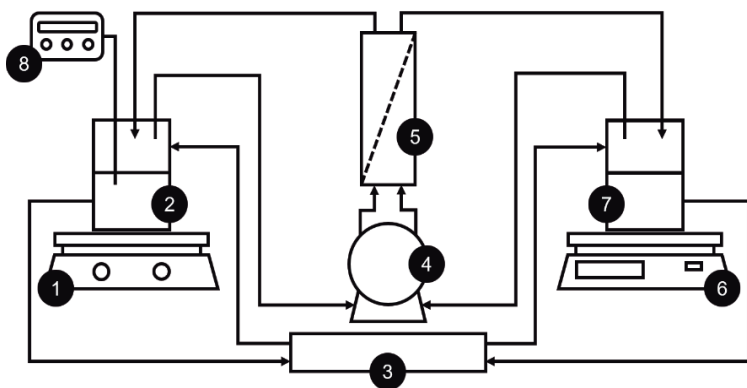
Osmose direta

A osmose direta (OD) tem sido reconhecida nas últimas décadas como uma alternativa potencial aos processos de desidratação térmica (GWAK, KIM e HONG, 2018), podendo ser usada no processamento de soluções de alimentação de alta viscosidade (WANG *et al.*, 2017), evitando algumas das armadilhas de outros processos de membrana. Essa tecnologia utiliza diferença de pressão osmótica entre duas soluções para conduzir a água através de uma membrana semipermeável (CATH, CHILDRESS e ELIMELECH, 2006), sendo capaz de concentrar compostos bioativos termolábeis por meio de uma membrana semipermeável não porosa, sem sujar a membrana e nem deteriorar o composto bioativo (RAGHAVARAO *et al.*, 2005; BABU *et al.*, 2006).

O uso da solução de tração de alta pressão osmótica é uma característica exclusiva da OD em comparação com o processo de membrana acionado por pressão, como osmose reversa e nanofiltração (CHEKLI *et al.*, 2012). Ambrosi *et al.* (2020) descrevem uma unidade de escala de bancada de OD, apresentada na Figura 5. A unidade compreende um módulo de membrana de chapa plana, uma bomba peristáltica com duas cabeças de bomba, dois recipientes isolados – para soluções de alimentação e extração, com controle de temperatura – e um agitador magnético. Uma balança e um medidor de condutividade foram utilizados para monitorar o ganho de massa da solução de extração e a condutividade elétrica da solução de alimentação, respectivamente. O procedimento descrito foi realizado no modo de diafiltração descontínua, entrelaçando a concentração e as etapas de diluição. Essa estratégia manteria um gradiente de baixa concentração do soluto de extração e um gradiente de alta concentração do etanol entre a alimentação e a solução osmótica. Para manter a pressão osmótica da solução de extração constante ao longo do experimento, uma solução estoque é adicionada ao tanque de solução de extração no início de cada estágio de concentração.

As vantagens da OD são: maior fluxo e taxa de concentração, com requerimentos mínimos de incrustação e energia, temperatura ambiente e baixa pressão de operação (NAYAK e RASTOGI, 2010; AN *et al.*, 2019). A falta de pressão hidráulica apresenta vantagens ao simplificar o *design* da membrana, módulo e sistema, enquanto a tendência de incrustação relativamente baixa resulta em incrustações principalmente reversíveis em condições amenas (CATH, CHILDRESS e ELIMELECH, 2006; LI *et al.*, 2015b). Combinada com a capacidade de usar forças motrizes excepcionalmente altas com soluções de extração de alta concentração, a incrustação mais baixa resulta em uma estabilidade de fluxo maior, tornando a OD adequada para extrair água de soluções com alto teor de sólidos solúveis, como alimentos líquidos (SIDDIQUI *et al.*, 2018; RASTOGI, 2018).

Figura 5: Representação esquemática da unidade de osmose direta em escala de bancada [1: agitador magnético; 2: recipiente da solução de alimentação; 3: banho termostático; 4: bomba peristáltica; 5: módulo de membrana; 6: balança; 7: recipiente da solução de extração; 8: medidor de condutividade]



Fonte: Adaptado de Ambrosi *et al.* (2020).

Atualmente, a OD tem sido trabalhada como uma tecnologia de membrana emergente para a concentração de suco de frutas (NAYAK e RASTOGI, 2010). Na Tabela 5 são mostrados resultados publicados sobre o uso da osmose direta em sucos de frutas, cerveja, ovos e outros materiais vegetais. Embora a OD apresente muitas vantagens, trata-se de um processo de diluição e a falta de tecnologia adequada para reconcentrar a solução de extração limita a sua aplicação generalizada. Para obter um fluxo de água estável, é essencial fornecer uma concentração constante da solução de extração durante o processo de OD.

Tabela 5: Aplicações da osmose direta em processamento de alimentos

Tipo de alimento	Objetivo	Conclusão	Referência
Caldo de cana	Concentrar sacarose do caldo.	A OD demonstrou uma concentração eficiente do caldo de cana, alcançando uma concentração de sacarose de até 4 vezes à temperatura ambiente no modo de recirculação, com menos de 3% de perda de sacarose.	MONDAL <i>et al.</i> (2015).
Extrato de repolho roxo	Integrar a extração aquosa bifásica com processos de membrana para concentração de antocianinas.	A densidade da cor aumentou de 0,6 para 14,56 e a estabilidade das antocianinas (em relação ao pH e temperatura) foi maior no caso do processo que integrada a extração aquosa em duas fases com a OD.	JAMPANI e RAGHAVARAO (2015).
Suco de jabuticaba	Avaliar o processo de OD para concentração do suco.	A OD preservou o teor de antocianina e suas propriedades antioxidantes, embora tenha sido observado transporte de sódio no suco reconstituído.	SANT'ANNA <i>et al.</i> (2016).
Extrato de pêra de cacto	Avaliar a tecnologia de membrana para a concentração de pigmento betacianina empregando OD.	A OD se mostrou adequada para a concentração de betacianina usando membrana de acetato de celulose.	RAVICHANDRAN e EKAMBARAM (2018).

Tipo de alimento	Objetivo	Conclusão	Referência
Suco de maçã	Investigar um processo integrado de destilação por membrana de OD para concentração de suco.	O processo aplicado se mostrou sustentável, com escala promissora e aplicações práticas, não apenas para a concentração de suco, mas também para o processamento de outros alimentos e a concentração de biomoléculas.	AN <i>et al.</i> (2019).
Suco de toranja	Avaliar o desempenho da OD para concentração de suco.	A concentração do suco por OD foi bem-sucedida utilizando a membrana de composto de filme fino, com uma taxa de concentração estável e baixa permeabilidade ao sal.	KIM <i>et al.</i> (2019b).
Clara de ovo líquida	Avaliar o desempenho da OD para concentração de clara de ovo líquida.	A OD apresentou desempenho promissor para a concentração não térmica de clara de ovo líquida, o que é uma questão difícil na indústria de alimentos.	PEI <i>et al.</i> (2020).
Cerveja	Avaliar o uso da OD para desalcooolizar uma cerveja tradicional.	A OD pode ser uma alternativa para reduzir o teor de etanol de soluções aquosas, como bebidas e caldos de fermentação.	AMBROSI <i>et al.</i> (2020).

Fonte: Os autores.

CRIOCONCENTRAÇÃO

A criocongentração, também chamada de concentração por congelamento, é uma tecnologia não térmica emergente e de baixo impacto ambiental (ORELLANA-PALMA, GONZÁLEZ e PETZOLD, 2019). O processo consiste em duas etapas: congelar total ou parcialmente a amostra líquida para posterior separação da fração de gelo do concentrado. Sob essa condição, ao congelar uma amostra, os solutos são rejeitados da fase de gelo e se acumulam na interface sólido-líquida (PETZOLD *et al.*, 2017).

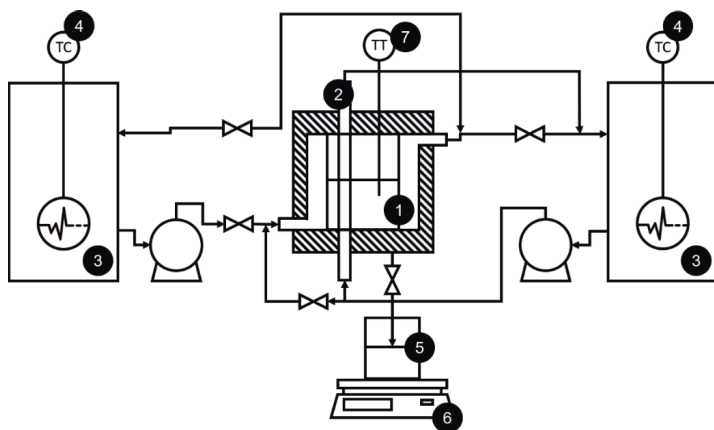
Diferentes técnicas de criocongentração estão disponíveis, tais como: cristalização por suspensão, criocongentração progressiva, criocongentração eutética ou por superfície raspada, criocongentração por refrigeração direcional ou de filme em queda e criocongentração de blocos (AIDER e HALLEUX, 2009). A criocongentração em bloco é uma tecnologia alternativa de baixo custo e de baixa complexidade (ADORNO *et al.*, 2016), baseada na aplicação de temperaturas abaixo do ponto de congelamento da água para formar cristais de água pura, concentrando assim os solutos (AIDER e HALLEUX, 2009).

Moreno *et al.* (2014) descrevem um sistema de criocongentração em blocos, conforme indicado na Figura 6. Nesse sistema, a amostra é colocada em um recipiente cilíndrico. O recipiente é um dispositivo de camisa dupla para o fluxo de fluidos de refrigeração e aquecimento. O fluido de resfriamento/aquecimento é uma mistura de etileno glicol e água (53% p / p) proveniente de dois banhos circulados. O fluido de troca de calor é bombeado para as camisas através de um sistema de dutos e válvulas. Depois que o fluido atinge a temperatura, ele é circulado pelas camisas para congelar a solução no interior. A transferência de calor ocorre na direção radial da parede interna (para congelamento paralelo ao descongelamento) ou da parede externa (para congelamento em contrafluxo ao descongelamento). Quando a amostra é congelada e a temperatura é

aproximadamente constante, o estágio de descongelamento é iniciado bombeando o fluido de aquecimento através da camisa externa. A válvula de saída é aberta e a fração líquida é separada em um recipiente coletor em uma balança.

A etapa final da crioconcentração é realizada por meio do descongelamento passivo, mas a eficiência geral da separação é relativamente baixa. Portanto, técnicas assistidas – como agitação, ultrassom, vácuo ou centrifugação – foram acopladas ao sistema para melhorar alguns parâmetros do processo – como eficiência, rendimento de soluto e porcentagem de concentrado (ORELLANA-PALMA, GONZÁLEZ e PETZOLD, 2019). Assim, a crioconcentração assistida por técnicas de descongelamento é um processo eficaz que tem sido aplicada a diferentes amostras de líquidos congelados. Na Tabela 6 são apresentados estudos publicados sobre a sua aplicação.

Figura 6: Instalação experimental para a crioconcentração em bloco [1: recipiente cilíndrico para a amostra; 2: camisa interna; 3: banhos circulados; 4: dutos e válvulas; 5: vaso coletor; 6: balança; 7: sensor de temperatura]



Fonte: Adaptado de Moreno *et al.* (2014).

Podemos observar nas publicações que a crioc Concentração pode ser empregada como uma poderosa técnica de concentração, geralmente usando ciclos consecutivos com alta eficiência de separação e qualidade da fração concentrada.

Tabela 6: Aplicações da crioc Concentração em processamento de alimentos

Tipo de alimento	Objetivo	Conclusão	Referência
Água	Investigar o grau de concentração de proteínas solúveis em água e determinar se o método é útil para separar proteínas do flúor.	O método de crioc Concentração pode ser usado para concentrar soluções de proteínas, mesmo aquelas com flúor.	QI <i>et al.</i> (2017).
Polpa de morango	Avaliar o uso de polpa de morango concentrada para melhorar os compostos fenólicos em iogurtes e investigar suas propriedades microbiológicas, físicas e químicas.	O uso de crioc Concentrado de morango mostrou-se uma excelente alternativa para a produção de uma bebida láctea com alta qualidade nutricional.	JASTER <i>et al.</i> (2018).
Extrato de couve	Concentrar o extrato de couve para aprimorar filmes finos biofotovoltaicos e sensíveis ao pH.	O extrato obtido apresentou excelente estabilidade fotoquímica e eletroquímica, podendo ser usado para desenvolver biotecnologias.	DEMIRBAS <i>et al.</i> (2018).

Tipo de alimento	Objetivo	Conclusão	Referência
Suco de romã	Incorporar compostos bioativos do suco crioconcentrado em fatias de maçã.	A desidratação osmótica assistida por vácuo de pulso e aquecimento ôhmico usando um suco crioconcentrado mostrou-se uma técnica combinada útil para adquirir amostras vegetais enriquecidas com compostos bioativos.	GUERRA-VALLE <i>et al.</i> (2018).
Suco de maçã	Produzir um concentrado de alta qualidade, com potencial uso pela indústria de alimentos, preservando os compostos fenólicos e a atividade antioxidante.	Os níveis de compostos fenólicos e a atividade antioxidante <i>in vitro</i> foram preservados, permitindo o uso dessa tecnologia em aplicações promissoras.	ZIELINSKI <i>et al.</i> (2019).
Suco de laranja	Avaliar a melhoria da crioconcentração centrífuga pela recuperação das frações de gelo.	As amostras de recuperação de gelo aumentam a eficiência geral da técnica de crioconcentração centrífuga aplicada.	ORELLANA-PALMA, GONZÁLEZ e PETZOLD (2019).

Tipo de alimento	Objetivo	Conclusão	Referência
Suco de batata	Avaliar o efeito de métodos de tratamento selecionados sobre as atividades antioxidantes e citotóxicas dos resíduos obtidos como subproduto da produção de amido de batata.	A crioconcentração não afetou a atividade citotóxica do suco em nenhuma das linhas celulares utilizadas nos testes, mas afetou as propriedades antioxidantes e o conteúdo de glicocalcóides.	KOWALCZEWSKI <i>et al.</i> (2019).
Suco de maçã	Avaliar o efeito do crioconcentração centrífuga em bloco na proteção de valiosos atributos de qualidade.	Os parâmetros físico-químicos, compostos bioativos, atividade antioxidante, perfil volátil e propriedades sensoriais foram preservados.	ORELLANA-PALMA <i>et al.</i> (2020).

Fonte: Os autores.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A crescente demanda pela substituição da evaporação na indústria de alimentos incentiva a busca contínua por técnicas convenientes de concentração. Existem tecnologias emergentes que podem ser usadas para melhorar a concentração de alimentos, a fim de aumentar sua eficácia. Várias tecnologias de membrana foram estudadas recentemente para a concentração de bioativos em bebidas como sucos de frutas. Os processos de membrana incluem nanofiltração, ultrafiltração, microfiltração, osmose reversa e osmose direta, e suas aplicações foram relatadas na literatura. Entre os sistemas de membrana, a nanofiltração, a ultrafiltração e a microfiltração são processos de

peneiração molecular utilizados principalmente para a clarificação de sucos na indústria de alimentos. O uso de osmose – reversa e direta – na concentração de alimentos líquidos é muito promissor, assim como sua utilização para desalcoolização de bebidas e dessalinização de água. Já a crioconcentração pode ser usada para concentrar compostos bioativos em sucos e extratos. A pesquisa bibliográfica demonstrou que muitas tecnologias emergentes podem ser usadas para concentrar compostos bioativos aprimorando a funcionalidade dos alimentos líquidos.

Referências

ABD-RAZAK, N. H.; CHEW, Y. M. J.; BIRD, M. R. Membrane fouling during the fractionation of phytosterols isolated from orange juice. **Food and Bioproducts Processing**, v. 113, p. 10-21, 2019.

ACOSTA, O.; VAILLANT, F.; PEREZ, A. M.; DORNIER, M. Concentration of polyphenolic compounds in blackberry (*Rubus adenotrichos schlttdl.*) juice by nanofiltration. **Journal of Food Process Engineering**, v. 40, ID 12343, p. 1-7, 2017.

ADORNO, W. T.; REZZADORI, K.; AREND, G. D.; CHAVES, V. C.; REGINATTO, F. H.; DI LUCCIO, M.; PETRUS, J. C. C. Enhancement of phenolic compounds content and antioxidant activity of strawberry (*Fragaria × ananassa*) juice by block freeze concentration technology. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 52, n. 3, p. 781-787, 2016.

AIDER, M.; HALLEUX, D. Cryoconcentration technology in the bio-food industry: principles and applications. **LWT - Food Science and Technology**, v. 42, n. 3, p. 679-685, 2009.

AL-OBAIDI, M. A.; KARA- ZAIËTRI, C.; MUJTABA, I. M. Optimum design of a multi-stage reverse osmosis process for the production of highly concentrated apple juice. **Journal of Food Engineering**, v. 214, p. 47-59, 2017.

AMBROSI, A.; MOTKE, M. B.; SOUZA-SILVA, E. A.; ZINI, C. A.; MCCUTCHEON, J. R.; CARDOZO, N. S. M.; TESSARO, I. C. Beer dealcoholization by forward osmosis diafiltration. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 63, ID 102371, 2020.

AMRAN, N. A.; SAMSURI, S.; SAFIEI, N. Z.; ZAKARIA, Z. Y.; JUSOH, M. Parametric study on the performance of progressive cryo-concentration system. **Journal Chemical Engineering Communications**, v. 203, n. 7, p. 957-975, 2016.

AN, X.; HU, Y.; WANG, N.; ZHOU, Z.; LIU, Z. Continuous juice concentration by integrating forward osmosis with membrane distillation using potassium sorbate preservative as a draw solute. **Journal of Membrane Science**, v. 573, p. 192-199, 2019.

AREND, G. D.; ADORNO, W. T.; REZZADORI, K.; DI LUCCIO, M.; CHAVES, V. C.; REGINATTO, F. H.; PETRUS, J. C. C. Concentration of phenolic compounds from strawberry (*Fragaria X ananassa Duch*) juice by nanofiltration membrane. **Journal of Food Engineering**, v. 201, p. 36-41, 2017.

ASSAWARACHAN, R.; NOOMHORM, A. Changes in color and rheological behavior of pineapple concentrate through various evaporation methods. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, v. 3, n. 1, p. 74-84, 2010.

BABU, B. R.; RASTOGI, N. K.; RAGHAVARAO, K. S. M. S. Effect of process parameters on transmembrane flux during direct osmosis. **Journal of Membrane Science**, v. 280, n. 1, p. 185-194, 2006.

BAGCI, P. O.; AKBAS, M.; GULEC, H. A.; BAGCI, U. Coupling reverse osmosis and osmotic distillation for clarified pomegranate juice concentration: use of plasma modified reverse osmosis membranes for improved performance. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 52, p. 213-220, 2019.

BHATTACHARJEE, C.; SAXENA, V. K.; DUTTA, S. Fruit juice processing using membrane technology: a review. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 43, p. 136-153, 2017.

BHATTACHARJEE, C.; SAXENA, V. K.; DUTTA, S. Analysis of fouling and juice quality in crossflow ultrafiltration of watermelon juice. **Food Science and Technology**, v. 38, n. 1, p. 71-76, 2018.

CAI, M.; XIE, C.; LV, Y.; YANG, K.; SUN, P. Changes in physico-chemical profiles and quality of apple juice treated by ultrafiltration and during its storage. **Food Science and Nutrition**, v. 8, p. 2913-2919, 2020.

CASSANO, A.; CONIDI, C.; DRIOLI, E. Clarification and concentration of pomegranate juice (*Punica granatum L.*) using membrane processes. **Journal of Food Engineering**, v. 107, n. 3-4, p. 366-373, 2011.

CASTRO-MUÑOZ, R.; CONIDI, C.; CASSANO, A. Membrane-based technologies for meeting the recovery of biologically active compounds from foods and their byproducts. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 22, p. 1-22, 2018.

CASTRO-MUÑOZ, R.; FÍLA, V. Membrane-based technologies as an emerging tool for separating high added-value compounds from natural products. **Trends in Food Science and Technology**, v. 82, p. 8-20, 2018.

CATH, T. Y.; CHILDRESS, A. E.; ELIMELECH, M. Forward osmosis: Principles, applications, and recent developments. **Journal of Membrane Science**, v. 281, p. 70-87, 2006.

CHAKRABORTY, S.; UPPALURI, R.; DAS, C. Combinatorial optimality of membrane morphology and feedstock during microfiltration of bottle gourd juice. **Innovate Food Science and Emerging Technologies**, v. 63, ID 102382, 2020.

CHEKLI, L.; PHUNTSHO, S.; SHON, H. K.; VIGNESWARAN, S.; KANDASAMY, J.; CHANAN, A. A review of draw solutes in forward osmosis process and their use in modern applications. **Desalination and Water Treatment**, v. 43, n. 1-3, p. 167-184, 2012.

COLANTUONO, A.; VITAGLIONE, P.; MANZO, N.; BLAIOTTA, G.; MONTEFUSCO, I.; MARRAZZO, A.; PIZZOLONGO, F.; ROMANO, R. Evaluation of microfiltration and heat treatment on the microbiological characteristics, phenolic composition and volatile compound profile of pomegranate (*Punica granatum L.*) juice. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 98, p. 3324-3332, 2018.

CONIDI, C.; CASSANO, A.; CAIAZZO, F.; DRIOLI, E. Separation and purification of phenolic compounds from pomegranate juice by ultrafiltration and nanofiltration membranes. **Journal of Food Engineering**, v. 195, p. 1-13, 2017.

DE OLIVEIRA, R. C.; DOCÊ, R. C.; DE BARROS, S. T. D. Clarification of passion fruit juice by microfiltration: Analyses of operating

parameters, study of membrane fouling and juice quality. **Journal of Food Engineering**, v. 111, p. 432-439, 2012.

DEMIRBAS, A.; GROSZMAN, K.; PAZMIÑO-HERNANDEZ, M.; VANEGAS, D. C.; WELT, B.; HONDRED, J. A.; GARLAND, N. T.; CLAUSSEN, J. C.; MCLAMORE, E. S. Cryoconcentration of flavonoid extract for enhanced biophotovoltaics and pH sensitive thin films. **Biotechnology Progress**, v. 34, n. 1, p. 206-217, 2018.

DESTANI, F.; NACCARATO, A.; TAGARELLI, A.; CASSANO, A. Recovery of aromatics from orange juice evaporator condensate streams by reverse osmosis. **Membranes**, v. 10, n. 5, p. 92, 2020.

DUSSAOULT-CHOUINARD, I.; BRITTEN, M.; POULIOT, Y. Improving rennet coagulation and cheesemaking properties of reverse osmosis skim milk concentrates by pH adjustment. **International Dairy Journal**, v. 95, p. 6-14, 2019.

FANEER, K. A.; ROHANI, R.; MOHAMMAD, A. W.; BA-ABBAD, M. M. Evaluation of the operating parameters for the separation of xylitol from a mixed sugar solution by using a polyethersulfone nanofiltration membrane. **Korean Journal of Chemical Engineering**, v. 34, n. 11, p. 2944-2957, 2017.

GHOSH, P.; GARG, S.; MOHANTY, I.; SAHOO, D.; PRADHAN, R. C. Comparison and storage study of ultra-filtered clarified jamun (*Syzygium cumini*) juice. **Journal of Food Science and Technology**, v. 56, n. 4, p. 1877-1889, 2019.

GIL, M.; ESTEVEZ, S.; KONTOUDAKIS, N.; FORT, F.; CANALS, J. M.; ZAMORA, F. Influence of partial dealcoholization by reverse osmosis on red wine composition and sensory characteristics. **European Food Research and Technology**, v. 237, p. 481-488, 2013.

GIRARD, B.; FUKUMOTO, L. R. Membrane processing of fruit juices and beverages: a review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 40, n. 2, p. 91-157, 2000.

GUERRA-VALLE, M. E.; MORENO, J.; LILLO-PÉREZ, S.; PETZOLD, G.; SIMPSON, R.; NUÑEZ, H. Enrichment of apple slices with bioactive compounds from pomegranate cryoconcentrated juice as an osmodehydration agent. **Journal of Food Quality**, ID 7241981, p. 1-9, 2018.

GULEC, H. A.; BAGCI, P. O.; BAGCI, U. Performance enhancement of ultrafiltration in apple juice clarification via low-pressure oxygen plasma: a comparative evaluation versus pre-flocculation treatment. **LWT - Food Science and Technology**, v. 91, p. 511-517, 2018.

GUO, H.; LI, Z.; HUANG, J.; ZHOU, R.; WU, C.; JIN, Y. Microfiltration of soy sauce: efficiency, resistance and fouling mechanism at different operating stages. **Separation and Purification Technology**, v. 240, ID 116656, 2020.

GUO, S.; LUO, J.; WU, Y.; QI, B.; CHEN, X.; WAN, Y. Separation and purification technology decoloration of sugarcane molasses by tight ultrafiltration: filtration behavior and fouling control. **Separation and Purification Technology**, v. 204, p. 66-74, 2018.

GWAK, G.; KIM, D. I.; HONG, S. New industrial application of forward osmosis (FO): precious metal recovery from printed circuit board (PCB) plant wastewater. **Journal of Membrane Science**, v. 552, p. 234-242, 2018.

HANSEN, S. F.; HOGAN, S. A.; TOBIN, J.; RASMUSSEN, J. T.; LARSEN, L. B.; WIKING, L. Microfiltration of raw milk for

production of high-purity milk fat globule membrane material. **Journal of Food Engineering**, v. 276, ID 109887, 2020.

ILAME, S. A.; SINGH, S. V. Application of membrane separation in fruit and vegetable juice processing: a review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 55, p. 964-987, 2015.

ILAME, S. A.; SINGH, S. V. Physico-chemical properties of ultrafiltered kinnow (mandarin) fruit juice. **Journal of Food Science and Technology**, v. 55, n. 6, p. 2189-2196, 2018.

JAMPANI, C.; RAGHAVARAO, K. S. M. S. Process integration for purification and concentration of red cabbage (*Brassica oleracea L.*) anthocyanins. **Separation and Purification Technology**, v. 141, p. 10-16, 2015.

JASTER, H.; AREND, G. D.; REZZADORI, K.; CHAVES, V. C.; REGINATTO, F. H.; PETRUS, J. C. C. Enhancement of antioxidant activity and physicochemical properties of yogurt enriched with concentrated strawberry pulp obtained by block freeze concentration. **Food Research International**, v. 104, p. 119-125, 2018.

JULIAN, H.; YAOHANNY, F.; DEVINA, A.; PURWADI, R.; WENTEN, I. G. Apple juice concentration using submerged direct contact membrane distillation (SDCMD). **Journal of Food Engineering**, v. 202, ID 109807, 2020.

JUSOH, M.; YUNUS, R. M.; HASSAN, M. A. A. Development of a new crystallisation chamber for a progressive freeze concentration system. **Recent Advances in Technologies**, v. 33, p. 587-600, 2009.

KESHANI, S.; CHUAH, L.; NOUROUZI, M. M.; RUSSLY, A. R.; JAMILAH, B. Optimization of concentration process on pomelo

fruit juice using response surface methodology (RSM). **International Food Research Journal**, v. 17, p. 733-742, 2010.

KHEMAKHEM, I.; GARGOURI, O. D.; DHOUB, A.; AYADI, M. A.; BOUAZIZ, M. Oleuropein rich extract from olive leaves by combining microfiltration, ultrafiltration and nanofiltration. **Separation and Purification Technology**, v. 172, p. 310-317, 2017.

KIM, I.; DHUNGANA, S. K.; PARK, Y.; KIM, J.; SHIN, D. Dealcoholization of Korean traditional rice wine, takju, combining thermal, bentonite clarification or reverse osmosis treatment. **Food Science and Biotechnology**, v. 28, n. 5, p. 1421-1431, 2019a.

KIM, D. I.; GWARK, G.; ZHAN, M. I. N.; HONG, S. Sustainable dewatering of grapefruit juice through forward osmosis: improving membrane performance, fouling control, and product quality. **Journal of Membrane Science**, v. 578, p. 53-60, 2019b.

KOWALCZEWSKI, P. L.; OLEJNIK, A.; BIALAS, W.; KUBIAK, P.; SIGER, A.; NOWICKI, M.; LEWANDOWICZ, G. Effect of thermal processing on antioxidant activity and cytotoxicity of waste potato juice. **Open Life Science**, v. 14, p. 150-157, 2019.

LEARBUCH, K. L. G.; LUT, M. C.; LIU, G.; SMIDT, H.; VAN DER WIELEN, P. W. J. J. Legionella growth potential of drinking water produced by a reverse osmosis pilot plant. **Water Research**, v. 157, p. 55-63, 2019.

LI, W.; LING, G.; LEI, F.; LI, N.; PENG, W.; LI, K.; LU, H.; HANG, F.; ZHANG, Y. Ceramic membrane fouling and cleaning during ultrafiltration of limed sugarcane juice. **Separation and Purification**, v. 190, p. 9-24, 2018a.

LI, C.; MA, Y.; LI, H.; PENG, G. Concentration of polyphenolic compounds from grape seed by nanofiltration technology. **International Journal of Food Engineering**, ID 20170286, p. 1-11, 2018b.

LI, C.; MA, Y.; LI, H.; PENG, G. Exploring the nanofiltration mass transfer characteristic and concentrate process of procyanidins from grape juice. **Food Science and Nutrition**, v. 7, p. 1884-1890, 2019b.

LI, F.; YAN, H.; LI, W.; ZHAO, J.; MING, J. A comparative study of the effects of ultrafiltration membranes and storage on phytochemical and color properties of mulberry juice. **Journal of Food Science**, v. 84, n. 12, p. 3565-3572, 2019a.

LI, Y.; SHAHBAZI, A. Lactic acid recovery from cheese whey fermentation broth using combined ultrafiltration and nanofiltration membranes. In: Twenty-Seventh Symposium on Biotechnology for Fuels and Chemicals. **Humana Press**, p. 985-996, 2006.

LI, Y.; QI, B.; LUO, J.; KHAN, R.; WAN, Y. Separation and concentration of hydroxycinnamic acids in alkaline hydrolyzate from rice straw by nanofiltration. **Separation and Purification Technology**, v. 149, p. 315-321, 2015a.

LI, Z. Y.; VALLADARES LINARES, R.; BUCS, S.; AUBRY, C.; GHAFFOR, N.; VROUWENVELDER, J. S.; AMY, G. Calcium carbonate scaling in seawater desalination by ammonia-carbon dioxide forward osmosis: mechanism and implications. **Journal of Membrane Science**, v. 481, p. 36-43, 2015b.

LIM, J.; SCHOLLES, C. A.; DUMÉE, L. F.; KENTISH, S. E. Nanofiltration for the concentration of heat stable salts prior to MEA reclamation. **International Journal of Greenhouse Gas Control**, v. 30, p. 34-41, 2014.

LIMA, E. M. F.; MADALÃO, M. C. M.; BERINCÁ, D. B.; SARAIVA, P. I.; SILVA, S. H. Effect of encapsulating agent and drying air temperature on the characteristics of microcapsules of anthocyanins and polyphenols from juçara (*Euterpe edulis Martius*). **International Food Research Journal**, v. 26, n. 2, p. 607-617, 2019.

LOIZZO, M. R.; SICARI, V.; TUNDIS, R.; LEPORINI, M.; FALCO, T.; CALABRÒ, V. The influence of ultrafiltration of *Citrus limon L. Burm. Cv Femminello Comune* juice on its chemical composition and antioxidant and hypoglycemic properties. **Antioxidants**, v. 8, n. 23, p. 1-10, 2019.

MAHER, A.; SADEGHI, M.; MOHEB, A. Heavy metal elimination from drinking water using nanofiltration membrane technology and process optimization using response surface methodology. **Desalination**, v. 352, p. 166-173, 2014.

MIRSAEEDGHAZI, H.; EMAM-DJOMEH, Z.; MOUSAVI, S. M.; AROUJALIAN, A.; NAVIDBAKHS, M. Clarification of pomegranate juice by microfiltration with pvdf membranes. **Desalination**, v. 264, p. 243-248, 2010.

MOEJES, S. N.; VAN WONDEREN, G. J.; BITTER, J. H.; VAN BOXTEL, A. J. B. Assessment of air gap membrane distillation for milk concentration. **Journal of Membrane Science**, v. 594, n. 117403, 2020.

MOHAMMAD, A. W.; NG, C. Y.; LIM, Y. P.; NG, G. H. Ultrafiltration in food processing industry: review on application, membrane fouling, and fouling control. **Food and Bioprocess Technology**, v. 5, n. 4, p. 1143-1156, 2012.

MONDAL, D.; NATARAJ, S. K.; REDDY, A. V. R.; GHARA, K. K.; MAITI, P.; UPADHYAY, S. C.; GHOSH, P. K. Four-fold concentration of sucrose in sugarcane juice through energy efficient forward osmosis using sea bittern as draw solution. **RSC Advances**, v. 5, p. 17872-17878, 2015.

MORENO, F. L.; RAVENTÓS, M.; HERNÁNDEZ, E.; RUIZ, Y. Block freeze-concentration of coffee extract: effect of freezing and thawing stages on solute recovery and bioactive compounds. **Journal of Food Engineering**, v. 120, p. 158-166, 2014.

NAYAK, C. A.; RASTOGI, N. K. Forward osmosis for the concentration of anthocyanin from *Garcinia indica* Choisy. **Separation and Purification Technology**, v. 71, n. 2, p. 144-151, 2010.

NAZIR, A.; KHAN, K.; MAAN, A.; ZIA, R.; GIORNO, L.; SCHROËN, K. Membrane separation technology for the recovery of nutraceuticals from food industrial streams. **Trends in Food Science and Technology**, v. 86, p. 426-438, 2019.

ORELLANA-PALMA, P.; GONZÁLEZ, Y.; PETZOLD, G. Improvement of centrifugal cryoconcentration by ice recovery applied to orange juice. **Chemical Engineering and Technology**, v. 42, n. 4, p. 925-931, 2019.

ORELLANA-PALMA, P.; LAZO-MERCADO, V.; GIANELLI, M. P.; HERNÁNDEZ, E.; ZÚÑIGA, R. N.; PETZOLD, G. Influence of cryoconcentration on quality attributes of apple juice (*Malus Domestica cv. Red Fuji*). **Applied Sciences**, v. 10, n. 3, p. 959, 2020.

PANIGRAHI, C.; KARMAKAR, S.; MONDAL, M.; MISHRA, H. N.; DE, S. Modeling of permeate flux decline and permeation of sucrose during microfiltration of sugarcane juice using a hollow-fiber

membrane module. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 49, p. 92-105, 2018.

PEI, J.; PEI, S.; WANG, W.; LI, S.; YOURAVONG, W.; LI, Z. Athermal forward osmosis process for the concentration of liquid egg white: process performance and improved physicochemical property of protein. **Food Chemistry**, v. 312, ID 126032, 2020.

PETZOLD, G.; ORELLANA, P.; MORENO, J.; CUEVAS, C. Process parameters of vacuum-assisted freeze concentration. **Chemical Engineering Transactions**, v. 57, p. 1789-1794, 2017.

PHAM, D.; RISTIC, R.; STOCKDALE, V. J.; JEFFERY, D. W.; TUKE, J.; WILKINSON, K. Influence of partial dealcoholization on the composition and sensory properties of Cabernet Sauvignon wines. **Food Chemistry**, v. 325, n. 126869, 2020.

QI, X.; XU, J.; ZHAO, K.; GUO, H.; MA, L. Freeze concentration of proteins in antarctic krill wash water. **Journal of Ocean University of China**, v. 16, n. 6, p. 1109-1114, 2017.

QUIST-JENSEN, C. A.; MACEDONIO, F.; CONIDI, C.; CASSANO, A.; ALJLIL, S.; ALHARBI, O.; DRIOLI, E. Direct contact membrane distillation for the concentration of clarified orange juice. **Journal of Food Engineering**, v. 187, p. 37-43, 2016.

RAGHAVARAO, K. S. M. S.; NAGARAJ, N.; PATIL, G. Athermal membrane processes for the concentration of liquid foods and natural colours. In: SUN, Da-Wen (Org.). **Emerging technologies in food processing**. 2. ed. Londres: Academic Press, Elsevier, 2005. p. 251-278.

RASTOGI, N. K. Reverse osmosis and forward osmosis for the concentration of fruit juices. *In: Fruit juice: extration, composition, quality and analysis*. **Elsevier**, p. 241-259, 2018.

RAVICHANDRAN, R.; EKAMBARAM, N. Assessment of factors influencing the concentration of betacyanin from *Opuntia ficus-indica* using forward osmosis. **Journal of Food Science and Technology**, v. 55, n. 7, p. 2361-2369, 2018.

REIS, R.; DUMÉE, L. F.; TARDY, B. L.; DAGASTINE, R.; ORBELL, J. D.; SCHUTZ, J. A.; DUKE, M. C. Towards enhanced performance thin-film composite membranes via surface plasma modification. **Scientific Reports**, v. 6, ID 29206, 2016.

SANT'ANNA, V.; GURAK, P. D.; DE VARGAS, N. S.; DA SILVA, M. K.; MARCZAK, L. D. F.; TESSARO, I. C. Jaboticaba (*Myrciaria jaboticaba*) juice concentration by forward osmosis. **Separation Science and Technology**, v. 51, n. 10, p. 1708-1715, 2016.

SANTOS, L. F.; VARGAS, B. K.; BERTOL, C. D.; BIDUSKI, B.; BERTOLIN, T. E.; SANTOS, L. R.; BRIÃO, V. B. Clarification and concentration of yerba mate extract by membrane technology to increase shelflife. **Food and Bioproducts Processing**, v. 122, p. 22-30, 2020.

SHEN, Q.; XU, S.; DONG, Z.; ZHANG, H.; XU, Z.; TANG, C. Y. Polyethyleneimine modified carbohydrate doped thin film composite nanofiltration membrane for purification of drinking water. **Journal of Membrane Science**, v. 610, ID 118220, 2020.

SHI, C.; RACKEMANN, D. W.; MOGHADDAM, L.; WEI, B.; LI, K.; LU, H.; XIE, C.; HANG, F.; DOHERTY, W. O. S. Ceramic membrane filtration of factory sugarcane juice: effect of pretreatment on

permeate flux, juice quality and fouling. **Journal of Food Engineering**, v. 243, p. 101-113, 2019.

SHON, H. K.; PHUNTSO, S.; CHAUDHARY, D. S.; VIGNESWARAN, S.; CHO, J. Nanofiltration for water and wastewater treatment – a mini review. **Drinking Water Engineering and Science**, v. 6, p. 47-53, 2013.

SIDDIQUI, F. A.; SHE, Q.; FANE, A. G.; FIELD, R. W. Exploring the differences between forward osmosis and reverse osmosis fouling. **Journal of Membrane Science**, v. 565, p. 241-253, 2018.

SOODAM, K.; GUINEE, T. P. The case for milk protein standardisation using membrane filtration for improving cheese consistency and quality. **International Journal of Dairy Technology**, v. 71, p. 277-291, 2018.

SOUTO, K. M.; SILVA, A.; SILVA, A. A.; CARVALHO, L. H.; COSTA, A. C. F. M.; LIRA, H. L. Classificação de membranas cerâmicas e poliméricas quanto à faixa de porosidade utilizando um sistema de separação óleo/água em escala de laboratório. **Revista Matéria**, v. 10, n. 3, p. 437-446, 2005.

UYTTEBROEK, M.; VANDEZANDE, P.; VAN DAEL, M.; VLOEMANS, S.; NOTEN, B.; BONGERS, B.; PORTO-CARRERO, W.; UNAMUNZAGA, M. M.; BULUT, M.; LEMMENS, B. Concentration of phenolic compounds from apple pomace extracts by nanofiltration at lab and pilot scale with a techno-economic assessment. **Journal of Food Process Engineering**, v. 41, ID 12629, p. 1-10, 2018.

VIEIRA, A. H.; BALTHAZAR, C. F.; GUIMARAES, J. T.; ROCHA, R. S.; PAGANI, M. M.; ESMERINO, E. A.; SILVA, M. C.; RAICES,

R. S. L.; TONON, R. V.; CABRAL, L. M. C.; WALTER, E. H. M.; FREITAS, M. Q.; CRUZ, A. G. Advantages of microfiltration processing of goat whey orange juice beverage. **Food Research International**, v. 132, ID 109060, 2020.

VU, T.; LEBLANC, J.; CHOU, C. C. Clarification of sugarcane juice by ultrafiltration membrane: toward the direct production of refined cane sugar. **Journal of Food Engineering**, v. 264, ID 109682, 2020.

WANG, F.; OWUSU-FORDJOUR, M.; XU, L.; DING, Z.; GU, Z. Immobilization of laccase on magnetic chelator nanoparticles for apple juice clarification in magnetically stabilized fluidized bed. **Frontiers in Bioengineering and Biotechnology**, v. 8, n. 589, 2020.

WANG, Y. N.; WANG, R.; LI, W.; TANG, C. Y. Whey recovery using forward osmosis – evaluating the factors limiting the flux performance. **Journal of Membrane Science**, v. 533, p. 179-189, 2017.

WEAVER, N. J.; WILKIN, G. S.; MORISON, K. R.; WATSON, M. J. Minimizing the energy requirements for the production of maple syrup. **Journal of Food Engineering**, v. 273, ID 109823, 2020.

WENTEN I. G., KHOIRUDDIN. Reverse osmosis applications: prospect and challenges. **Desalination**, v. 391, p. 112-125, 2016.

XIONG, Q.; LIU, J.; LIU, M.; SHEN, C.; YU, X.; WU, C.; HUANG, J.; ZHOU, R.; JIN, Y. Fouling analysis and permeate quality evaluation of mulberry wine in microfiltration process. **The Royal Society of Chemistry**, v. 10, p. 655-665, 2020.

YILMAZ, E.; BAGCI, P. O. Ultrafiltration of broccoli juice using polyethersulfone membrane: fouling analysis and evaluation of the

juice quality. **Food and Bioprocess Technology**, v. 12, p. 1273-1283, 2019.

ZHAO, D. J.; LAU, E.; HUANG, S.; MORARU, C. I. The effect of apple cider characteristics and membrane pore size on membrane fouling. **LWT-Food Science and Technology**, v. 64, n. 2, p. 974-979, 2015.

ZIELINSKI, A. A. F.; ZARDO, D. M.; ALBERTI, A.; BORTOLINI, D. G.; BENVENUTTI, L.; DEMIATE, I. M.; NOGUEIRA, A. Effect of cryoconcentration process on phenolic compounds and antioxidant activity in apple juice. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 99, p. 2786-2792, 2019.

Tecnologias emergentes de conservação de alimentos

Magno Fonseca Santos
Mateus da Silva Junqueira
Luciano José Quintão Teixeira

INTRODUÇÃO

A abundância de alimentos durante a colheita fez surgir a necessidade de se desenvolver métodos capazes de conservar os alimentos para serem consumidos na entressafra. Portanto, o homem vem desenvolvendo e aperfeiçoando as formas de oferecer alimentos em quantidades suficientes, de forma segura, com qualidade sensorial, alto valor nutricional e praticidade (VASCONCELOS e MELO FILHO, 2010). Os processos de conservação dos alimentos, sejam isolados ou em associação, visam evitar essas alterações e objetivam, sobretudo, o aumento da vida útil e a melhoria da qualidade microbiológica e sanitária dos alimentos (SOUSA *et al.*, 2012).

O tratamento térmico é, sem dúvida, um dos métodos mais eficientes de conservação dos alimentos. Contudo, ele provoca uma série de alterações físicas, químicas, sensoriais e nutricionais, tais como a mudança de textura, de cor, de sabor, de aroma e perda de

vitaminas, dentre outras (, facilitando o processo de extração dos elementos (BENDICHO *et al.*, 2012). Já o campo elétrico pulsado consiste em submeter o produto a campos elétricos pulsados de alta intensidade (na ordem de 5 a 55 kV.cm⁻¹) com pulsos elétricos de curta duração (ms ou μs), repetidos muitas vezes (SOLIVA-FORTUNY *et al.*, 2009).

Uma particularidade do processamento não térmico refere-se ao fato de que ele geralmente é seletivo, atuando mais em certos compostos ou microrganismos (VEGA-MERCADO *et al.*, 1997). Cada uma das tecnologias de processamento não térmico possui aplicações específicas, dependendo do tipo de alimento a ser processado. Este capítulo descreve as tecnologias emergentes que podem ser usadas para melhorar ou substituir as tecnologias tradicionais de conservação alimentos, a fim de aumentar a sua eficácia e os seus usos no presente e no futuro.

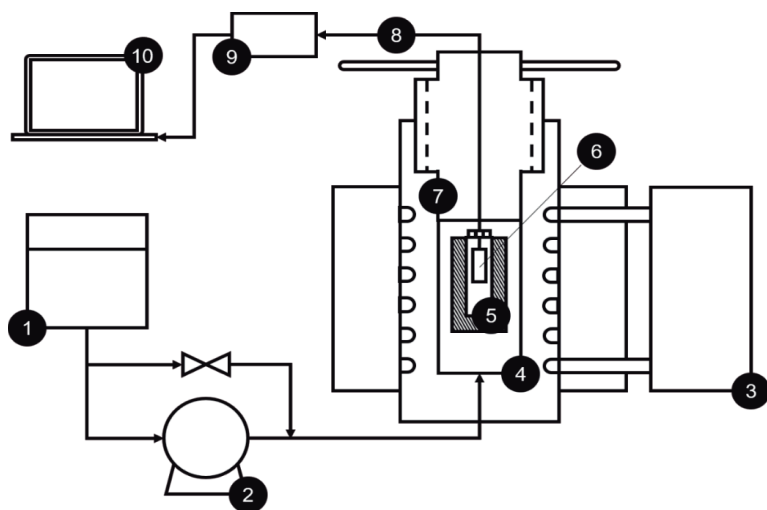
PROCESSAMENTO DE ALTA PRESSÃO

O processamento de alta pressão (AP) é um dos métodos inovadores de processamento de alimentos não térmicos de crescimento mais rápido, usado comercialmente (MARSZALEK, WOŹNIAK e SKAŹPSKA, 2016; PUTNIK *et al.*, 2019). A AP é um método para preservar alimentos e tem o potencial de reter ou melhorar a bioacessibilidade e biodisponibilidade de compostos nutricionais e antioxidantes, devido a modificações microestruturais (VÁRQUEZ-GUTIÉRREZ *et al.*, 2013).

A AP permite que a vida útil dos produtos alimentícios sob refrigeração seja aumentada até alguns meses, aplicando-se pressões de até 600 MPa ou pressão mais baixa em um sistema de múltiplos pulsos (MARSZALEK, WOŹNIAK E SKAŹPSKA, 2016; PUTNIK *et al.*, 2019). Shao *et al.* (2010) descrevem um sistema de AP que consiste em uma câmara de pressão cilíndrica, um circulador de refrigeração e um registrador de dados. No diagrama do sistema de AP, representado na

Figura 7, podemos observar que para manter uma temperatura estável durante o tratamento utiliza-se um isolador cilíndrico de parede espessa. O isolador é equipado com um pistão móvel, de plástico, no lado inferior, para que ele possa se mover conforme o fluido for pressurizado e comprimido no interior da câmara. Além disso, há um sistema de plugue roscado na parte superior, através dos termopares.

Figura 7: Diagrama esquemático do sistema experimental de alta pressão [1: reservatório médio de alta pressão; 2: bomba de alta pressão; 3: banho d'água; 4: termopar médio do vaso; 5: termopar médio do isolador; 6: termopar da amostra; 7: tampa; 8: fio do termopar; 9: registrador de dados; 10: computador]



Fonte: Adaptado de Shao *et al.* (2010).

Esse processamento prolonga a vida útil dos alimentos e inativa, por consequência, microrganismos e algumas enzimas. A técnica também pode reduzir os danos a compostos lábeis ao calor nos alimentos induzidos pelo tratamento térmico (CHANG *et al.*, 2017; ROOBAB *et al.*, 2018). Na Tabela 7 são apresentadas algumas aplicações da AP.

A baixa temperatura e o curto tempo de tratamento do processamento de AP resultam em mudanças mínimas na aparência, no sabor, em compostos bioativos e em nutrientes nos alimentos, mas existe uma preocupação relacionada à segurança alimentar.

Tabela 7: Aplicações do processamento de alta pressão em processamento de alimentos

Tipo de alimento	Objetivo	Conclusão	Referência
Suco de <i>sabah snake grass</i>	Investigar o efeito da AP em diferentes pressões nas propriedades físico-químicas, microbiológicas e nos atributos sensoriais do suco durante 36 dias de armazenamento.	O tratamento com AP a 400 MPa foi o tratamento de pressão mais eficaz para o processamento do suco.	HASNI <i>et al.</i> (2020).
Suco de romã	Investigar os efeitos da AP nas qualidades microbiana, nutricional e sensorial do suco.	A AP combinada ao baixo tratamento térmico demonstrou potencial para pasteurização de suco, mantendo um alto padrão de qualidade.	BENJAMIN e GAMRASNI (2020).
Suco de laranja	Estudar a influência da AP e da pasteurização nas propriedades físico-químicas e na bioacessibilidade <i>in vitro</i> de carotenoides e flavonoides no suco.	A AP alterou a cor do suco, mas melhorou a nebulosidade das amostras, aumentou a bioacessibilidade e o valor dos carotenoides.	STINCO <i>et al.</i> (2020).

Tipo de alimento	Objetivo	Conclusão	Referência
Bagaço de arônia	Preparar milk-shakes enriquecidos com polifenóis, adicionando bagaço de arônia ao leite e usando a AP para melhorar a extração de polifenóis a partir do bagaço.	A maior retenção de compostos fenólicos e capacidade antioxidante com sobrevivência microbiológica mínima foi encontrada a 500 MPa por 10 min e 10% (p / v) de bagaço.	DIEZ-SÁNCHEZ (2020).
Suco misto de manga e cenoura	Elaborar um suco processado termicamente e por AP adicionado de <i>Lactobacillus plantarum</i> .	A AP mostrou-se mais eficaz que o processo térmico, a matriz mostrou-se capaz de manter a viabilidade de <i>L. plantarum</i> e poderia ser uma alternativa para produtos lácteos.	DE OLIVEIRA <i>et al.</i> (2020).
Água de coco	Investigar o uso da AP para a inativação de patógenos vegetativos e microbiota de deterioração.	Amostras tratadas com AP a 593 MPa por 3 min produziram produto microbiologicamente estável durante o armazenamento a 4 °C por 120 dias, sem odores e sabor semelhante ao da amostra fresca.	RAGHUBEER <i>et al.</i> (2020).

Tipo de alimento	Objetivo	Conclusão	Referência
Suco de cenoura	Determinar a influência dos tratamentos de AP no perfil polifenólico, atividade da oxidoreductase, cor e índice de escurecimento do suco.	A maior inativação das enzimas polifenoloxidase foi obtida em 300 MPa e das enzimas peroxidase a 600 MPa, trabalhando no modo estático, mudanças na cor e no índice de escurecimento foram observadas em todos os sucos.	SZCZEPÁNSKA <i>et al.</i> (2020).
Suco de maçã	Avaliar o uso da AP na redução de fungos deteriorantes comumente encontrados no suco e determinar o efeito da atividade da água e do pH.	Leveduras e fungos filamentosos mostraram-se sensíveis a pressões iguais ou superiores a 450 MPa por 1,5 min ou mais, e o processamento em atividade de água mais alta e pH mais baixo resultou em um prazo de validade refrigerado, de 6 meses ou mais, do suco.	BUERMAN, WOROBO e PADILLA-ZAKOUR (2020).

Fonte: Os autores.

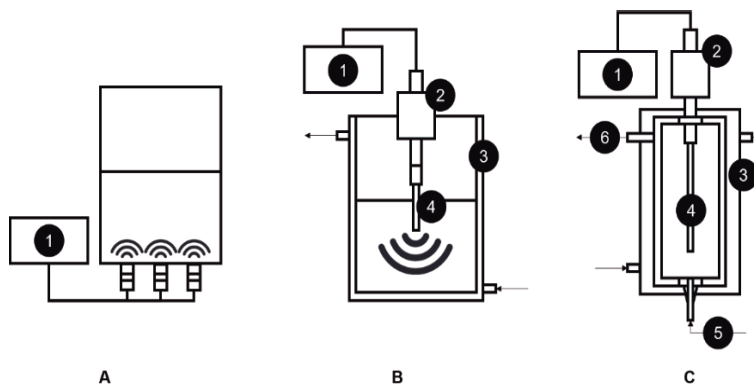
TÉCNICAS ASSISTIDAS POR ULTRASSOM

As técnicas assistidas por ultrassom (TAU) são uma alternativa não térmica poderosa e emergente aos métodos tradicionais para a extração de compostos antioxidantes de frutas e desintegração celular controlada (MEDINA-TORRES *et al.*, 2017; BACKES *et al.*, 2018; NIPORNRAM *et al.*, 2018; VÁZQUEZ-ESPINOSA *et al.*, 2019). As

TAU baseiam-se na aplicação de ondas ultrassônicas (20 a 100 kHz), as quais se propagam na polpa e causam cavitação acústica, resultando na geração de bolhas de cavitação, seguidas por um colapso imediato das bolhas (AWAD *et al.*, 2012; MAJID, NAYIK e NANDA, 2015; MONTERO-CALDERON *et al.*, 2019). As ondas mecânicas geradas dentro da polpa são formadas por uma combinação de baixas e altas pressões, conhecidas como rarefação e compressão (TIWARI *et al.*, 2008). O colapso imediato das bolhas resultará em temperaturas extremas locais, forças de cisalhamento e produção de radicais livres, levando à ruptura das membranas celulares, sendo responsáveis pela inativação de enzimas e microrganismos (AWAD *et al.*, 2012; MAJID, NAYIK e NANDA, 2015; MONTERO-CALDERON *et al.*, 2019). Essa ação facilita a penetração do solvente nas células, melhorando a transferência de massa e liberando compostos bioativos (MONTERO-CALDERON *et al.*, 2019).

O ultrassom pode ser usado em vários processos na indústria de alimentos, principalmente na homogeneização de alimentos líquidos. Nos sucos de frutas, os efeitos mecânicos do processamento de ultrassom ocorrem devido à alta energia fornecida: as partículas suspensas estão sujeitas à erosão da superfície (por colapso da cavitação) e redução do tamanho (como, por exemplo, por fissão por colisão entre partículas) (CAMPOLI *et al.*, 2018). Segundo Zinoviadou *et al.* (2015), o equipamento de ultrassom usado para processo descontínuo (mais comum) ou contínuo possui uma câmara de tratamento contendo uma fonte de ultrassom capaz de gerar amplitudes de vibração da ordem de várias dezenas de micras, juntamente com uma caixa de adaptação de impedância e uma unidade de geração eletrônica. Esta unidade consiste em duas partes: um amplificador de potência e um sistema para controlar e monitorar a frequência de ressonância, que mantém a potência aplicada ao transdutor estável durante o processo. A **figura 8** mostra alguns tipos comuns de sistemas ultrassônicos empregados para processamento de alimentos fluidos.

Figura 8: Vários tipos de sistemas ultrassônicos: (A) banho ultrassônico; (B) sistema de sonda do tipo batelada; (C) sistema de sonda contínua usado para processamento de alimentos líquidos [1: gerador ultrassônico; 2: transdutor ultrassônico; 3: vaso encamisado; 4: sonda ultrassônica; 5: entrada da amostra; 6: saída da amostra]



Fonte: Adaptado de Zinoviadou *et al.* (2015).

As TAU dão atenção crescente a operações fáceis, menor consumo de energia e água, menor tempo de processamento, baixo consumo de solvente, menor geração de compostos tóxicos, método aprimorado, melhor qualidade de extração e excelente preservação das características nutricionais, além de apresentar perfil sensorial (RASTOGI, 2018; CHEN *et al.*, 2018), características que o tornam um método eficaz e mais ecológico para controle de qualidade (CHEN *et al.*, 2018). Na Tabela 8 são apresentadas algumas aplicações dessa tecnologia.

É relatado que o tratamento por ultrassom mantém as características nutricionais, sensoriais e funcionais dos alimentos sensíveis ao calor. Também melhora a vida útil e a segurança microbiana dos sucos de frutas.

Tabela 8: Aplicações das tecnologias assistidas por ultrassom em processamento de alimentos

Tipo de alimento	Objetivo	Conclusão	Referência
Suco de laranja	Avaliar a viabilidade do uso de CO ₂ supercrítico assistido por ultrassom em modo contínuo para a pasteurização não térmica do suco.	A tecnologia apresentada mostrou-se eficaz para a pasteurização microbiana e as condições moderadas do processo podem levar a um aumento na qualidade do suco.	PANIAGUA-MARTÍNEZ <i>et al.</i> (2018).
Amora preta	Avaliar e comparar a extração assistida por ultrassom e micro-ondas para a recuperação de compostos fenólicos totais e antocianinas totais.	Ambas as técnicas mostraram potencial bem-sucedido para a extração de compostos fenólicos totais e antocianinas totais, sem diferenças significativas.	ESPADA-BELLIDO <i>et al.</i> (2019).
Extrato de folhas	Investigar a técnica mais eficaz para extrair compostos fenólicos.	Os resultados do conteúdo de fenol e da capacidade antioxidante mostraram que a extração assistida por ultrassom foi o método de extração mais eficiente.	POLLINE <i>et al.</i> (2019).

Tipo de alimento	Objetivo	Conclusão	Referência
Casca de laranja	Avaliar o uso do ultrassom para extrair compostos bioativos.	As condições ideais para a extração assistida por ultrassom de compostos bioativos foram na potência de 400 W, um tempo de 30 min e etanol a 50% em água.	MONTERO-CALDERON <i>et al.</i> (2019).
Suco de cupuaçu	Estudar a influência da homogeneização assistida por ultrassom e goma arábica na estabilidade coloidal do suco.	O uso do ultrassom aumentou a biodisponibilidade do ácido ascórbico e dos compostos fenólicos, aumentando a qualidade nutricional do suco.	DA SILVA <i>et al.</i> (2019).
Suco de <i>sohiong</i>	Investigar o efeito sinérgico do ultrassom e do tratamento enzimático na extração para obter um rendimento máximo de suco.	O tratamento reduz significativamente o tempo de extração do suco em 22 min.	VIVEK, MISHRA e PRADHAN (2019).
Suco de manga	Avaliar a influência do poder e do tempo do ultrassom no efeito da esterilização com a ajuda do ultravioleta.	A segurança geral e a qualidade do suco foram aprimoradas enquanto as características sensoriais permaneceram estáveis.	WANG <i>et al.</i> (2020).

Tipo de alimento	Objetivo	Conclusão	Referência
Resíduo do processamento de tomates	Estabelecer novas fontes e técnicas de extração aprimoradas para a extração de pectina.	A extração de micro-ondas assistida por ultrassom mostrou-se um método eficiente de extração de pectina.	SENGAR <i>et al.</i> (2020).

Fonte: Os autores.

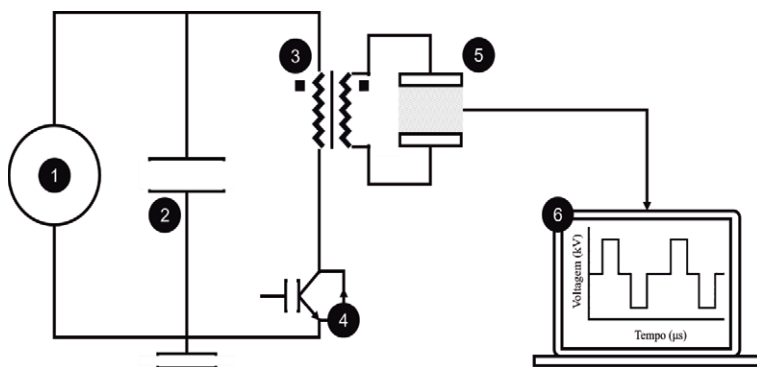
CAMPO ELÉTRICO PULSADO

A tecnologia de campo elétrico pulsado (CEP) é um dos marcos no desenvolvimento histórico das tecnologias de processamento de alimentos do século 21 (MISRA *et al.*, 2017). Em geral, intensidades de CEP que variam entre 0,5 e 2 kV/cm são usadas para materiais frescos; já materiais contendo grande quantidade de matéria seca requerem maior intensidade, em média 20 kV/cm (BOUSSETTA *et al.*, 2014; LIU, ZENG e NGADI, 2018).

O princípio do CEP consiste em desintegrar a estrutura da membrana celular para aumentar a extração. Quando um campo elétrico é aplicado a uma célula viva, um potencial elétrico passa pela membrana dessa célula. Com base na natureza dipolar das moléculas de membrana, o potencial elétrico separa as moléculas de acordo com a sua carga na membrana celular. Após exceder um valor crítico de aproximadamente 1 V de potencial transmembrana, ocorre a repulsão entre as moléculas portadoras de carga, formando poros em áreas fracas da membrana e causando um aumento drástico da permeabilidade. A eficácia do tratamento de CEP depende estritamente dos parâmetros do processo, incluindo força do campo elétrico, forma do pulso, largura do pulso, número de pulsos, energia específica do pulso e frequência (HEINZ, TOEPFL e KNORR, 2003; PUÉRTOLAS *et al.*, 2012).

De acordo com Zhang *et al.* (2021), o sistema de CEP consiste em uma fonte de alimentação de energia, um capacitor de armazenamento de energia, chave de força, transformador, câmara de tratamento, osciloscópio, sistema de controle e monitoramento de tensão e sensor de corrente e temperatura. O diagrama esquemático do sistema CEP é mostrado na Figura 9. Neste modelo, a câmara de tratamento de politetrafluoroetileno apresentava 200 mm de comprimento, 100 mm de largura e 100 mm de altura. Dois eletrodos paralelos de aço inoxidável com espessura de 1 mm, área de 100 cm², e a distância entre os eletrodos pode ser variada de 10 a 200 mm.

Figura 9: Diagrama esquemático do sistema de campo elétrico pulsado [1: fonte de alimentação; 2: capacitor de armazenamento de energia; 3: transformador; 4: chave de estado sólido de alta tensão; 5: câmara de tratamento; 6: osciloscópio]



Fonte: Adaptado de Zhang *et al.* (2021).

Em comparação ao processamento térmico tradicional, o CEP apresenta: vantagens notáveis de curto período, baixo aumento de temperatura e baixo consumo de energia (KUMARI *et al.*, 2017). Além disso, os produtos alimentícios tratados por CEP podem manter o sabor, a cor e o valor nutricional originais (BHAT *et al.*, 2019). Na Tabela 9 são apresentadas algumas aplicações dessa tecnologia.

Recentemente, o CEP tem sido utilizado para a extração em plantas, melhorando a liberação de compostos intracelulares do tecido vegetal com a ajuda do aumento da permeabilidade da membrana celular. O CEP também pode ser aplicável em materiais vegetais como um processo de pré-tratamento antes da extração convencional para reduzir o tempo de extração.

Tabela 9: Aplicações das tecnologias assistidas por ultrassom em processamento de alimentos

Tipo de alimento	Objetivo	Conclusão	Referência
Batata frita	Reduzir o teor de óleo pelo pré-tratamento CEP.	O pré-tratamento com CEP reduziu o teor de óleo das batatas fritas em 21,2% e a dureza e corânica foram significativamente melhoradas.	ZHANG <i>et al.</i> (2021).
Grãos usados em cervejaria	Extrair compostos fenólicos de grãos usados em cervejaria por CEP.	As concentrações de compostos fenólicos totais livre e ligados foram 2,7 e 1,7 vezes, respectivamente, maiores do que no caso da extração sem pré-tratamento de CEP.	MARTÍN-GARCÍA <i>et al.</i> (2020).
Cebola	Extrair compostos fenólicos solúveis em água de cebola por CEP.	O rendimento de compostos fenólicos solúveis em água e compostos de flavonoides foram 2,2 e 2,7 vezes, respectivamente, maiores que o tratamento sem CEP.	LIU, ZENG e NGADI (2018).

Tipo de alimento	Objetivo	Conclusão	Referência
Bagaço de pêssego	Avaliar a recuperação de biocompostos não purificados por CEP ou tratamento térmico convencional.	Os tratamentos com CEP exigiriam tempos de extração da ordem de μ s, muito menores do que o tempo de extração térmica (40 min), atingindo eficiências de extração semelhantes.	PLAZZOTTA <i>et al.</i> (2021).
Fatias de raiz de lótus	Comparar os efeitos do pré-tratamento com CEP em raízes de lótus minimamente processadas e sua qualidade de fritura com aquelas sob branqueamento (80 °C, 3 min).	O tratamento com CEP diminuiu o teor de açúcar redutor, a reação de Millard, o índice de escurecimento, 25,9% do teor de acrilamida e 15% da inalação de óleo resultando em estrutura do tecido mole.	LI <i>et al.</i> (2020a).
Salmão	Avaliar os efeitos do tratamento com CEP na qualidade do salmão descongelado.	A aplicação do CEP diminuiu o tempo de descongelamento em 20 min e a temperatura passou de -2 °C para 0 °C, a fibra muscular da amostra foi melhor preservada resultando na perda total reduzida em 6%, já a peroxidação lipídica aumentou ligeiramente.	LI <i>et al.</i> (2020b).

Tipo de alimento	Objetivo	Conclusão	Referência
Cenoura	Avaliar o efeito do CEP na cinética de secagem a vácuo e reidratação de tecido de cenoura.	Com o pré-tratamento com CEP o tempo de secagem foi reduzido em 55% a 25 °C e 33% a 90 °C, e a mudança na cor com a reidratação foi menos significativa se comparado às amostras não tratadas.	LIU <i>et al.</i> (2020).
Sorvete	Avaliar o potencial do uso de CEP para produção de sorvete probiótico contendo a bactéria <i>L. rhamnosus</i> enriquecida com íons de cálcio intracelular.	O uso da bactéria <i>L. rhamnosus</i> modificada com CEP para fermentação do leite fez com que o sorvete apresentasse os maiores teores de matéria seca, gordura, proteína e carboidratos, bem como as menores taxas de derretimento.	PANKIEWICZ <i>et al.</i> (2020).

Fonte: Os autores.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A crescente demanda pela substituição ou complementação de tratamentos térmicos na indústria de alimentos incentiva a busca contínua por técnicas convenientes de conservação. Existem tecnologias emergentes que podem ser usadas para melhorar a conservação de alimentos, a fim de aumentar a sua eficácia. Processamentos de alta pressão, técnicas assistidas por ultrassom e campos elétricos pulsados são algumas das tecnologias emergentes que podem ser usadas para conservação. A pesquisa bibliográfica demonstrou que cada uma dessas tecnologias de processamento não térmico possui aplicações específicas, dependendo do tipo de alimento a ser processado.

Referências

AWAD, T. S.; MOHARRAM, H. A.; SHALTOUT, O. E.; ASKER, D.; YOUSSEF, M. M. Applications of ultrasound in analysis, processing and quality control of food: a review. **Food Research International**, v. 48, p. 410-427, 2012.

AZMIR, J.; ZAIDUL, I. S. M.; RAHMAN, M. M.; SHARIF, K. M.; MOHAMED, A.; SAHENA, F.; JAHURUL, M. H. A.; GHOFLOOR, K.; NORULAINI, N. A. N.; OMAR, A. K. M. Techniques for extraction of bioactive compounds from plant materials: a review. **Journal of Food Engineering**, v. 117, n. 4, p. 426-436, 2013.

BACKES, E.; PEREIRA, C.; BARROS, L.; PRIETO, M. A.; GENENA, A. K.; BARREIRO, M. F.; FERREIRA, I. C. F. R. Recovery of bioactive anthocyanin pigments from *Ficus carica L.* peel by heat, microwave, and ultrasound based extraction techniques. **Food Research International**, v. 113, p. 197-209, 2018.

BENDICHO, C.; DE LA CALLE, I.; PENA, F.; COSTAS, M.; CABALEIRO, N.; LAVILLA, I. Ultrasound-assisted pretreatment of solid samples in the context of green analytical chemistry. **TrAC Trends in Analytical Chemistry**, v. 31, p. 50-60, 2012.

BENJAMIN, O.; GAMRASNI, D. Microbial, nutritional, and organoleptic quality of pomegranate juice following high-pressure homogenization and low-temperature pasteurization. **Journal of Food Science**, v. 85, n. 3, p. 592-599, 2020.

BHAT, Z. F.; MORTON, J. D.; MASON, S. L.; BEKHIT, A. E. A. Current and future prospects for the use of pulsed electric field in the meat industry. **Food Science and Nutrition**, v. 59, n. 10, p. 1660-1674, 2019.

BOUSSETTA, N.; SOICHI, E.; LANOISELLÉ, J. L.; VOROBIEV, E. Valorization of oilseed residues: eExtraction of polyphenols from flaxseed hulls by pulsed electric fields. **Industrial Crops and Products**, v. 52, p. 347-353, 2014.

BUERMAN, E. C.; WOROBO, R. W.; PADILLA-ZAKOUR, O. I. High pressure processing of spoilage fungi as affected by water activity in a diluted apple juice concentrate. **Food Control**, v. 107, ID 106779, 2020.

BUNIEWSKA, M.; CARBONELL-CAPELA, J.; ZULUETA, A.; FIGOLA, A.; ESTEVE, M. J. Bioaccessibility of bioactive compounds and antioxidant capacity from orange peel after pulsed electric fields and high voltage electrical discharges. **MOJ Food Processing and Technology**, v. 1, n. 3, p. 77-83, 2015.

CAMPOLI, S. S.; ROJAS, M. L.; DO AMARAL, J. E. P. G.; CANNIATTI-BRAZACA, S. G.; AUGUSTO, P. E. D. Ultrasound processing of guava juice: eEffect on structure, physical properties and lycopene in vitro accessibility. **Food Chemistry**, v. 268, p. 594-601, 2018.

CHANG, Y.; WU, S.; CHEN, B.; HUANG, H.; WANG, C. Effect of high pressure processing and thermal pasteurization on overall

quality parameters of white grape juice. **Journal of Science of Food and Agriculture**, v. 97, p. 3166-3172, 2017.

CHEN, S.; ZENG, Z.; HU, N.; BAI, B.; WANG, H.; SUO, Y. Simultaneous optimization of the ultrasound-assisted extraction for phenolic compounds content and antioxidant activity of *Lycium ruthenicum* Murr. fruit using response surface methodology. **Food Chemistry**, v. 242, p. 1-8, 2018.

DA SILVA, L. F. R.; GOMES, A. S.; CASTRO, D. R. G.; SOUZA, F. C. A.; MAR, J. M.; DA SILVA, L. S.; SANCHES, E. A.; BEZERRA, J. A.; BAKRY, A. M.; CAMPELO, P. H. Ultrasound-assisted homogenization and gum Arabic combined to physicochemical quality of cupuaçu juice. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 43, ID 14072, 2019.

DE OLIVEIRA, P. M.; JÚNIOR, B. R. C. L.; MARTINS, E. M. F.; CRISTIANINI, M.; MARTINS, M. L.; VIEIRA, E. N. R.; BINOTI, M. L.; PAULA, D. A.; RAMOS, A. M. Impact of high pressure and thermal processing on probiotic mixed mango and carrot juices. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 44, ID 14530, 2020.

DIEZ-SÁNCHEZ, E.; MARTÍNEZ, A.; RODRIGO, D.; QUILES, A.; HERNANDO, I. Optimizing high pressure processing parameters to produce milkshakes using chokeberry pomace. **Foods**, v. 9, ID 405, 2020.

ESPADA-BELLIDO, E.; FERREIRO-GONZÁLEZ, M.; CARRERA, C.; PALMA, M.; ÁLVAREZ, J. A.; BARBERO, G. F.; AYUSO, J. Extraction of antioxidants from blackberry (*rubus ulmifolius* l.): comparison between ultrasound- and microwave-assisted extraction techniques. **Agronomy**, v. 9, ID 745, 2019.

ESTEVE, M. J. Bioaccessibility of bioactive compounds and antioxidant capacity from orange peel after pulsed electric fields and high voltage electrical discharges. **MOJ Food Processing and Technology**, v. 1, n. 3, p. 77-83, 2015.

FINCAN, M.; DEJMEK, P. In situ visualization of the effect of a pulsed electric field on plant tissue. **Journal of Food Engineering**, v. 55, n. 3, p. 223-230, 2002.

HASNI, H. N.; KOH, P. C.; NORANIZAN, M. A.; TAHIR, P. N. F. M. M.; MOHAMAD, A.; LIMPOT, N.; HAMID, N.; AADIL, R. M. High-pressure processing treatment for ready-to-drink Sabah Snake Grass juice. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 44, ID 14508, p. 1-11, 2020.

HEINZ, V.; TOEPFL, S.; KNORR, D. Impact of temperature on lethality and energy efficiency of apple juice pasteurization by pulsed electric fields treatment. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 4, n. 2, p. 167-175, 2003.

KUMARI, B.; TIWARI, B. K.; HOSSAIN, M. B.; BRUNTON, N. P.; RAI, D. K. Recent advances on application of ultrasound and pulsed electric field technologies in the extraction of bioactives from agro-industrial by-products. **Food and Bioprocess Technology**, v. 11, n. 2, p. 223-241, 2017.

LI J.; SHI, J. HUANG, X.; ZOU, X.; LI, Z.; ZHANG, D.; ZHANG, W.; XU, Y. Effects of pulsed electric field on freeze-thaw quality of Atlantic salmon. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 65, ID 102454, 2020.

LI, J.; SHI, J.; HUANG, X.; WANG, T.; ZOU, X.; LI, Z.; ZHANG, D.; ZHANG, W.; XU, Y. Effects of pulsed electric field pretreatment

on frying quality of fresh-cut lotus root slices. **LWT – Food Science and Technology**, v. 132, ID 109873, 2020a.

LIU, C.; PIROZZI, A.; FERRARI, G.; VOROBIEV, E.; GRIMI, N. Impact of pulsed electric fields on vacuum drying kinetics and physicochemical properties of carrot. **Food Research International**, v. 137, ID 109658, 2020.

LIU; Z. W.; ZENG, X.; NGADI, M. Enhanced extraction of phenolic compounds from onion by pulsed electric field (PEF). **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 42, n. 9, ID 13755, 2018.

LOHANI, U. C.; MUTHUKUMARAPPAN, K. Application of the pulsed electric field to release bound phenolics in sorghum flour and apple pomace. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 35, p. 29-35, 2016.

LOPES, R. L. T. Conservação de alimentos. **Dossiê técnico**. Fundação Centro Tecnológica de Minas Gerais: CETEC, 2007. Disponível em: <http://www.respostatecnica.org.br/dossie-tecnico/downloadsDT/MjEz>. Acesso em: 24 mar. 2021.

LÓPEZ, N.; PUÉRTOLAS, E.; CONDÓN, S.; RASO, J.; ALVAREZ, I. Enhancement of the extraction of betanine from red beetroot by pulsed electric fields. **Journal of Food Engineering**, v. 90, n. 1, p. 60-66, 2009.

MAJID, I.; NAYIK, G. A.; NANDA, V. Ultrasonication and food technology: a review. **Cogent Food and Agriculture**, v. 1, n. 1, p. 1-11, 2015.

MANÁS, P.; PAGÁN, R. A review: mMicrobial inactivation by new technologies of food preservation. **Journal of Applied Microbiology**, v. 98, n. 6, p. 1387-1399, 2005.

MARSZALEK, K.; WOŹNIAK, Ł.; SKAŁPSKA, S. The application of high pressure –mild temperature processing for prolonging the shelf-life of strawberry purée. **High Pressure Research**, v. 36, n. 2, p. 220-234, 2016.

MARTÍN-GRACÍA, B.; TYLEWICS, U.; VERARDO, V.; PASINI, F.; GÓMEZ-CARAVACA.; CABONI, M. F.; ROSA, M. D. Pulsed electric field (PEF) as pre-treatment to improve the phenolic compounds recovery from brewers' spent grains. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 64, ID 102402, 2020.

MEDINA-TORRES, N.; AYORA-TALAVERA, T.; ESPINOSA-ANDREWS, H.; SÁNCHEZ-CONTRERAS, A.; PACHECO, N. Ultrasound assisted extraction for the recovery of phenolic compounds from vegetable sources. **Agronomy**, v. 7, ID 47, 2017.

MISRA, N.; KOUBAA, M.; ROOHINEJAD, S.; JULIANO, P.; ALPAS, H.; INÁCIO, R. S.; SARAIVA, J. A.; BARBA, F. J. Landmarks in the historical development of twenty first century food processing Technologies. **Food Research International**, v. 97, p. 318-339, 2017.

MONTERO-CALDERON, A.; CORTES, C.; ZULUETA, A.; FRIGOLA, A.; ESTEVE, M. J. Green solvents and ultrasound-assisted extraction of bioactive orange (*Citrus sinensis*) peel compounds. **Scientific Reports**, v. 9, ID 16120, 2019.

NIPORNRAM, S.; TOCHAMPA, W.; RATTANATRAIWONG, P.; SINGANUSONG, R. Optimization of low power ultrasound-assisted extraction of phenolic compounds from mandarin (*Citrus reticulata*

Blanco cv. Sainampung) peel. **Food Chemistry**, v. 241, p. 338--345, 2018.

PANIAGUA-MARTÍNEZ, I.; MULET, A.; GARCÍA-ALVARADO, M. A.; BENEDITO, J. Orange juice processing using a continuous flow ultrasound-assisted supercritical CO₂ system: mMicrobiota inactivation and product quality. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 47, p. 362-370, 2018

PANKIEWICZ, U.; GÓRAL, M.; KOZŁOWICZ, K.; GÓRAL, D. Application of pulsed electric field in production of ice cream enriched with probiotic bacteria (*L. rhamnosus B 442*) containing intracellular calcium ions. **Journal of Food Engineering**, v. 275, ID 109876, 2020.

PLAZZOTTA, S.; IBARZ, R.; MANZOCCO, L.; MARTIN-BELLOSO, O. Modelling the recovery of biocompounds from peach waste assisted by pulsed electric fields or thermal treatment. **Journal of Food Engineering**, v. 290, ID 110196, 2021.

POLLINI, L.; ROCCHI, R.; COSSIGNANI, L.; MAÑES, J.; CAMPAGNONE, D.; BLASI, F. Phenol profiling and nutraceutical potential of *lycium spp.* Leaf extracts obtained with ultrasound and microwave assisted techniques. **Antioxidants**, v. 8, ID 260, 2019.

PUÉRTOLAS, E.; LUENGO, E.; ALVAREZ, I.; RASO, J. Improving mass transfer to soften tissues by pulsed electric fields: fFundamentals and applications. **Annual Review of Food and Technology**, v. 3, p. 263-282, 2012.

PUTNIK, P.; KRESOJA, Ž.; BOSILJKOV, T.; REŽEK JAMBRAK, A.; BARBA, F. J.; LORENZO, J. M.; BURSAĆ KOVAČEVIĆ, D. Comparing the effects of thermal and non-thermal technologies on

pomegranate juice quality: aA review. **Food Chemistry**, v. 279, p. 150-161, 2019.

RAGHUBEER, E. V.; PHAN, B. N.; ONUOHA, E.; DIGGINS, S.; AGUILAR, V.; SWANSON, S.; LEE, A. The use of High-Pressure Processing (HPP) to improve the safety and quality of raw coconut (*Cocos nucifera* L) water. **International Journal of Food Microbiology**, v. 331, ID 108697, 2020.

RASTOGI, N. K. Reverse osmosis and forward osmosis for the concentration of fruit juices. In: RAJAURIA, G.; TIWARI, B. K. (org.). **Fruit juices: extraction, composition, quality and analysis**. San Diego: Academic Press, 2018. p. 241-259.

ROOBAB, U.; AADIL, R. M.; MADNI, G.; BEKHIT, A. D. The impact of nonthermal technologies on the microbiological quality of juices: aA review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 17, p. 437-457, 2018.

SENGAR, A. S.; RAWSON, A.; MUTHIAH, M.; KALAKANDAN, S. K. Comparison of different ultrasound assisted extraction techniques for pectin from tomato processing waste. **Ultrasonics – Sonochemistry**, v. 61, ID 104812, 2020.

SHAO, Y.; ZHU, S.; RAMASWAMY, H.; MARCOTTE, M. Compression heating and temperature control for high-pressure destruction of bacterial spores: an experimental method for kinetics evaluation. **Food Bioprocess Technology**, v. 3, p. 71-78, 2010.

SOLIVA-FORTUNY, R.; BALASA, A.; KNORR, D.; MERTÍN-BELLOSO, O. Effects of pulsed electric fields on bioactive compounds in foods: a review. **Trends in Food Science and Technology**, v. 20, n. 11, p. 44-556, 2009.

STINCO, C. M.; SENTANDREU, E.; MAPELLI-BRAHM, P.; NAVARRO, J. L.; VICARIO, I. M.; MELÉNDEZ-MARTÍNEZ, A. J. Influence of high pressure homogenization and pasteurization on the in vitro bioaccessibility of carotenoids and flavonoids in orange juice. **Food Chemistry**, v. 331, ID 127259, 2020.

SZCZEPAŃSKA, J.; BARBA, F. J.; SKĄPSKA, S.; MARSZAŁEK, K. High pressure processing of carrot juice: eEffect of static and multi-pulsed pressure on the polyphenolic profile, oxidoreductases activity and colour. **Food Chemistry**, v. 307, ID 125549, 2020.

TIWARI, B. K.; O'DONNELL, C. P.; MUTHUKUMARAPPAN, K.; CULLEN, P. J. Effect of ultrasound processing on the quality and nutritional properties of fruit juices. **Stewart Postharvest Review**, v. 4, p. 3-8, 2008.

VASCONCELOS, M. A. S.; MELO FILHO, A. B. **Conservação de alimentos**. Recife: EDUFRPE, 2010. 130 p.

VÁZQUEZ-ESPINOSA, M.; GONZÁLEZ DE PEREDO, A. V.; FERREIRO-GONZÁLEZ, M.; CARRERA, C.; PALMA, M.; BARBERO, G. F.; ESPADA-BELLIDO, E. Assessment of ultrasound assisted extraction as an alternative method for the extraction of anthocyanins and total phenolic compounds from maqui berries (*Aristotelia chilensis* (Mol.) Stuntz). **Agronomy**, v. 9, ID 148, 2019.

VÁZQUEZ-GUTIÉRREZ, J. L.; PLAZA, L.; HERNANDO, I.; SÁNCHEZ-MORENO, C.; QUILES, A.; DE ANCOS, B.; CANO, M. P. Changes in the structure and antioxidant properties of onions by high pressure treatment. **Food and Function**, v. 4, ID 586, 2013.

VEGA-MERCADO, H.; MARTÍN-BELLOSO, O.; QIN, B.L.; CHANG, F. J.; GÓNGORA-NIETO, M. M.; BARBOSA-CÁNOVAS,

G. V.; SWANSON, B. G. Non-thermal food preservation: pulsed electric fields. **Trends in Food Science and Technology**, v. 8, p. 151-156, 1997.

VIVEK, K.; MISHRA, S.; PRADHAN, R. C. Optimization of ultrasound-assisted enzymatic extraction of Sohiong (*Prunus nepalensis*) juice. **Journal of Food Process Engineering**, v. 42, ID 12948, 2019.

WANG, J.; LIU, Q.; XIE, B.; SUN, Z. Effect of ultrasound combined with ultraviolet treatment on microbial inactivation and quality properties of mango juice. **Ultrasonics – Sonochemistry**, v. 64, ID 105000, 2020.

YANG, N.; HUANG, K.; LYU, C.; WANG, J. Pulsed electric field technology in the manufacturing processes of wine, beer, and rice wine: a review. **Food Control**, v. 61, p. 28-38, 2016.

ZHANG, C.; ZHAO, W.; YAN, W.; WANG, M.; TONG, Y.; ZHANG, M.; YANG, R. Effect of pulsed electric field pretreatment on oil content of potato chips. **LWT - Food Science and Technology**, v. 135, ID 110198, 2021.

ZINOVIADOU, K. G.; GALANAKIS, C. M.; BRNČIĆ, M.; GRIMI, N.; BOUSSETTA, N.; MOTA, M. J.; SARAIVA, J. A.; PATRAS, A.; TIWARI, B.; BARBA, F. J. Fruit juice sonication: implications on food safety and physicochemical and nutritional properties. **Food Research International**, v. 77, p. 743-752, 2015.

Análises físico-químicas em suco de laranja: uma abordagem dos principais parâmetros de qualidade

*Bárbara Santos Valiati
Bruna Gasparini Machado
Magno Fonseca Santos
Luciano José Quintão Teixeira*

INTRODUÇÃO

A laranja (*Citrus sinensis*) é uma das principais frutas produzidas no Brasil, com produção de 17 milhões de toneladas no ano de 2019 (IBGE, 2020). Para a próxima década é esperado que a sua produção alcance um aumento de 17,3 milhões de toneladas no período de 2023-2024 (BRASIL *et al.*, 2017). Segundo dados do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (Usda) (2019), o Brasil possui relevância no mercado internacional, sendo considerado o maior produtor (USDA, 2019).

Grande parte da produção brasileira de laranja é destinada à fabricação de suco (BRASIL *et al.*, 2017). A sua alta disponibilidade, os benefícios oferecidos pela fruta (BARBOSA *et al.*, 2020; GOLIOMYTIS *et al.*, 2018) e o conteúdo de compostos antioxidantes (KLIMCZAK *et al.*, 2017) fazem com que este suco seja um dos mais populares e consumidos no mundo (RAJAURIA e TIWARI, 2018).

O suco de laranja é obtido da parte comestível da fruta por processos tecnológicos adequados (BRASIL, 2018). Além disso, este suco, assim como os obtidos por meio de outras frutas, também deve ser submetido a tratamentos que assegurem a sua apresentação, conservação e qualidade (BRASIL, 2009).

A qualidade do suco pode ser influenciada por fatores relacionados ao crescimento microbiológico, ação de enzimas, fatores físicos e químicos, os quais podem interferir nas características sensoriais e nutricionais do produto (BULL *et al.*, 2004). Deste modo, preservar as propriedades do suco de laranja é crucial no processo de produção (GALAVERNA e DALL'ASTA, 2014).

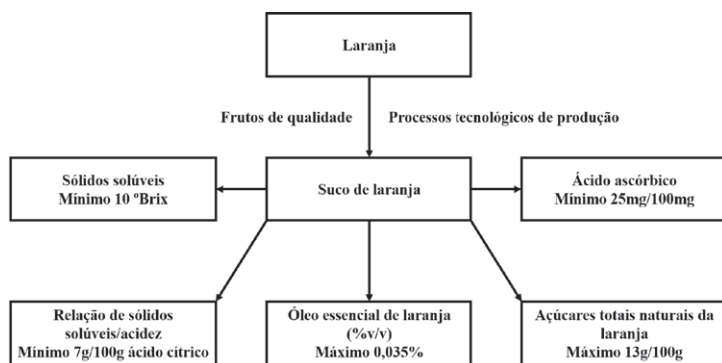
Neste sentido, o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa) estabelece parâmetros analíticos para determinação da identidade e qualidade de sucos de frutas, que podem ser avaliados por métodos físico-químicos de análise de alimentos (BRASIL, 2018). Além disso, estes parâmetros podem ser complementados com outros métodos para determinar e avaliar o comportamento da qualidade do suco – como, por exemplo, o conteúdo de compostos fenólicos, atividade antioxidante e cor – seja após o processamento ou durante a vida de prateleira (SILVA *et al.*, 2020).

À vista disso, este capítulo traz um compilado das principais análises físico-químicas que podem ser aplicados ao suco de laranja e outras frutas para monitoramento, avaliação e determinação da qualidade do produto.

PADRÃO DE IDENTIDADE E QUALIDADE DO SUCO DE LARANJA

O decreto nº 6.871, de 04 de junho de 2009, define no Art. 18 o suco ou sumo como bebida não fermentada, não concentrada e não diluída, obtida da fruta madura e sã, ou parte do vegetal de origem, não podendo ter substâncias estranhas à fruta ou vegetal, sendo proibida a adição de aromas e corantes artificiais. Os padrões de qualidade e identidade são estabelecidos pela Instrução Normativa nº 37 do MAPA, de 1º de outubro de 2018, que estabelece parâmetros analíticos de suco e de polpa de frutas e dispõe informações sobre a definição do suco de laranja e as características que devem ser cumpridas, quanto a sua composição, em todo território nacional (Figura 10).

Figura 10: Padrão de identidade e qualidade do suco de laranja



Fonte: Os autores. Baseado na Instrução Normativa n. 37 do Mapa, de 1º de outubro de 2018 (2020).

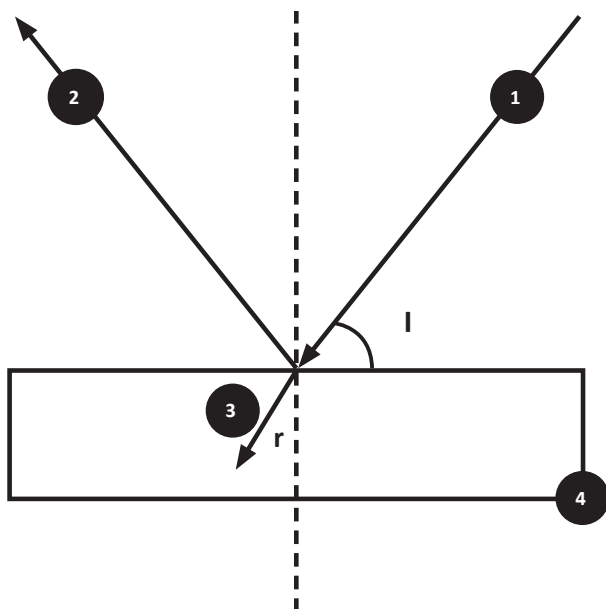
Sólidos solúveis totais

O teor de sólidos solúveis (SS) é um parâmetro importante para determinar a doçura, o grau de maturação, o preço e a qualidade do processamento pós-colheita (GUO *et al.*, 2019).

O teor de sólidos solúveis totais (SST) reflete o sabor e outras substâncias organolépticas presentes no suco (WANG *et al.*, 2020). 80% dos sólidos solúveis presentes são açúcares que conferem doçura aos sucos (VERVOORT *et al.*, 2012).

A refratometria é uma técnica simples (Figura 11), capaz de identificar a presença de sólidos solúveis na água. Para isso, baseia-se na alteração do índice de refração devido à presença de solutos numa solução aquosa. O método tradicional, usado para determinar o teor de sólidos solúveis, consiste em extrair o suco da polpa da fruta e fazer uma leitura direta em refratômetro. Esta leitura pode ser realizada por meio de um refratômetro digital ou um refratômetro Abbe (GUO *et al.*, 2019) ou, ainda, em um refratômetro de bancada com ou sem controle de temperatura embutido no equipamento.

Figura 11: Princípio de funcionamento de um refratômetro [1: luz incidente; 2: luz refletida; 3: luz refratada; 4: prisma]



Fonte: Os autores.

O índice de refração (n_D) de uma solução simples é diretamente proporcional à concentração do soluto e é definido como sendo o seno do ângulo de incidência ($senI$) dividido pelo seno do ângulo refletido ($senr$), conforme descrito na Equação 1. Portanto, trata-se de uma grandeza adimensional:

$$n_D = \frac{senI}{senr} \quad \text{Equação 1}$$

O índice de refração da água a 20° C é 1,3330. Para sua análise, é necessário: a) ajustar o refratômetro para a leitura em 1,3330 com água a 20° C; e b) transferir de 3 a 4 gotas da amostra homogeneizada para o prisma do refratômetro. Circule água à temperatura constante pelo equipamento, de preferência a 20 °C, no tempo suficiente para equilibrar a temperatura do prisma e da amostra e mantenha a água circulando durante a leitura, observando se a temperatura permanece constante. Após um minuto, deve ser feita a leitura diretamente na escala em °Brix. Se a determinação for realizada à temperatura ambiente, diferente de 20 °C, deve ser feita a correção da leitura em relação à temperatura. Se as partículas sólidas da amostra prejudicarem a nitidez da leitura, a amostra deve ser filtrada em papel de filtro ou em pedaço de algodão. Os resultados serão expressos em °Brix a 20° C (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008).

Graus Brix (°Brix) é uma unidade de concentração utilizada para expressar o teor de sólido solúveis. A maior parte dos refratômetros já apresentam essa escala para leitura direta de sólidos solúveis. 1°Brix significa 1% (m/m) de sólidos solúveis em uma solução simples de água e açúcar a 20° C. Em alimentos, devido à presença de outros compostos, existe uma pequena diferença entre o valor real de sólidos solúveis e o °Brix medidos pelo refratômetro. No entanto, ele é muito utilizado devido à simplicidade, ao baixo custo e à rapidez da análise. Além disso, é possível construir um modelo e ou tabela relacionando o teor verdadeiro de sólidos solúveis com

o valor lido no refratômetro. Para maiores detalhes sobre como construir esse tipo de modelo, recomenda-se o trabalho de Santos *et al.* (2020): os autores ajustaram um modelo que relaciona densidade e sólidos solúveis (SS) e um outro modelo que relaciona °Brix e SS real para café solúvel.

Conforme ilustrado na Figura 10, o valor mínimo para o teor de sólidos solúveis é de 10°Brix para o suco de laranja. Ao avaliarem o efeito da cavitação hidrodinâmica não térmica em suco de laranja, Katariya, Arya e Pandit (2020) encontraram 11,7° Brix no suco não tratado. Além disso, foi observado uma redução significativa após tratamento, alcançando o valor mínimo de 10,9°Brix – que, ainda assim, está acima do mínimo preconizado pela legislação.

Acidez total titulável

A avaliação da acidez total titulável (ATT) é um parâmetro importante na qualidade de suco de frutas, pois está relacionado à presença de ácidos orgânicos que podem influenciar os aspectos sensoriais. O aumento deste parâmetro pode estar relacionado à produção de ácidos e etanol por micro-organismos durante o armazenamento (CASSANI, TOMADONI e MOREIRA, 2020; RIVAS *et al.*, 2006).

O método para determinação baseia-se na titulação potenciométrica com solução de hidróxido de sódio, no qual se determina o ponto de equivalência pela medida do pH da solução. O potenciômetro deverá ser calibrado com as soluções-tampão de 7 e 4 ou 7 e 10, de acordo com as instruções do fabricante. Deve-se pesar de 5-10 g ou pipetar de 10-20 mL da amostra homogeneizada em um béquer de 300 mL. A amostra deverá ser diluída com 100 mL de água e o eletrodo deverá ser mergulhado na solução. A titulação com a solução de hidróxido de sódio 0,1 M deve ocorrer até uma faixa de pH (8,2-8,4) e devem ser calculados através da Equação 2:

$$ATT \% (m/v) = \frac{n \times N \times f \times Eq}{10 \times v} \quad \text{Equação 2}$$

Em que: N = normalidade da solução de hidróxido de sódio; n = volume; f = fator de correção da solução de hidróxido de sódio gastos na titulação em mL; v = volume da amostra em mL; Eq = equivalente-grama do ácido preponderante presente na fruta (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008).

Paniagua-Martínez *et al.* (2018) encontraram 0,87g de ácido cítrico/100 mL em suco de laranja natural. Neste mesmo estudo, os autores avaliaram a aplicação do ultrassom e CO_2 supercrítico e verificaram redução de 4,94% de ATT em comparação às amostras não tratadas.

Relação entre sólidos solúveis totais e acidez total titulável

A relação de sólidos solúveis totais (SST) e acidez titulável total (ATT), também chamada em muitos artigos da área de Ratio, é utilizada como indicador para verificar o grau de maturação da matéria-prima utilizada. Pode ser aplicada em sucos de fruta e baseia-se no cálculo da relação °Brix por acidez expressa em ácido orgânico, seguindo a Equação 3 (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008):

$$Ratio = \frac{SST}{ATT} = \frac{°Brix}{\% \text{ de ácido orgânico}} \quad \text{Equação 3}$$

Ácido ascórbico

O ácido ascórbico (AA) é popularmente conhecido pela elevada capacidade antioxidante e eliminador de radicais livres (LINSTER e VAN SCHAFTINGEN, 2006; DU, CULLEN e BUETTNER, 2012). Este composto é utilizado como parâmetro de controle de qualidade de produtos de frutas, sendo que o AA é mais sensível ao processamento

de alimentos e armazenamento a longo prazo, se comparado a outros nutrientes. Sendo assim, caso o conteúdo de AA permaneça inalterado após o processamento e armazenamento, então é possível considerar que os demais nutrientes se mantiveram. O ácido ascórbico atua principalmente como doador de átomos de hidrogênio simples e o radical aniônico monohidroascorbato reage principalmente com os radicais. Essas propriedades são responsáveis pela importante ação antioxidante do ácido ascórbico (NJUS *et al.*, 2020).

Silva *et al.* (2020) avaliaram o efeito do ultrassom de alta intensidade nos parâmetros físico-químicos de suco de laranja com adição de prebiótico. Neste estudo, o ácido ascórbico, avaliado pelo método HPLC apresentou 0,189 mg/mL no suco natural, enquanto o ultrassom aplicado provocou uma redução linear deste parâmetro conforme o aumento da potência, alcançando valor mínimo de 0,084 mg/mL no ultrassom de 1200W.

O ácido ascórbico (vitamina C) é um nutriente muito sensível às reações de oxidação e, por isso, são muito utilizados nos estudos de comparação de métodos de processamento, vida de prateleira entre outros. Dado a importância de sua correta quantificação, a seguir são apresentados três métodos de determinação de ácido ascórbico.

Cromatografia líquida de alta eficiência

O ácido ascórbico (AA) é solúvel em água e pode ser mais facilmente encontrado na forma monoprotonada. Considerado o antioxidante mais importante no compartimento extracelular, possui propriedades necrófagas que eliminam radicais livres sob a formação de ácido semideidroascórbico, um radical não reativo. Dentre os métodos utilizados para análise deste componente, destaca-se a cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC) (KALL, 2003). Este método pode ser usado como uma técnica preparativa ou analítica. A HPLC analítico visa caracterizar a estrutura e as propriedades físicas dos compostos químicos (CROWLEY, 2020). Conforme

descrito por Scherer *et al.* (2012), pode ser utilizada para a determinação de ácido ascórbico, málico e cítrico.

O método HPLC possui uma fase estacionária (coluna) e uma fase móvel líquida com a amostra e os solventes (apolares), os quais fluem por uma coluna que possui partículas porosas. Sendo assim, a separação dos compostos ocorre pela interação destas diferentes fases. Por consequência, moléculas que apresentarem fortes interações com a fase estacionária e pouca afinidade com a fase móvel serão altamente retidas. Para maior eficiência, utiliza-se bomba de pressão para a corrida da amostra pelas colunas cromatográficas. A escolha do detector é extremamente necessária e depende da natureza do produto químico e das informações finais que se deseja obter. Os detectores universais respondem a todos os componentes da fase móvel e os seletivos respondem apenas a um grupo relacionado de substâncias com características químicas semelhantes, como a vitamina C. Sendo assim, através de limite de detecção, estabelece curvas de calibração para realizar análises quantitativas dos compostos, gerando no final um cromatograma (GARCIA-VAQUERO e RAJAURIA, 2018).

Método titulométrico de Tillmans

O método oficial para a quantificação de ácido ascórbico (vitamina C) em polpas e sucos de frutas, no Brasil, consiste na titulação pelo método de Tillmans, o qual se baseia na redução do corante 2,6-diclorofenol indofenol por uma solução ácida de vitamina C (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008). Este método sofre interferência de ferro, estanho, cobre, sulfito e tiosulfato (AOAC, 2005). Ainda apresenta como desvantagem o alto valor dos reagentes e a dificuldade de visualização do ponto final, quando se trabalha com amostras com uma maior intensidade de coloração (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008).

Iodometria

O método de titulometria de óxido redução (iodometria) emprega a solução de iodo como agente titulante (AOAC, 2005). Este método pode ser uma alternativa de controle de qualidade para as micro e pequenas empresas, dado ao baixo custo dos reagentes empregados e a facilidade para a realização da análise (COSTA, 2016).

O método baseia-se na redução de 2,6-diclorofenolindofenol-sódio (DCFI) pelo ácido ascórbico. O DCFI, quando em meio básico ou neutro, é azul; em meio ácido, rosa; e em sua forma reduzida, incolor. O ponto final de titulação é detectado pela viragem da solução de incolor para rosa, quando a primeira gota de solução do DCFI é introduzida no sistema, com todo ácido ascórbico já consumido.

Para isso é necessário pipetar 10 mL da solução padrão de ácido ascórbico em erlenmeyer contendo 50 mL de solução de ácido oxálico. Titular com solução de 2,6-diclorofenolindofenol sódio até coloração rosa persistente por 15 segundos (no qual n é o volume gasto nesta titulação; $\frac{n}{5}$ é o volume em mL gastos para titulação de 1 mg de ácido ascórbico). Pipetar ou pesar um volume conveniente de amostra e adicionar 50 mL da solução de ácido oxálico no erlenmeyer. Titular com a solução de 2,6-diclorofenolindofenol sódio padronizado até coloração rosa persistente por 15 segundos (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO, 2020). O resultado será expresso em mg de ácido ascórbico por 100 mL ou 100 g da amostra, segundo a Equação 4:

$$AA = \frac{100 \times n'}{n \times p} \quad \text{Equação 4}$$

Em que: AA = teor de ácido ascórbico em mg/100 mL ou mg/100g; n' = volume de 2,6-diclorofenolindofenol sódio em mL gastos na titulação da amostra; n = volume de

2,6-diclorofenolindofenol sódio em mL gastos na padronização; P = massa da amostra em grama ou volume de amostra usado na titulação.

Guerrouj *et al.* (2016) analisaram suco de laranja sonificado e encontraram um aumento no conteúdo de ácido ascórbico, devido à eliminação do oxigênio dissolvido durante a cavitação. Amostras de controle apresentaram como resultado 28mg de ácido ascórbico / 100 mL de suco, enquanto amostras que foram tratadas com ultrassom e temperatura de 43 °C (10, 20 e 30 minutos) obtiveram como resultado 36,76, 37,59 e 36,23 mg de ácido ascórbico / 100 mL de suco, respectivamente.

Açúcares totais naturais

A análise de açúcares totais em suco de laranja pode ser determinada pelo método titulométrico de Eynon Lane, com utilização do reagente de Fehling. Os açúcares presentes na amostra reduzem o cobre contido neste reagente em óxido cuproso. Assim, o conteúdo de açúcar presente na amostra é determinado pelo volume utilizado para que ocorra a redução completa de um volume conhecido do reagente de Fehling (SEWWANDI, 2020; AOAC, 2005). As etapas da determinação serão descritas a seguir.

Titulação do branco

Em erlenmeyer de 250 mL, pipetar 10 mL da solução de Fehling A, 10 mL de Fehling B, 50 mL de água destilada, aproximadamente 18,5 mL da solução padrão de glicose e acrescentar algumas pérolas de vidro. Levar o frasco ao aquecimento para iniciar a ebulição, momento no qual deve-se adicionar 3 gotas de azul de metileno. Após 1 minuto do início da fervura, começar a titulação até o desaparecimento da coloração azul.

Titulação definitiva

Em erlenmeyer de 250 mL, pipetar 10 mL da solução de Fehling A, 10 mL de Fehling B e 40 mL de água destilada. Adicionar uma alíquota conveniente da amostra e acrescentar algumas pérolas de vidro. Levar o frasco ao aquecimento e imediatamente transferir (k-1) mL de glicose. Iniciada a fervura, adicionar 3 gotas de azul metileno, após aproximadamente 1 minuto continuar a titulação até o desaparecimento da coloração azul da solução, gastando no final aproximadamente o mesmo tempo gasto na determinação do branco.

Cálculo de açúcares totais

O cálculo para açúcares totais (AT) segue na Equação 5:

$$AT = \frac{(b - a) \times 5 \times F_1}{10 \times v} \quad \text{Equação 5}$$

Em que: b = volume da solução de glicose gasto na titulação do branco, em mL; a = volume da solução de glicose gasto na titulação da amostra, em mL; F_1 = fator que envolve todas as diluições (desde a tomada da alíquota inicial até a amostra preparada para a titulação) e as grandezas de massa ou volume usadas na tomada da amostra; v = volume da amostra preparada usado na titulação, em mL.

Óleo essencial

Encontrados amplamente em plantas, os óleos essenciais (OE) são ativos naturais com propriedades antimicrobianas, alopáticas, antioxidantes e biorregulatórias. Os citrus, incluindo a laranja, possuem diferentes tipos de OE – que, devido aos benefícios citados, podem ser empregados na indústria alimentícia (ANWAR *et al.*, 2016). O ácido palmítico, oleico e esteárico são óleos que podem ser quantificados neste alimento (AYDENIZ-GUNESER, 2020).

Identificação de óleos essenciais

Os óleos essenciais, quando presentes nos aromas, podem ser identificados por cromatografia em camada delgada ou quantificados com o uso do balão volumétrico tipo Cassia. Quando puros, devem ser feitas as seguintes determinações físico-químicas: índice de refração a 20 °C, densidade relativa a 20 °C e rotação ótica a 20 °C. Os valores obtidos são comparados com os da literatura. Os aromas líquidos podem ser analisados diretamente ou após a separação dos óleos essenciais com solução saturada de cloreto de sódio. Os materiais utilizados para esta análise são: placas de sílica gel, estufa, câmara ultravioleta, cuba cromatográfica com tampa, frasco Erlenmeyer de 250 mL e provetas de 10 e 100 mL. Os reagentes são: ciclohexano, acetato de etila, ácido acético, ácido sulfúrico, padrões analíticos de óleos essenciais, fase móvel (ciclohexano-acetato de etila-ácido acético (90:10:1)) e o revelador [solução aquosa de ácido sulfúrico a 10% (v/v)].

Nesta análise, a cuba de vidro deve ser saturada com a mistura de solventes da fase móvel. Após este processo, deve-se colocar a amostra e os padrões em pontos diferentes da placa de sílica gel preparada para a cromatografia ascendente, deixando secar. As amostras com o solvente devem correr até uns 2 cm da extremidade superior da placa; após este tempo, ela deverá ser seca ao ar e ser vaporizada com o revelador. A comparação deve ser feita com os padrões e recomenda-se observar a placa, antes de revelar, sob luz ultravioleta.

Quantificação de óleos essenciais

Para quantificação, deve-se pipetar 10 mL da amostra, transferindo-a para um balão volumétrico. O volume deve ser completado com solução saturada de cloreto de sódio. O volume do óleo essencial separado – obtido na escala graduada do gargalo do balão – corresponde ao teor em porcentagem do óleo na amostra (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008).

COMPOSTOS FENÓLICOS

Os fenólicos fazem parte de um grande grupo de compostos abundantemente presentes nos produtos de origem vegetal, com mais de 8.000 compostos conhecidos (BARROSO *et al.*, 2019). O suco de laranja é fonte importante destes compostos, como taninos, amidas polifenólicas, estilbenos, antraquinonas, lignina e flavanóides (BARROSO *et al.*, 2019). Nos próximos tópicos serão apresentadas metodologias para a quantificação dos compostos fenólicos.

Método de Folin-Ciocalteu

O ensaio Folin-Ciocalteu é a metodologia mais utilizada para avaliar os compostos fenólicos em alimentos. Nesta metodologia ocorre a transferência de elétrons entre o reagente e os compostos presentes na amostra (BARROSO *et al.*, 2019). Dessa forma, estes compostos podem ser determinados pelo método colorimétrico de Folin-Ciocalteu (BOONCCHU e UTAMA-ANG, 2013) por meio da diluição de 100 μL de extrato misturado com 1 mL de reagente fenol, 1 mL de bicarbonato de sódio a 10% e 4 mL de água destilada. A mistura deve ser mantida em repouso, no escuro, por 2 horas. A concentração de fenólicos totais é calculada a partir de curva de calibração plotando soluções conhecidas de ácido gálico contra absorvância a 760 nm e os resultados são expressos em mg de equivalentes de ácido gálico para cada 100 mL de suco. Ferrario *et al.* (2018) analisou os compostos fenólicos em suco de laranja e cenoura e identificou que amostras de controle apresentavam $205,0 \pm 55,9 \mu\text{g GAE Eq./mL}$, enquanto amostras de suco tratado com luz UV-C assistido com calor moderado de 50 °C exibiram um teor de compostos fenólicos mais alto ($720,2 \pm 70,0 \mu\text{g GAE Eq./mL}$).

Espectroscopia no infravermelho

A espectroscopia é um método que permite a determinação da presença de grupos químicos por meio de espectros de absorção na região do infravermelho, identificando movimentos vibracionais e rotacionais das ligações moleculares (FORATO *et al.*, 2010). Esta análise pode ser utilizada para avaliar a presença de compostos fenólicos em sucos de frutas (WANG *et al.*, 2019; BICAS *et al.*, 2017). A posição de pico do grupo OH, presente nos compostos fenólicos, pode ocorrer entre 2900 e 3550 cm^{-1} (SHERAZI *et al.*, 2017). Dessa forma, cada pico gerado nas faixas mencionadas é considerado um composto fenólico. Para a realização desta análise também é necessário um detector de sulfato de triglicina deuterado (DTGS) e um pacote de software de análise de espectros OMNIC. Os espectros devem ser registrados dentro da faixa de posição do pico do grupo OH (WANG *et al.*, 2019).

ATIVIDADE ANTIOXIDANTE

As frutas possuem componentes que favorecem a saúde, como as vitaminas e os antioxidantes (SEPTEMBRE-MALATERRE; REMIZE; POUCHERET, 2018). Estes compostos possuem efeito protetor contra o estresse oxidativo (TIVELI *et al.*, 2011). O suco de laranja é fonte de diferentes tipos de antioxidantes, como, por exemplo, o ácido ascórbico, o ácido cinâmico, o ácido ferúlico, a hesperidina e o betacaroteno (GALAVERNA e DALL'ASTA, 2014). A avaliação da estabilidade destes compostos é crucial, pois eles podem sofrer alterações devido ao processamento aplicado em sucos, a exemplo do calor (BARROSO *et al.*, 2019). Sendo assim, diante da importância destes compostos para a saúde e bem-estar, e considerando os processamentos aplicados no suco de laranja, diversos métodos analíticos são propostos para a sua quantificação. Os principais métodos serão apresentados a seguir.

DPPH

A capacidade dos antioxidantes presentes nas amostras de suco pode ser determinada por solução DPPH (2,2-difenil-1-picril-hidrazil). Nesta análise os compostos antioxidantes presentes na amostra do suco reagem com o radical, reduzindo-o (BRAND-WILLIAMS, CUVELIER e BERSET, 1995).

Este método é amplamente utilizado para a avaliação da capacidade antioxidante em produtos vegetais. Além disso, é considerado um método simples, versátil e de baixo custo (CHEDEA e POP, 2019), empregado em suco de laranja (FENOGLIO *et al.*, 2019; KLIMCZAK *et al.*, 2007). De acordo com Wang entre outros (2019), deve-se utilizar 100 µL de extrato de amostras e adicionar 3 mL de solução DPPH 4% (metanol como solvente); a mistura deve ser incubada à temperatura ambiente durante 20 minutos no escuro, para que ocorra as reações químicas. As mudanças de absorbância devem ser determinadas com um espectrofotômetro em 517 nm e a atividade de eliminação de radicais pode ser calculada pela Equação 6:

$$\text{Absorbância de inibição de DPPH (\%)} = \frac{ABS_0 - ABS_1}{ABS_0} \times 100 \quad \text{Equação 6}$$

Em que: ABS_0 = valor de absorbância do branco; ABS_1 = leitura de absorbância da amostra. Os resultados são expressos de acordo com a concentração equivalente de um antioxidante padrão (curva de calibração) e interpolação dos resultados, podendo ser ácido ascórbico, trolox ou ácido gálico (OLIVEIRA, 2015).

Ferrario *et al.* (2018) analisou a atividade antioxidante em suco de laranja e cenoura e identificou que as amostras de controle apresentavam $0,7 \pm 0,6$ mg Trolox Eq./mL, enquanto as amostras do suco tratado com luz UV-C assistido com calor moderado de 50 °C exibiram atividade antioxidante de $5,5 \pm 1,0$ µg Trolox Eq./mL.

FRAP

A capacidade dos antioxidantes presentes nas amostras de suco determinada por redução férrica / poder antioxidante (FRAP) (BENZIE e STRAIN, 1996) ocorre por meio da mistura de 100 μ L de extrato de suco com 1,5 mL de solução de trabalho FRAP (tampão de ácido acético 40 mM: 20 mM solução de cloreto férrico: 2,4,6-Tripiridil-S-triazina (TPTZ) = 1: 1: 10, v / v / v). A mistura deve ser incubada no escuro a 37 ° C durante 4 minutos. As mudanças de cor são determinadas por um espectrofotômetro a 593 nm. Para a solução da curva padrão, pode-se utilizar o sulfato ferroso (1000 μ M). Os resultados desta análise são expressos em μ mol Fe (II) / 100 mL de suco.

ORAC

O método ORAC é baseado na capacidade de absorção do radical oxigênio com base no branqueamento com vermelho de pirogalol (ORAC-PGR), empregando fluoresceína como molécula alvo (ATALA *et al.*, 2009; WU *et al.*, 2014). Apesar de haver metodologias distintas para a determinação da quantidade total de antioxidantes em frutas e bebidas (WU *et al.*, 2004), o método ORAC possui a vantagem de permitir uma avaliação simples (PEREZ *et al.*, 2000). A principal desvantagem deste método é a não discriminação dos diferentes antioxidantes. Desse modo, acaba-se titulando polifenóis e outros antioxidantes como o ácido ascórbico.

Para a realização desta metodologia, as soluções estoques de vermelho de pirogalol (1×10^{-4} M) ou fluoresceína (1×10^{-5} M) devem ser preparadas diariamente em tampão fosfato (75mM e pH de 7,4). Uma mistura de reação contendo AAPH e vermelho de pirogalol (5 μ M) com a amostra do suco deve ser incubada em tampão fosfato (75 mM, pH 7,4) a 37 °C. O consumo de vermelho de pirogalol é avaliado a partir da diminuição progressiva da absorbância medida a 540 nm na cubeta termostatizada em um espectrofotômetro de UV-visível. Com

a determinação da absorbância (A) é possível quantificar as moléculas. Os valores de absorbância devem ser plotados em função do tempo. A integração da área sob a curva (AUC) é feita até que a absorbância atinja o valor de 0,2. Estas áreas são utilizadas para obter os valores de ORAC, conforme descrito na Equação 7 (ATALA *et al.*, 2009).

$$ORAC = \frac{AUC \times AUC_0}{AUC_{trolox} - AUC_0} \times f \quad \text{Equação 7}$$

Em que: AUC = área sob a curva na presença do extrato testado integrada entre o tempo zero e aquele correspondente a 80% do consumo da sonda; AUC_0 = área sob a curva para o controle; AUC_{trolox} = área sob a curva para trolox; f = fator de diluição.

ABTS

Esta metodologia se baseia no sequestro do radical ABTS 2,2'-azino-bis (ácido 3-etilbenzotiazolina-6-sulfônico) pelos compostos antioxidantes presentes no suco de fruta. O radical combinado com persulfato de potássio (oxidante) apresenta cor azul-verde escuro e ao entrar em contato com compostos antioxidantes a amostra fica incolor. Recomenda-se, para esta metodologia, misturar 20 μ L de amostra e 3 mL de reagente para posteriormente serão incubados em banho-maria a 30 °C por 30 minutos. Uma alíquota deve ser retirada e inserida em cubeta para que a absorbância seja medida em espectrofotômetro a 734 nm. A porcentagem de inibição é calculada e plotado em função da concentração de antioxidantes e de Trolox para os dados de referência padrão (RE *et al.*, 1999; OZGEN, 2006).

ANÁLISE INSTRUMENTAL DA COR

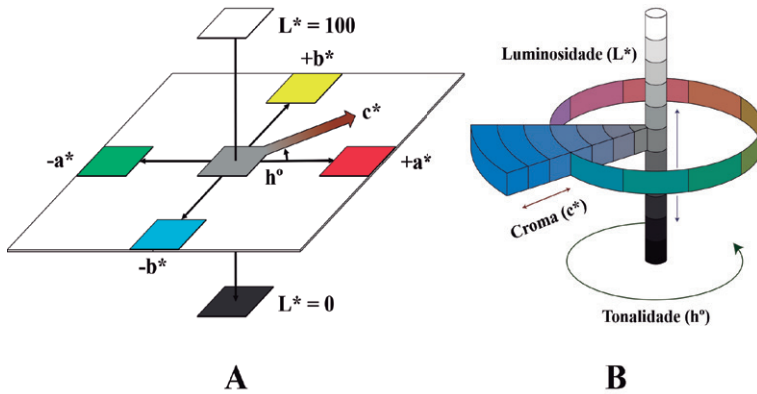
Cor é a sensação experimentada pelo cérebro humano quando a luz visível (380 a 770 nm) atinge a retina do indivíduo. Esta é uma

característica que está relacionada à qualidade das frutas, das hortaliças e de outros alimentos. A colorimetria é a ciência que simula, com auxílio de modelos matemáticos, a percepção das cores pelos seres humanos (FERREIRA e SPRICIGO, 2017). Em outras palavras, é a ciência que faz a medição das cores de forma objetiva utilizando um sistema tri-estímulo. A análise colorimétrica pode ser feita tanto de forma visual (análise sensorial) como de forma instrumental, via uso de equipamentos adequados, chamados de colorímetros.

Nesta seção será abordada a análise colorimétrica instrumental, compreendendo os seus atributos principais, tais como: o matiz, a luminosidade e a saturação (FERREIRA e SPRICIGO, 2017). Será exposto, ainda, os parâmetros L^* , a^* , b^* e outros, os quais permitem ao pesquisador acompanhar eventuais mudanças ocorridas nos sucos de frutas, como descrito por Ordóñez-Santos e Martínez-Girón (2017).

Dentre os espaços de cores existentes, destaca-se os da Commission Internationale de l'Éclairage – CIE (L^* , a^* , b^*), método que pode ser utilizado para avaliar estes parâmetros de cor em suco de laranja (ALMEIDA *et al.*, 2017). Nesta escala, o coeficiente de luminosidade (L^*) varia do preto ($L^* = 0$) ao branco ($L^* = 100$); o valor a^* varia do verde ($a^* < 0$) ao vermelho ($a^* > 0$); e a coordenada de cor b^* varia do azul ($b^* < 0$) ao amarelo ($b^* > 0$) (MCGUIRE, 1992). Não existe limite definido para as coordenadas de cor a^* e b^* mas, geralmente, elas se situam entre -80 a $+80$. A figura 12 ilustra as coordenadas de cor mais utilizadas em análises de sucos de frutas, hortaliças e outros alimentos.

Figura 12: Coordenadas do espaço de cores do sistema CIE $L^*a^*b^*$ (A) e diagrama de Munsuell (B)



Fonte: Adaptado de Worlsted e Smith (2019).

A tonalidade (h°), dado em graus, indica qual é a cor da amostra analisada. Ou seja, quando o valor de $h^\circ = 0^\circ$ ou 360° indica que a cor é vermelha; $h^\circ = 90^\circ$ corresponde ao amarelo; $h^\circ = 180^\circ$ se refere ao verde; e $h^\circ = 270^\circ$ indica coloração azul. Estas são as 4 cores primárias. Logo, os ângulos intermediários a estes valores indicarão uma tonalidade combinada. Já em relação ao valor do cromatismo (c^*), este indica a intensidade da cor. Por exemplo: $c^* = 0$ indica uma cromaticidade cinza e quanto maior o valor de c^* , maior será a intensidade da cor medida. Note que L^* e c^* são sempre ≥ 0 , não havendo valores negativos para estas coordenadas de cor.

Para a mensuração destas coordenadas de cor, utiliza-se um equipamento chamado colorímetro, o qual possui iluminantes e observadores padronizados (FERREIRA e SPRICIGO, 2017). Geralmente, os colorímetros podem ler tanto no modo de transmitância como no de reflectância. As amostras líquidas e translúcidas devem ser lidas no modo de transmitância. Por outro lado, amostras opacas, principalmente alimentos em sólidos, devem ser analisadas no modo de reflectância. Para garantir a repetibilidade da

análise, em materiais e métodos além do modo de leitura, é preciso indicar a fonte de iluminação (ex.: fonte D65) e o ângulo do observador (geralmente 2° ou 10°).

A partir dos valores de L^* , a^* e b^* obtidos em leitura direta no equipamento, é possível calcular outros parâmetros de cor, tais como: diferença total de cor (ΔE^*), cromaticidade (c^*) e ângulo de matiz ou tonalidade (h°). Para isso, utiliza-se as equações 8, 9 e 10, conforme publicadas por Worlstad e Smith (2019).

$$\Delta E^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2} + c^{*2}} \quad \text{Equação 8}$$

$$c^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad \text{Equação 9}$$

$$h^\circ = \tan^{-1} \frac{b^*}{a^*} \quad \text{Equação 10}$$

A diferença de cor é uma análise objetiva e é realizada quando se quer comparar uma amostra com um valor padrão. Exemplo: para saber se está havendo mudança de cor ao longo do tempo de armazenamento, pode-se adotar como padrão o tempo zero e fazer análises ao longo do tempo para contrastar o valor dessas amostras com o padrão. É possível fazer análise de correlação entre análise sensorial e análise instrumental para definir qual é o valor de ΔE^* mínimo para ser perceptível para os consumidores. Outra aplicação prática seria comparar o efeito do processamento na cor do produto. Nesse caso, a amostra padrão seria a fruta ou o suco antes do processamento. A tabela 10 especifica o significado de diferença de cor que pode ser calculada.

Tabela 10: Interpretação da diferença de cor medida de forma instrumental

Definição	Delta positivo ($\Delta < 0$)	Delta negativo ($\Delta < 0$)
$\Delta L^* = L^*_{amostra} - L^*_{padrão}$	A amostra clareou	A amostra escureceu
$\Delta a^* = a^*_{amostra} - a^*_{padrão}$	Intensificou a cor vermelha	Intensificou a cor verde
$\Delta b^* = b^*_{amostra} - b^*_{padrão}$	Intensificou a cor amarela	Intensificou a cor azul
$\Delta E^* = \sqrt{\Delta a^{*2} + \Delta b^{*2} + \Delta c^{*2}}$	Houve variação de cor	Não se aplica

Fonte: Baseada nas informações publicadas por Worlstad e Smith (2019).

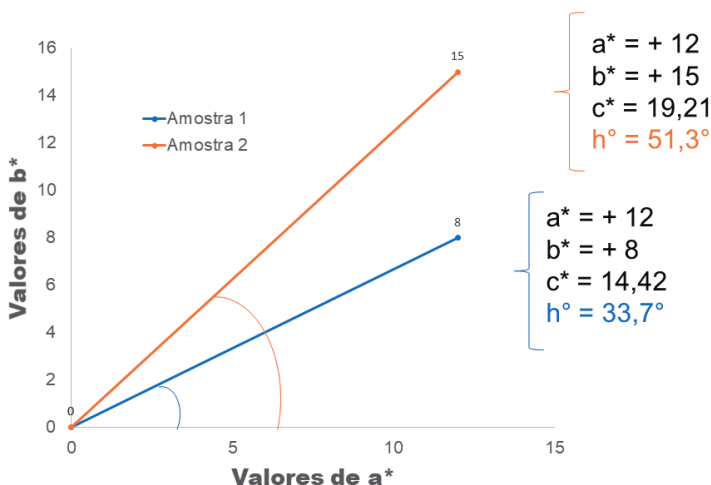
Um exemplo típico de aplicação da variação de cor em suco de laranja pode ser lido em Almeida *et al.* (2017). Os autores estudaram a variação de cor do suco de laranja “*in natura*”, ou seja, não tratado com sucos processados por alta pressão hidrostática e por plasma frio. Os valores encontrados para o suco de laranja “*in natura*” foram: $L^* = 55,96$; $c^* = 30,58$; e $h^\circ = 95,29$. Observou-se que os baixos valores de ΔE^* que variaram entre 0,46 e 2,1 demonstram que os tratamentos não térmicos causam nenhuma ou pouca variação de cor no suco de laranja. Os autores concluíram que esta variação é imperceptível para o consumidor.

Expressão dos resultados

Os valores L^* , a^* e b^* são lidos diretamente no colorímetro. No entanto, os valores de c^* , h° e ΔE^* são coordenadas derivadas, posto que são calculados a partir dos dados primários. Assim, não faz sentido publicar todas elas. A escolha depende das características do produto e do objetivo do trabalho. O mais comum é encontrarmos tabelas com três variáveis – L^* , a^* e b^* – ou como fizeram Almeida *et al.* (2017): L^* , c^* e h° . A variação de cor (ΔE^*) é usada sempre que se quer verificar se o processo, o armazenamento ou alguma outra variável causou alteração na cor do produto.

Os dados podem aparecer em tabelas, em gráficos ou serem descritos no próprio texto, a depender dos objetivos, do volume de dados e se há ou não medidas ao longo do tempo. Uma outra forma interessante de apresentar os dados é por meio de um gráfico de $a^* \times b^*$, conforme ilustrado na Figura 13, utilizando valores hipotéticos para duas amostras diferentes. Neste caso não há valores de L^* e pode ser considerado uma forma alternativa quando esta coordenada não for importante – por exemplo, quando as duas amostras apresentarem o mesmo valor de L^* .

Figura 13: Expressão gráfica do resultado das coordenadas de cor a^* e b^* para duas amostras hipotéticas



Fonte: Os autores

Este tipo de gráfico é produzido utilizando uma série de dados para cada amostra analisada a partir dos valores primários a^* e b^* . Constrói-se, então, um vetor para cada amostra: parte-se do zero e utiliza-se o eixo x como sendo os valores de a^* , e o eixo y como sendo os valores de b^* .

Ao aplicar a Equação 9 encontramos o valor de c^* , justamente o módulo desse vetor. Por outro lado, ao aplicar a Equação 10 encontramos a tonalidade que é justamente o ângulo formado entre o vetor e o eixo x. Podemos, desse modo, situar as nossas amostras em um gráfico bi-dimensional. Recomenda-se cuidado ao calcular o valor h° , considerando que ele é arco tangente de (b^*/a^*) em graus e não em radianos. Uma maneira simples de fazer esse cálculo no Excel, por exemplo, é calcular primeiro a relação (b^*/a^*) e depois aplicar a fórmula $f = \text{GRAUS}(\text{ATAN}(xx))$, na qual xx é a referência da célula que calculou a relação (b^*/a^*) .

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os métodos químicos e físicos de análise de alimentos desempenham um papel importante para a avaliação, controle da qualidade e segurança dos alimentos – incluindo os sucos de laranja e outras frutas. Há vários métodos disponíveis e a escolha de qual utilizar depende da matéria-prima, dos recursos existentes e da mão de obra disponível em cada laboratório de análise. Estes parâmetros são utilizados no controle de qualidade da indústria e em ações governamentais de fiscalização, bem como em pesquisas e desenvolvimento de novos produtos e inovações tecnológicas. O tratamento térmico é, sem dúvida, um dos métodos mais eficientes de conservação dos alimentos. Contudo, ele provoca uma série de alterações físicas, químicas, sensoriais e nutricionais, tais como a mudança de textura, de cor, de sabor, de aroma e perda de vitaminas.

Referências

ALMEIDA, F. D. L. *et al.* Fructooligosaccharides integrity after atmospheric cold plasma and high pressure processing of a functional orange juice. **Food Research International**, Ottawa, v. 102, p. 282-290, 2017.

ANWAR, S. *et al.* Bitter Orange (*Citrus aurantium L.*) Oils. In: ESSENTIAL Oils in Food Preservation, Flavor and Safety. [s. l.]: **Academic Press**, 2016. p. 259-268.

AOAC, **Official Methods of Analysis of the AOAC International**. Washington, DC: Association of Official Analytical Chemists, 2005.

ATALA, E.; VÁSQUEZ, L.; SPEISKY, H.; LISSI, E.; LÓPEZ-ALARCÓN, C. Ascorbic acid contribution to ORAC values in berry extracts: an evaluation by the ORAC-pyrogallol red methodology. **Food Chemistry**, Santiago, n. 113, v. 1, p. 331-335, 2009.

AYDENIZ-GUNESER, B. Cold pressed orange (*Citrus sinensis*) oil. In: COLD Pressed oils: green technology, bioactive compounds, functionality and applications. [s. l.]: **Academic Press**, 2020. p. 126-146.

BARBOSA, A. M.; ROCHA, T. A. F.; SALDARRIAGA, J. F.; ESTIATI, I.; FREIRE, F. B.; FREIRE, J. T. Alternative drying of orange bagasse in vibrofluidized bed for use in combustion. **Chemical Engineering and Processing – Process Intensification**, n. 152, 2020.

BARROSO, M. F. *et al.* Characterization of bioactive compounds in flavored waters and fruit juices. *In*: GRUMEZESCU, A. M.; HOLBAN, A. M. **Bottled and packaged water: the science of beverages**. v. 4. [s. l.]: Woodhead Publishing, 2019, p. 311-366.

BENZIE, I.; STRAIN, J. J. The Ferric Reducing Ability of Plasma (FRAP) as a measure of “antioxidant power”: the FRAP assay. **Analytical Biochemistry**, [s. l.], v. 239, p. 70-76, 1996.

BICAS, T. C. *et al.* Uso da espectroscopia de infravermelho médio com transformada de fourier (IV-TF) e quimiometria para classificação de vinhos e suco de uva. **Brazilian Journal of Research**, [s. l.], v. 8, n. 2, p. 89-97, 2017.

BOONCHU, T.; UTAMA-ANG, N. Optimization of extraction and microencapsulation of bioactive compounds from red grape (*Vitis vinifera L.*) pomace. **Journal of Food Science and Technology**, [s. l.], n. 52, v. 2, p. 783-792, 2013.

BRAND-WILLIAMS, W.; CUVELIER, M. E.; BERSET, C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. **LWT - Food Science and Technology**, [s. l.], v. 28, p. 25-30, 1995.

BRASIL. Decreto nº 6.871, de 4 de junho de 2009. Regulamenta a Lei n. 8.918, de 14 de julho de 1994, que dispõe sobre a padronização, a classificação, o registro, a inspeção, a produção e a fiscalização de bebidas. **Presidência da República**: Casa Civil, Brasília, DF, 4 jun. 2009. Disponível em: <http://www.planalto.gov>.

br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/decreto/d6871.htm. Acesso em: 16 dez. 2020.

BRASIL. Instrução Normativa nº 37, de 1 de outubro de 2018. Parâmetros analíticos e quesitos complementares aos padrões de identidade e qualidade de suco de fruta. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, 8 out. 2018. Disponível em: https://www.in.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/44304943/do1-2018-10-08-instrucao-normativa-n-37-de-1-de-outubro-de-2018-44304612. Acesso em: 16 dez. 2020.

BRASIL, E.; CHAVES, D. F. S.; XAVIER, A. A. O.; MERCADANTE, A. Z.; HASSIMOTTO, N. M. A.; LAJOLO, F. M. Effect of pasteurization on flavonoids and carotenoids in *Citrus sinensis* (L.) Osbeck cv. “Cara Cara” and “Bahia” Juices. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, São Paulo, n. 65, v. 7, p. 1371-1377, 2017.

BULL, M. K.; ZERDIN, K.; HOWE, E.; GOICOECHEA, D.; PARAMANANDHAN, P.; STOCKMAN, R.; STEWART, C. M. The effect of high pressure processing on the microbial, physical and chemical properties of Valencia and Navel orange juice. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, North Ryde, n. 5, v. 2, p. 135-149, 2004.

CASSANI, L.; TOMADONI, B.; MOREIRA, M. R.; AGÜERO, M. V. Improving quality parameters of functional strawberry juices: optimization of prebiotic fiber enrichment and geraniol treatment. **Food Bioprocess Technology**, [s. l.], n. 11, p. 2110-2124, 2018.

CHEDEA, V. S.; POP, R. M. Total polyphenols content and antioxidant DPPH assays on biological samples. *In*: **POLYPHENOLS in Plants**. [s. l.]: [s. n.], 2019.

COSTA, J. O. **Determinação do teor de vitamina C em polpas de frutas congeladas por iodimetria: uma opção para o controle de qualidade?** Vitória de Santo Antão: [s. n.], 2016.

CROWLEY, T. E. High-performance liquid chromatography. In: **PURIFICATION and Characterization of Secondary Metabolites**. [s. l.]: [s. n.], 2020. p. 49-58.

DU, J.; CULLEN, J. J.; BUETTNER, G. R. Ascorbic acid: chemistry, biology and the treatment of cancer. **Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Reviews on Cancer**, Iowa, n. 1826, v. 2, p. 443-457, 2012.

FENOGLIO, D.; FERRARIO, M.; SCHENK, M.; GUERRERO, S. UV-C light inactivation of single and composite microbial populations in tangerine-orange juice blend. Evaluation of some physicochemical parameters. **Food and Bioproducts Processing**, [s. l.], v. 117, p. 149-159, 2019.

FERREIRA, M. D.; SPRICIGO, P. C. Colorimetria – princípios e aplicações na agricultura. In: **ANÁLISES não destrutivas**. [s. l.]: [s. n.], 2017. p. 209-220.

FORATO, L. A. *et al.* Documentos 51: a espectroscopia na região do infravermelho e algumas aplicações. **Embrapa Instrumentação**, São Paulo, ano 1-16, nov. 2020.

GALAVERNA, G.; DALL'ASTA, C. Chapter 21: production processes of orange juice and effects on antioxidant components. **Processing and Impact on Antioxidants in Beverages**, [s. l.], p. 203-214, 2014.

GARCIA-VAQUERO, M.; RAJAURIA, G. Analytical techniques for phytochemical estimation in fruit juices. *In: FRUIT Juices: extraction, composition, quality and analysis.* [s. l.]: **Academic Press**, 2018. p. 669-692.

GOLIOMYTIS, M.; KOSTAKI, A.; AVGOULAS, G.; LANTZOURAKI, D. Z.; SIAPI, E.; ZOUMPOULAKIS, P.; DELIGEORGIS, S. G. Dietary supplementation with orange pulp (*Citrus sinensis*) improves egg yolk oxidative stability in laying hens. **Animal Feed Science and Technology**, Atenas, n. 244, p. 28-35, 2018.

GUO, W.; LI, W.; YANG, B.; ZHU, Z.; LIU, D.; ZHU, X. A novel noninvasive and cost-effective handheld detector on soluble solids content of fruits. **Journal of Food Engineering**, [s. l.], n. 257, p. 1-9, 2019.

IBGE. **Produção agrícola** – lavoura permanente. Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pesquisa/15/11863>. Acesso em: 21 novembro 2020.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz**. 1ª ed. digital: Métodos químicos e físicos para análise de alimentos. 4. ed. São Paulo, 2008.

KALL, M. A. Ascorbic acid: properties and determination. **Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition**, Søborg, p. 316-324, 2003.

KATARIYA A, P.; ARYAAC, S. S.; PANDIT, A. B. Novel, non-thermal hydrodynamic cavitation of orange juice: effects on physical properties and stability of bioactive compounds. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 62, p. 1-12, 2020.

KLIMCZAK, I. *et al.* Effect of storage on the content of polyphenols, vitamin C and the antioxidant activity of orange juices. **Journal of Food Composition and Analysis**, [s. l.], v. 20, n. 3-4, p. 313-322, 2007.

LINSTER, C. L.; VAN SCHAFTINGEN, E. Vitamin C: biosynthesis, recycling and degradation in mammals. **FEBS Journal**, n. 274, v. 1, p. 1-22, 2006.

MCGUIRE, R. G. Reporting of objective color measurements. **HortScience**, [s. l.], v. 27, p. 1254-1255, 1992.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO – MAPA. Manual. **Manual de métodos de análises de bebidas e vinagres: não alcoólicos, ácido ascórbico**, Brasília, 2020.

NJUS, D.; KELLEY, P. M.; TU, Y. J.; SCHLEGEL, H. B. Ascorbic acid: the chemistry underlying its antioxidant properties. **Free Radical Biology and Medicin**, Detroit, n. 159, p. 37-43, 2020.

OLIVEIRA, G. L. S. Determinação da capacidade antioxidante de produtos naturais *in vitro* pelo método do DPPH: estudo de revisão. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, [s. l.], v. 17, ed. 1, p. 45-50, 2015.

ORDÓÑEZ-SANTOS, L. E.; MARTÍNEZ-GIRÓN, J.; ARIAS-JARAMILLO, M. E. Effect of ultrasound treatment on visual color, vitamin C, total phenols, and carotenoids content in cape gooseberry juice. **Food Chemistry**, Palmira, n. 233, p. 96-100, 2017.

OZGEN, MUSTAFA. Modified 2,2-Azino-bis-3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid (ABTS) method to measure antioxidant capacity of selected small fruits and comparison to ferric reducing antioxidant

power (FRAP) and 2,2'-Diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) methods. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, [s. l.], v. 54, p. 1151-1157, 2006.

PEREZ, D.; LEIGHTON, F.; ASPÉE, A.; ALIAGA, C.; LISSI, E. Comparison of methods employed to evaluate antioxidant capabilities. **Biological Research**, Santiago, n. 33, v. 2, p. 71-77, 2000.

RAJAURIA, G.; TIWARI, B. K. Fruit juices: an overview. *In: FRUIT juices*. Dublin: [s. n.], 2018. p. 3-13.

RE, R. *et al.* Antioxidant activity applying an improved abts radical cation decolorization assay. **Free Radical Biology and Medicine**, [s. l.], v. 26, p. 1231-1237, 1999.

RIVAS, A. D. *et al.* Effect of PEF and heat pasteurization on the physical-chemical characteristics of blended orange and carrot juice. **Food Science and Technology**, [s. l.], v. 39, p. 1163-1170, 10 ago. 2006.

SANTOS, M. F.; DA SILVA, L. M.; TEIXEIRA, L. J. Q.; SARAIVA, S. H. Efeito do teor de sólidos solúveis e da temperatura sobre a densidade e o índice de refração de extrato de café. **Encontro Latino-Americano de Pós-Graduação**, 2020.

SCHERER, R. *et al.* Validation of a HPLC method for simultaneous determination of main organic acids in fruits and juices. **Food Chemistry**, n. 135, p. 150-154, 2012.

SEPTEMBRE-MALATERRE, A.; REMIZE, F.; POUCHERET, P. Fruits and vegetables, as a source of nutritional compounds and phytochemicals: changes in bioactive compounds during lactic fermentation. **Food Research International**, [s. l.], v. 104, p. 86-99, 2018.

SEWWANDI, S. D. C.; ARAMPATH, P. C.; SILVA, A. B. G.; JAYATISSA, R. Determination and comparative study of sugars and synthetic colorants in commercial branded fruit juice products. **Journal of Food Quality**, p. 1-11, 2020.

SHERAZI, Y. T. H.; BHUTTO, A. A.; MAHESAR, S. A.; BHANGER, M. I. Application of Fourier-Transform Infrared (FT-IR) spectroscopy for determination of total phenolics of freeze dried lemon juices. **Journal Chemical Society of Pakistan**, [s. l.], v. 39, n. 6, p. 955-961, 2017.

SILVA, E. K.; MEIRELES, M. A. A.; SALDAÑA, M. D. A. Supercritical carbon dioxide technology: a promising technique for the nonthermal processing of freshly fruit and vegetable juices. **Trends in Food Science and Technology**, Edmonton, n. 97, p. 381-390, 2020.

TIVELI, S. W. *et al.* **Beterraba: do plantio à comercialização**. 2011. Disponível em: <http://www.iac.sp.gov.br/publicacoes/arquivos/iacbt210.pdf>. Acesso em: 16 jun. 2019.

USDA. Citrus: world markets and trade. United States Department of Agriculture: **Foreign Agricultural Service**. Washington, jan. 2020. Disponível em: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/citrus.pdf>. Acesso em: 22 abril 2020.

VERVOORT, L. *et al.* Thermal versus high pressure processing of carrots: a comparative pilot-scale study on equivalent basis. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, Wageningen, n. 15, p. 1-13, 2012.

WANG, J. *et al.* Influence of high-intensity ultrasound on bioactive compounds of strawberry juice: profiles of ascorbic acid, phenolics,

antioxidant activity and microstructure. **Food Control**, [s. l.], v. 96, p. 128-136, 2019.

WANG, J.; LIU, Q.; XIE, B.; SUN, Z. Effect of ultrasound combined with ultraviolet treatment on microbial inactivation and quality properties of mango juice. **Ultrasonics Sonochemistry**, Wuhan, n. 64, 2020.

WU, X.; BEECHER, G. R.; HOLDEN, J. M.; HAYTOWITZ, D. V.; GEBHARDT, S. E.; PRIOR, R. L. Lipophilic and hydrophilic antioxidant capacities of common foods in the United States. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, n. 52, v. 12, p. 4026-4037, 2004.

WORLDSTAD, R. E.; SMITH D. E. Color analysis. *In*: NIELSEN, S. S. (org.). **Food Analysis**. 5. ed. United States: Springer, 2019.

Índice

A

acidez total titulável, 12, 91, 92

açúcares totais, 13, 96, 97

alta pressão, 10, 11, 12, 35, 62, 63,
64, 75, 107

análises físico-químicas, 87

AP, 62, 63, 64, 65, 66

aplicação, 16, 17, 18, 20, 26, 27, 36,
39, 40, 67, 74, 92, 106, 107

aplicações, 31, 38, 42, 43, 62, 63, 68,
72, 75, 113

Aplicações, 10, 11, 19, 23, 28, 32, 37,
41, 64, 69, 73

AT 76, 86

atividade antioxidante 18, 27,
39, 76, 78

ATT 76, 81, 82

campo elétrico pulsado 53, 54,
55, 63, 64

campos elétricos pulsados 9, 53, 54,
67

CEP 53, 63, 64, 65, 66

concentração 9, 11, 13, 14, 15,
16, 24, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32,
33, 34, 35, 36, 37, 38, 40, 80, 81,
88, 89, 91

concentrar 13, 14, 20, 25, 31,
32, 38, 40

conservar 9, 53, 54

crioconcentração 9, 13, 14, 36, 37,
38, 39, 40

cromatografia líquida de alta eficiên-
cia 76, 83

evaporação 13, 14, 21, 24, 28,
40

HPLC 76, 83, 101

legislação 76

membrana 11, 14, 15, 16, 17,
18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26,
27, 28, 29, 30, 32, 33, 34, 35,
40, 63, 64

membranas 14, 16, 18, 19, 20, 21, 23, 24, 25, 27, 28, 30, 31, 51, 59
 métodos emergentes 13
 métodos físico-químicos 76, 78
 MF 13, 16, 17, 18, 19
 microfiltração 13, 14, 15, 16, 17, 18, 40
 nanofiltração 13, 14, 15, 24, 25, 26, 32, 40
 NF 13, 24, 26, 27
 OD 13, 32, 33, 34, 35
 OR 13, 28, 29, 30, 31
 osmose direta 13, 14, 15, 32, 33, 34, 40
 osmose reversa 13, 15, 24, 28, 29, 30, 32, 40
 padrão de identidade e qualidade 76
 parâmetros de qualidade 11, 76
 processos térmicos 53, 54
 qualidade 4, 9, 11, 14, 15, 22, 23, 26, 37, 38, 39, 54, 57, 60, 61, 62, 65, 66, 76, 77, 78, 79, 81, 82, 84, 91, 96, 98
 sólidos solúveis 11, 21, 30, 33, 76, 79, 81, 82, 101
 sólidos solúveis totais 76, 79, 82
 SS 76, 79, 81
 SST 76, 79, 82
 suco de laranja 9, 11, 76, 77, 78, 79, 85, 87, 88, 89, 92, 94
 Suco de laranja 23, 31, 39, 57, 61, 76
 TAU 53, 59, 60
 técnicas assistidas por ultrassom 53, 54, 59, 67
 tecnologias 9, 13, 14, 15, 24, 40, 53, 54, 55, 61, 63, 65, 67
 tecnologias de membrana 9, 13, 14, 15, 24, 40
 tecnologias de processamento 53, 55, 63, 67
 tecnologias emergentes 13, 15, 40, 55, 67
 tratamentos de conservação 76
 UF 13, 20, 21, 22, 23
 ultrafiltração 13, 14, 15, 16, 20, 21, 22, 24, 40

Sobre os autores

LUCIANO JOSÉ QUINTÃO TEIXEIRA

Professor Associado do Departamento de Engenharia de Alimentos do CCAE-Ufes. Engenheiro de Alimentos, Mestre e Doutor em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). É Mestre e Doutor em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela Universidade Federal de Viçosa onde também cursou Engenharia de Alimentos. Desde agosto de 2008 é professor da Universidade Federal do Espírito Santo onde ministra as disciplinas de Análise de Alimentos, Conservação de Alimentos e Toxicologia de Alimentos para alunos da graduação. Orienta no programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Ufes onde também ministra as disciplinas de Análise de Alimentos e Processamento Não-térmico dos Alimentos. Contato: luqteixeira@yahoo.com.br

MAGNO FONSECA SANTOS

Engenheiro Químico pelo Ceunes-Ufes e Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos pelo CCAE-Ufes e Doutorando em Engenharia Química pela USP.

É Técnico em Administração pelo Instituto Federal do Espírito Santo, Engenheiro Químico e Mestre em Ciência e Tecnologia de

Alimentos pela Universidade Federal do Espírito Santo e Doutorando em Engenharia Química pela Universidade de São Paulo. Na graduação atuou em projetos de pesquisa na área de síntese, caracterização, atividade antioxidante e antifúngica de complexos de cobre com ligantes organossulfurados. No mestrado desenvolveu o projeto com o objetivo de otimizar tecnologias de concentração e conservação de alimentos para produção de refrigerante de malte. No doutorado desenvolve uma avaliação da reação de deslocamento gás-água reversa (reverse water gás shift, RWGS) para produção de CO a partir de CO₂ e sua integração aos processos de eletrólise da água para produção de hidrogênio e síntese Fischer-Tropsch, visando a produção de hidrocarbonetos na faixa do diesel a partir de CO₂. Contato: magnofsantos@hotmail.com

COLABORADORES

ANTONIO MANOEL MARADINI FILHO

Professor Adjunto do Departamento de Engenharia de Alimentos do CCAE-Ufes, Engenheiro de Alimentos, Mestre e Doutor em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela UFV. Contato: antoniomaradinifilho@yahoo.com.

BÁRBARA SANTOS VALIATI

Mestranda em Nutrição e Saúde do CCS-Ufes, Nutricionista e Pós-graduada em Epidemiologia pela Ufes. Contato: barbara_30valiati@hotmail.com

BRUNA GASPARINI MACHADO

Consultora Senai-ES, Mestranda em Nutrição e Saúde pelo CCS-UFES, Engenheira de Alimentos pelo CCAE-Ufes e Pós-graduada em Vigilância Sanitária e Qualidade de Alimentos. Contato: brunagamachado@gmail.com

LUCIANO JOSÉ QUINTÃO TEIXEIRA

Professor Associado do Departamento de Engenharia de Alimentos do CCAE-Ufes, Engenheiro de Alimentos, Mestre e Doutor em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela UFV.

Contato: luqteixeira@yahoo.com.br

MAGNO FONSECA SANTOS

Engenheiro Químico pelo Ceunes-Ufes e Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos pelo CCAE-Ufes e Doutourando em Engenharia Química pela USP(SP)

Contato: magnofsantos@hotmail.com

MATEUS DA SILVA JUNQUEIRA

Professor Associado e Chefe do Departamento de Engenharia de Alimentos da UFSJ. Engenheiro de Alimentos, Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos e Doutor em Fisiologia Vegetal pela UFV.

Contato: mateusjunq@yahoo.com.br

SÉRGIO HENRIQUES SARAIVA

Professor Associado do Departamento de Engenharia de Alimentos do CCAE-Ufes. Engenheiro de Alimentos, Mestre e Doutor em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela UFV.

Contato: sergiohsaraiva@gmail.com.

