



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO REGIONAL
DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

ANA JÚLIA DE OLIVEIRA SANTIAGO

**ESTUDO REOLÓGICO DE EMULSÃO COM POLPA DESIDRATADA
E DESENGORDURADA DE ABACATE (*Persea americana*)**

JOÃO PESSOA

2024

ANA JÚLIA DE OLIVEIRA SANTIAGO

**ESTUDO REOLÓGICO DE EMULSÃO COM POLPA DESIDRATADA
E DESENGORDURADA DE ABACATE (*Persea americana*)**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado a Coordenação do Curso de
Tecnologia de Alimentos da Universidade
Federal da Paraíba como requisito
complementar para obtenção do título de
tecnólogo de tecnólogo de alimentos.

Orientadora: Profa. Dra. Carolina
Cavalcanti Lima de Albuquerque
Coorientadora: MS. Natasha Carolina Melo
Diniz

JOÃO PESSOA

2024

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

S235e Santiago, Ana Júlia de Oliveira.

Estudo reológico de emulsão com polpa desidratada e
desengordurada de abacate (*Persea americana*) / Ana
Júlia de Oliveira Santiago. – João Pessoa, 2024.
66 f. : il.

Orientação: Carolina Cavalcanti Lima de Albuquerque.

Coorientação: Natasha Carolina Melo Diniz.

TCC (Graduação) – UFPB/CTDR.

1. Emulsificante. 2. Polpa de abacate. 3.
Propriedades reológicas. I. Albuquerque, Carolina
Cavalcanti Lima de. II. Diniz, Natasha Carolina Melo.
III. Título.

UFPB/CTDR

CDU 664:634.653

ANA JÚLIA DE OLIVEIRA SANTIAGO

**ESTUDO REOLÓGICO DE EMULSÃO COM POLPA DESIDRATADA
E DESENGORDURADA DE ABACATE (*Persea americana*)**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Banca Examinadora designada pelo Curso de Graduação em Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal da Paraíba como requisito para obtenção do título de Tecnóloga em Alimentos.

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 **CAROLINA LIMA CAVALCANTI DE ALBUQUERQUE**
Data: 29/10/2024 22:27:09-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Assinatura: _____
Profa. Dra. Carolina Lima Cavalcanti de Albuquerque
(DTA/CTDR/UFPB)

Documento assinado digitalmente
 **NATASHA CAROLINA MELO DINIZ**
Data: 30/10/2024 06:45:52-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Assinatura: _____
MS. Natasha Carolina Melo Diniz
(DTA/CTDR/UFPB)

Documento assinado digitalmente
 **CRISTIANI VIEGAS BRANDÃO GRISI**
Data: 30/10/2024 09:43:49-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Assinatura: _____
Dra. Cristiani Viegas Brandão Grisi
(PPGEQ/CT/UFPB)

João Pessoa, 29 de outubro de 2024.

Dedico a Deus e Nossa Senhora, por serem minha força e guia em todos os momentos. Aos meus pais, pelo amor e apoio incondicional em cada etapa da minha caminhada acadêmica, e a todos os amigos e profissionais que me ajudaram a chegar até aqui.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus, por me conceder força, sabedoria e serenidade em todos os momentos desta jornada. À Nossa Senhora, por sua intercessão e proteção, sendo sempre um guia espiritual em minha vida. Sem essa fé, muitos desafios teriam sido insuperáveis.

Aos meus pais, que com amor incondicional, paciência e compreensão, me apoiaram desde o início, sendo meu alicerce emocional e motivacional. Agradeço por cada palavra de incentivo, por acreditarem em mim mesmo nos momentos em que eu mais duvidei, e por todo o sacrifício que fizeram para que eu pudesse chegar até aqui. Nada disso seria possível sem o apoio e a confiança que sempre depositaram em mim.

Aos meus professores, pelo incansável esforço em compartilhar conhecimento, por suas orientações e ensinamentos que transcenderam as salas de aula e foram essenciais para meu desenvolvimento acadêmico e pessoal. Cada conselho, correção e incentivo ao pensamento crítico foram fundamentais para a construção deste trabalho e para a formação da pessoa que sou hoje.

Aos técnicos, que muitas vezes nos bastidores, foram essenciais para o andamento deste projeto. Agradeço pela dedicação, competência e disponibilidade em auxiliar em todos os aspectos necessários. Seu trabalho foi fundamental para a realização deste TCC.

A todos vocês, minha mais profunda gratidão.

“Não espere com medo as mudanças na vida; em vez disso, olhe para eles com plena esperança de que, à medida que surgem, Deus, a quem você pertence, irá guiá-lo com segurança por todas as coisas; e quando você não aguentar, Deus o carregará em Seus braços”.

São Francisco de Sales

RESUMO

Este trabalho aborda a caracterização reológica, emulsificante e morfológica da polpa liofilizada (PL) e da polpa liofilizada e desengordurada (PLD) de abacate (*Persea americana*), visando seu uso como ingrediente funcional em alimentos. Considerando a crescente demanda por alimentos que ofereçam benefícios à saúde, além da nutrição básica, este estudo apresenta uma alternativa sustentável para a utilização de subprodutos do abacate, muitas vezes descartados. As análises envolveram a avaliação da capacidade emulsificante das amostras, bem como testes reológicos para verificar o comportamento de escoamento e viscosidade aparente em diferentes temperaturas, e estudos microscópicos para observar a morfologia estrutural da polpa e a presença de grânulos de amido. Os resultados indicaram que a PLD possui uma capacidade emulsificante de 53,2%, superior à da PL, que apresentou 48,5%, sugerindo que a retirada de lipídios melhora essa propriedade e torna o ingrediente mais versátil para uso em alimentos. Em ambos os tratamentos, observou-se um comportamento pseudoplástico, onde a viscosidade aparente diminui com o aumento da taxa de cisalhamento. Esse comportamento é vantajoso para estabilidade e aplicabilidade em processos industriais. A viscosidade inicial da PL foi mais baixa que a da PLD, especialmente em temperaturas elevadas: a PL apresentou 80 Pa·s a 10 °C e cerca de 30 Pa·s a 50 °C, enquanto a PLD atingiu 160 Pa·s a 10 °C e 60 Pa·s a 50 °C. Essas diferenças indicam que a PLD tem maior potencial para formar uma rede estrutural resistente. Além disso, os modelos matemáticos de Herschel-Buckley e Casson apresentaram o melhor ajuste aos dados experimentais, com coeficientes de determinação acima de 0,99, validando a adequação desses modelos para representar o comportamento das emulsões. A análise microscópica confirmou a presença de grânulos de amido e fibras, componentes que contribuem para a estabilidade da emulsão e o espessamento. Este estudo amplia o entendimento sobre as propriedades tecnológicas da polpa de abacate e aponta para seu potencial como um emulsificante natural e espessante em formulações de alimentos saudáveis, com possível impacto positivo no desenvolvimento de produtos alimentares que atendem às demandas por produtos mais saudáveis e ambientalmente sustentáveis.

Palavras-chave: Emulsificante; Abacate; Reologia.

ABSTRACT

This study addresses the rheological, emulsifying, and morphological characterization of freeze-dried (PL) and freeze-dried defatted (PLD) avocado pulp (*Persea americana*), aiming at its use as a functional ingredient in foods. Considering the growing demand for foods that offer health benefits beyond basic nutrition, this study provides a sustainable alternative for the use of avocado by-products, which are often discarded. Analyses included evaluating the emulsifying capacity of the samples, conducting rheological tests to assess flow behavior and apparent viscosity at different temperatures, and microscopic studies to observe pulp structure and starch granules. The results indicated that PLD has an emulsifying capacity of 53.2%, higher than that of PL, which showed 48.5%, suggesting that lipid removal enhances this property and makes the ingredient more versatile for food applications. Both treatments showed pseudoplastic behavior, where apparent viscosity decreased with increased shear rate, a feature advantageous for stability and applicability in industrial processes. The initial viscosity of PL was lower than that of PLD, particularly at elevated temperatures: PL showed 80 Pa·s at 10 °C and about 30 Pa·s at 50 °C, while PLD reached 160 Pa·s at 10 °C and 60 Pa·s at 50 °C. These differences indicate that PLD has a higher potential to form a resilient structural network. Furthermore, the Herschel-Buckley and Casson models showed the best fit to the experimental data, with determination coefficients above 0.99, validating these models' suitability for representing emulsion behavior. Microscopic analysis confirmed the presence of starch granules and fibers, which contribute to emulsion stability and thickening. This study enhances understanding of the technological properties of avocado pulp, highlighting its potential as a natural emulsifier and thickener in healthy food formulations, with a possible positive impact on the development of products that meet demands for healthier and more sustainable options.

Keywords: Emulsifier; Avocado pulp; Rheological properties.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Composição centesimal dos coprodutos do processamento do abacate, dados da literatura.....	20
Tabela 2 -	Equações dos modelos matemáticos de Ostwald-de-Waele (Lei da Potência), Casson, Bingham e Herschel-Bulkley.....	29
Tabela 3 -	Resultados da análise de capacidade emulsificante das polpas liofilizadas (PL) e liofilizada e desengordurada (PLD) do presente trabalho e dados da literatura.....	36
Tabela 4-	Composição centesimal polpa liofilizada (PL) de abacate, dados de própria autoria e dados da literatura.....	37
Tabela 5-	Composição centesimal da polpa desengordurada de abacate (PLD), dados de própria autoria e dados da literatura.....	37
Tabela 6 -	Parâmetros reológicos para os modelos de Bingham, Ostwald-de-Waele (Lei da Potência), Herschel-Buckley e Casson para emulsão com PLD de Abacate.....	41
Tabela 7 -	Parâmetros reológicos para os modelos de Bingham, Ostwald-de-Waele (Lei da Potência), Herschel-Buckley e Casson para emulsão com PL de Abacate.....	43

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-	Mapa da Produção Brasileira de Abacate.....	14
Figura 2-	Processo de secagem natural.....	18
Figura 3-	Classificação reológica de fluidos.....	26
Figura 4-	Processo de obtenção da polpa de abacate.....	31
Figura 5-	Polpa de abacate in natura (A) e polpa de abacate liofilizada (B)....	35
Figura 6-	Polpa de abacate liofilizada (A) e polpa de abacate liofilizada e desengordurada (PLD).....	35
Figura 7-	Curvas de escoamento em diferentes temperaturas para emulsão com polpa de abacate liofilizada (1) e Liofilizada e Desengordurada (2)	40
Figura 8-	Curvas de Viscosidade aparente para emulsão com PL (1) e PLD (2)	45
Figura 9-	Gráfico de gelatinização das amostras de PL e PLD.....	48
Figura 10-	Microscopia em luz polarizada das amostras de emulsões óleo- aguada FLD(A) e FL(B).....	51
Figura 11-	Microscopia em luz polarizada das amostras de FLD (A) e FL (B), para observação dos amidos nativos presentes nas amostras.....	52
Figura 12-	Malha FLD com adição de Safranina.....	52

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 OBJETIVOS.....	11
2.1 OBJETIVO GERAL	11
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	13
3.1 ABACATE (<i>Persea americana</i>)	13
3.1.1 Processamento do abacate.....	14
3.1.2 Polpa desidratada de abacate.....	17
3.1.3 Coprodutos do processamento do abacate.....	19
3.2 EMULSÕES	23
3.2.1 Tipos de emulsões e aplicações industriais	23
3.3 EMULSIFICANTES	24
3.4 REOLOGIA.....	24
3.4.1 Reologia de fluidos.....	25
3.4.2 Propriedades reológicas dos fluidos não newtonianos.....	25
4 MATERIAIS E MÉTODOS	31
4.1 OBTENÇÃO DA POLPA LIOFILIZADA (PL) E LIOFILIZADA E DESENGORDURADA (PLD)	31
4.2 CAPACIDADE EMULSIFICANTE	32
4.3. ENSAIOS PRELIMINARES.....	33
4.4 PROPRIIDADES REOLÓGICAS.....	33
4.5 ANÁLISE MICROSCÓPICA	34
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
5.1 PROCESSAMENTO DO ABACATE	35
5.2 ATIVIDADE EMULSIFICANTE.....	36
5.3 ANÁLISES REOLÓGICAS	37
5.3.1 Efeito da temperatura sobre a viscosidade	45
5.4 GELATINIZAÇÃO.....	47
5.4.1 Análises microscópicas	49
6 CONCLUSÃO	53
REFERÊNCIAS.....	55

1 INTRODUÇÃO

Entre as frutas tropicais mais relevantes, o abacate se destaca como a de maior demanda global nos últimos dez anos. Sua produção tem crescido em média 6% ao ano e, em 2018, 35% da produção mundial de abacate foi destinada à exportação. Em comparação, outras frutas tropicais, como abacaxi e manga, apresentaram taxas de exportação entre 3% e 5% (ALTENDORF, 2019). O Brasil é o sétimo maior produtor mundial de abacate, com uma produção aproximada de 422.545 Toneladas em 2023 (IBGE 2024) sendo que as regiões Sudeste e Sul se destacam na produção, com São Paulo à frente, seguido por Minas Gerais, Paraná e Espírito Santo.

O abacate, conhecido cientificamente como *Persea americana Mill*, possui uma composição nutricional relevante a saúde humana, sendo rico em minerais, proteínas, fibras, e elevado teor de ácidos graxos que contribuem para a prevenção de doenças cardíacas. Além disso, é uma fonte rica em substâncias fitoquímicas ativas, como vitamina E, carotenoides, esteróis e compostos fenólicos, entre outros (LEE et al., 2004).

Nos últimos anos, a demanda por alimentos funcionais, que oferecem benefícios à saúde, além da nutrição básica, tem aumentado, impulsionando a inovação no desenvolvimento de novos produtos. Dentre os ingredientes de interesse está a polpa desengordurada de abacate, um subproduto da extração de óleo que retém compostos bioativos e fibras. Esse subproduto apresenta potencial como emulsificante natural, podendo ser utilizado na formulação de produtos alimentícios, como *shakes* (TONOLI, 2023).

Embora o abacate seja amplamente reconhecido por seu alto teor de lipídios, sua polpa também possui propriedades emulsificantes. Coelho et al. (2019) estudaram a interação da polpa de abacate com proteínas do soro de leite e destacaram seu potencial na estabilização de emulsões. A revisão de Tonoli (2023) reforça a versatilidade do abacate em diversas aplicações alimentares, apontando para o crescente interesse por produtos derivados dessa fruta, especialmente aqueles que utilizam seus subprodutos de forma sustentável e inovadora.

Nesse contexto, a reologia, que estuda o comportamento de materiais sob deformação e fluxo, desempenha um papel fundamental no desenvolvimento e na formulação de produtos alimentícios, especialmente aqueles que envolvem emulsões,

como *shakes* e maioneses. A reologia de emulsões está diretamente relacionada à textura, estabilidade e aceitação sensorial do produto final. No caso de produtos à base de abacate, a alta concentração de lipídios na polpa confere propriedades reológicas que são essenciais para a formação e estabilização de emulsões (HASENHUETTL; HARTEL, 2019).

Segundo Hasenhuettl e Hartel (2019), a reologia das emulsões é crucial para determinar a funcionalidade dos emulsificantes, que precisam formar uma interface estável entre fases oleosas e aquosas, prevenindo a separação e assegurando a consistência do produto durante toda a sua vida útil.

Segundo Steffe (1996), o comportamento reológico dos ingredientes alimentícios afeta diretamente características sensoriais importantes, como textura, cremosidade e sensação na boca, fatores decisivos para a aceitação do consumidor. Além disso, Hasenhuettl e Hartel (2019) enfatizam que a reologia das emulsões desempenha um papel fundamental na estabilidade do produto, garantindo que a emulsão permaneça homogênea e consistente durante o armazenamento e consumo. Ao integrar esses conceitos na formulação de *shakes* funcionais, é possível criar produtos de maior apelo comercial e qualidade sensorial, além de promover o uso sustentável de subprodutos.

Para analisar a hipótese de que as polpas liofilizada e liofilizada e desengordurada de abacate possuem boa capacidade emulsificante para serem aplicadas em produtos alimentícios, este trabalho apresenta um estudo reológico de emulsão com polpa desidratada e desengordurada do abacate, contribuindo para a compreensão das suas propriedades tecnológicas, abrindo caminhos para seu uso em novas formulações alimentícias que atendem às exigências do mercado por produtos mais saudáveis e sustentáveis.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Caracterização da polpa desidratada e desengordurada de abacate e suas emulsões através das propriedades reológica, emulsificantes e morfológica.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar a capacidade emulsificante da polpa desengordurada e liofilizada de abacate;
- Estudar as características reológicas de emulsões com adição das polpas processadas de abacate desengordurada e liofilizada;
- Avaliar a influência da temperatura na viscosidade das emulsões;
- Utilização da microscopia para análise morfológica de amido nas emulsões e das polpas desengordurada e liofilizada.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

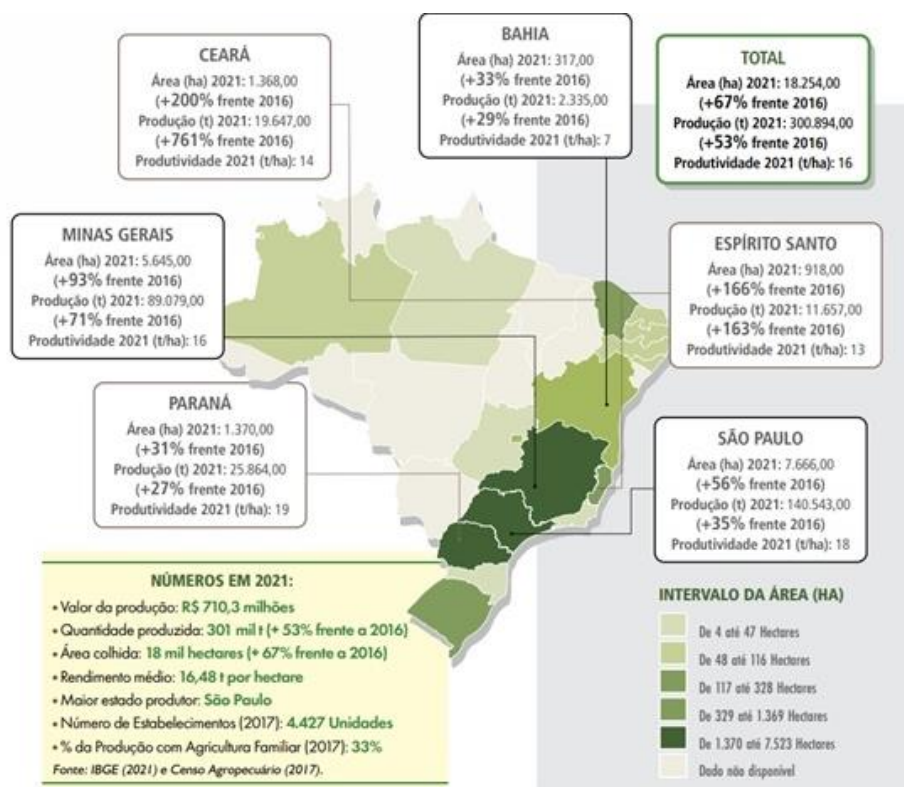
3.1 ABACATE (*Persea americana*)

O abacate (*Persea americana* Mill) é uma fruta nativa do continente americano, amplamente produzida no território brasileiro. Há um grande número de variedades, entre elas Fortuna, Quintal, Geada, Margarida e Hass (JORGE et al., 2015). Em 2023, o Brasil produziu aproximadamente 422.545 toneladas de abacate em uma área de 22.697 hectares.

O estado de São Paulo produziu o equivalente a 385.997 mil reais, seguido por Minas Gerais (269.542 mil reais) e Ceará (95.696 mil reais), que juntos são os estados que agregam o maior valor de venda do fruto.

No mesmo ano, a Paraíba produziu o equivalente a 2.268 mil reais em produção anual de abacate. Dados do IBGE de 2023 mostram que a Paraíba produziu cerca de 664 toneladas de frutas cobrindo uma área de 94 hectares, sendo 28 toneladas de frutas produzidas em bananeiras (IBGE, 2023).

Figura 1 - Mapa da Produção Brasileira de Abacate



Fonte: IBGE (2021); Censo Agropecuário (2017); Hortifruti Brasil (2023).

O abacate se destaca entre os demais frutos, por estar entre os mais completos em qualidade nutricional, com teor de proteína na polpa fresca variando de 1 a 2%, fibra de 3,80 a 4,85% e óleo de 5 a 64%. Além disso, também contém alguns sais minerais e vitaminas, principalmente C e E (*α-tocoferol* e *γ-tocoferol*) (SALGADO et al., 2008; DIAUTO et al., 2014; JACOBO-VELÁSQUEZ; BERASATEGI et al., 2012).

Consumido *in natura* ou utilizado na indústria alimentícia, ou cosmética, a principal característica do abacate é o alto teor de óleo de sua polpa, que varia de acordo com as cultivares, a localização da árvore e a época de colheita. Portanto, a extração do óleo da polpa é uma opção viável, visto que é utilizado na indústria alimentícia ou farmacêutica, devido às suas propriedades nutricionais (OLIVEIRA et al., 2013; SANTANA et al., 2015).

Sua polpa carnuda favorece um azeite de alta qualidade e com grande quantidade de ácido oleico, que se assemelha às propriedades físico-químicas do azeite de oliva (TANGO; CARVALHO; SOARES, 2004). O óleo de abacate contém diversos compostos bioativos, incluindo carotenoides, ácido ascórbico, compostos fenólicos, tocoferóis, fitoesteróis, entre outros (SANTOS et al., 2014).

3.1.1 Processamento do abacate

O abacate oferece diversas possibilidades de aproveitamento através do processamento de sua polpa, que pode ser usada como base para uma variedade de produtos, como pastas refrigeradas ou congeladas, purês, patês, guacamole, azeites, entre outros (RODRÍGUEZ et al., 2020; WANG et al., 2022).

Embora no Brasil o processamento de abacate ainda seja pouco comum, pois o fruto era tradicionalmente visto como um alimento muito calórico, o que restringia seu consumo (BISSOLI; BARCELOS, 2018), em países como o México, grande produtor e consumidor de abacate, é comum encontrar produtos industrializados à base de abacate.

A busca por alimentos reconhecidamente saudáveis para a alimentação humana tem crescido de forma expressiva. Nesse contexto, a produção de azeite extravirgem de abacate tem se popularizado mundialmente, devido aos seus benefícios para a saúde do consumidor (OLIVEIRA; SILVA; MESQUITA, 2018). O azeite de abacate possui uma composição de ácidos graxos similar à do azeite de

oliva, incluindo o ácido oleico, tornando-se uma excelente opção para diversificar o mercado nacional e contribuir para a redução dos custos com a importação de azeite de oliva (TANGO; CARVALHO; SOARES, 2004).

Para aproveitar os mesmos equipamentos utilizados na produção de azeite de oliva (que ficam subutilizados fora da safra das azeitonas) na extração do azeite de abacate, é sugerido o seguinte processo: primeiro, os abacates são lavados em um tanque e despulpados. Em seguida, a polpa é misturada com água em proporção de 1:1 em um tanque de mistura com agitação e aquecimento entre 45 e 50°C. A separação do azeite é então realizada por centrifugação em centrífugas trifásicas e filtração por filtro prensa (FERRARI, 2015).

3.1.1.1 Prensagem

De acordo com Santana et al. (2015), existem outras técnicas para extração do azeite de abacate, como prensagem contínua ou descontínua de polpas desidratadas, ou liofilizadas, extração de polpa fresca com adição de enzimas, e métodos com solventes orgânicos. Contudo, este último não é amplamente utilizado comercialmente, pois pode afetar negativamente as propriedades químicas do óleo.

Segundo Fellows (2019), no processamento de prensagem para extrair componentes de materiais vegetais, como sucos de frutas e óleos vegetais, os compostos desejados estão dentro das células das plantas. Para liberá-los, é necessário romper essas células, o que pode ser feito de duas formas:

1. **Etapá Única:** As células são rompidas e o líquido é extraído simultaneamente, o que torna o processo mais econômico, com maior rendimento e menores custos operacionais.
2. **Duas Etapas:** Primeiro, o material vegetal é triturado para produzir uma polpa ou farinha, seguido da extração do líquido em uma prensa. Essa abordagem é mais eficaz em alguns casos, como na extração de óleos de sementes e nozes.

Para óleos vegetais, a prensagem é mais eficiente após a redução do tamanho das sementes ou nozes em farinha e, em seguida, o aquecimento da mistura. O aquecimento reduz a viscosidade do óleo e ajuda a liberar o óleo das células intactas,

além de remover a umidade. É importante ajustar o teor de umidade de cada oleaginosa para maximizar o rendimento do óleo durante o processo.

Novas tecnologias estão sendo desenvolvidas com foco em solventes renováveis. Entre elas, destaca-se a Tecnologia Supercrítica.

3.1.1.2 Tecnologia supercrítica

, É uma técnica de extração que utiliza fluidos em estados críticos de temperatura e pressão como solventes. Geralmente utiliza-se o CO₂ por ser atóxico e inerte, podendo-se adotar alta pressão e temperaturas moderadas. Essa técnica tem como principal vantagem a simplicidade na separação do soluto, uma vez que o CO₂, em estado fluido supercrítico (acima de 32°C e 72bar) se separa espontaneamente, voltando a ser gás, quando a mistura soluto-solvente deixa o extrator, eliminando a necessidade de etapas adicionais de purificação.

Apesar de a extração de óleo de abacate com solventes orgânicos oferecer altos rendimentos, esse processo pode ter consequências negativas para o meio ambiente. A extração mecânica, realizada por prensagem a frio ou centrifugação, é considerada uma tecnologia limpa, porém, tende a gerar rendimentos de extração mais baixos (KURLAENDER, 2004). A utilização de dióxido de carbono supercrítico (scCO₂) surge como uma alternativa viável, uma vez que esse solvente ecológico é eficaz na extração de compostos de baixa polaridade, como óleos e gorduras. Além disso, o processo resulta em um produto (óleo) e um subproduto (torta desengordurada) sem vestígios de solvente, proporcionando elevados rendimentos de extração (CORZZINI et al., 2017).

O CO₂, sendo uma molécula não polar, facilita a extração de substâncias não polares e de baixa polaridade, como lipídios. Co-solventes, como o etanol, podem ser utilizados em diferentes concentrações para ajustar a polaridade da mistura scCO₂/etanol, o que melhora a solubilidade e a extração de outros compostos, como tocoferóis. Para medir a eficiência da extração em relação ao rendimento e ao tempo necessário, são elaboradas curvas de extração (massa de solvente em função do tempo de extração) sob variadas condições de temperatura e pressão, que se relacionam diretamente à concentração do soluto na matéria-prima e à solubilidade deste soluto no solvente (CORZZINI et al., 2017).

Corzzini et al. (2017) e Abaide et al. (2017) estudaram a extração de óleo da polpa de abacate por extração com fluido supercrítico (SFE) em condições semelhantes, obtendo resultados comparáveis, com o percentual de óleo recuperado variando aproximadamente entre 54% e 98%.

3.1.2 Polpa desidratada de abacate

3.1.2.1 Secagem natural

A secagem natural é uma das técnicas mais antigas e amplamente adotadas em países em desenvolvimento e subdesenvolvidos para conservar alimentos, como grãos, vegetais e frutas. Esse método utiliza a energia solar para remover a umidade dos produtos, dependendo principalmente do calor e do vento, sem o uso de máquinas ou dispositivos eletrônicos.

Apesar de ser uma alternativa econômica, o processo é mais demorado em relação à secagem artificial. Geralmente, utilizam-se bandejas e redes para proteger os alimentos de insetos, mas há secadores naturais mais eficientes, como os que possuem tampas de vidro que retêm o calor solar e permitem a entrada de ar quente, graças à inclinação adequada da estrutura (CELESTINO, 2010; MOREIRA et al., 2019).

Figura 2 - Processo de secagem natural



Fonte: Celestino (2010).

3.1.2.2 Secagem em leito fixo

Nos secadores de leito fixo, o produto permanece parado durante o processo de secagem, enquanto o ar quente é forçado a atravessar o material. Essa técnica pode ser aplicada tanto para secagem de camadas espessas quanto finas. Apesar de ser simples e eficiente, a exposição prolongada ao calor pode resultar em perdas de compostos bioativos.

Para minimizar esses efeitos, os pesquisadores têm utilizado pré-tratamentos combinados com a secagem, evitando problemas como o escurecimento enzimático, perda de aroma e alteração da cor natural dos alimentos (RODRIGUES; MARFIL, 2020; SILVA; SOUZA; BARROZO, 2018).

Nascimento et al. (2023) investigaram a cinética de secagem e a aplicação de modelos matemáticos em leito fixo para farinhas obtidas a partir de resíduos agroindustriais, incluindo a farinha de caroço de abacate. E obtiveram bons resultados de umidade (abaixo de 12%) e a atividade de água (A_w abaixo de 0,55).

3.1.2.3 Secagem em camada de espuma

A técnica de secagem em camada de espuma transforma alimentos líquidos ou semilíquidos em pó, preservando suas qualidades nutricionais e sabor. Utiliza-se emulsificantes para criar uma espuma que, ao ser desidratada, é ideal para produtos sensíveis ao calor. O pó resultante é fácil de reidratar e tem aplicações em alimentos como sopas e sorvetes (ARAÚJO et al., 2017).

As vantagens dessa técnica incluem temperaturas de secagem mais baixas, que ajudam a preservar as propriedades dos produtos, e um tempo de secagem mais curto, devido à maior área exposta ao ar. Isso resulta em um produto poroso, de fácil reidratação e com menor custo operacional (MELO et al., 2013). A técnica tem se destacado na produção de alimentos inovadores com valor agregado, preservando suas características sensoriais.

Santos (2023) investigou a influência do pré-tratamento com etanol na secagem da polpa de abacate em camada de espuma e sua aplicação em produtos de panificação. O estudo apresentou resultados satisfatórios, com o teor de umidade final das amostras ficando inferior a 12% e a atividade de água (A_w) reduzida para menos de 0,55, atendendo aos requisitos regulamentares para estabilidade e conservação do produto.

3.1.2.4 Liofilização

A liofilização é um método de desidratação que não impacta os alimentos como as técnicas tradicionais que utilizam calor. Embora tenha um custo elevado, é ideal para produtos sensíveis ao calor e para a preservação das características originais do alimento. Um produto liofilizado se torna mais competitivo pela sua praticidade no transporte e armazenamento, pois ocupa menos espaço, é mais leve e não requer refrigeração, desde que esteja bem embalado em vácuo para evitar a absorção de umidade e contato com o oxigênio (FELLOWS, 2019).

A polpa de abacate liofilizada, por exemplo, pode ser usada como ingrediente funcional, preservando as propriedades da polpa fresca, com maior estabilidade e vida útil. Estudos mostram que ela mantém altos níveis de lipídios, sendo uma rica fonte de ácidos graxos monoinsaturados, benéficos para a saúde cardiovascular (WANG et al., 2010).

Além disso, a polpa de abacate liofilizada contém compostos antioxidantes, como vitamina E e carotenoides, que desempenham um papel crucial na prevenção do estresse oxidativo nas células. A incorporação dessa polpa em formulações alimentícias pode melhorar a qualidade nutricional de alimentos processados, além de favorecer o desenvolvimento de produtos funcionais, como suplementos e alimentos voltados para a saúde (SANTOS et al., 2008).

3.1.3 Coprodutos do processamento do abacate

3.1.3.1 Casca e semente

Independentemente do método de extração do óleo utilizado, são gerados coprodutos como a casca, a torta desengordurada da polpa e o caroço. Esses resíduos sólidos correspondem a cerca de 21-30% da fruta e são compostos majoritariamente por carboidratos, como fibras (hemicelulose) e amido, especialmente no caroço, o que sugere potencial para a produção de energia. Além disso, também é possível identificar a presença de compostos bioativos nesses resíduos, como compostos fenólicos (ARAÚJO et al., 2018). A tabela 2 expõe a composição

centesimal, dados como proteínas e lipídios encontrados em resíduos como casaca e caroço de abacate:

Tabela 1 - Composição centesimal dos coprodutos do processamento do abacate, dados da literatura

Análise	Caroço (Hass)	Casca (Hass)	Caroço (Breda)	Casca (Hass)
Umidade	14,55	9,87 ±0,11	12,720 ± 0,58	2,15±0,01
Lipídios	3,32±0,96	2,18±0,17	0,222 ± 0,16	10,10±0,07
Fibras	3,97±0,08	1,29±0,09	3,519 ± 0,04	-
Proteínas	0,14±0,03	0,17±0,02	6,414 ± 0,42	1,74±0,42
Açúcares	1,64±0,08	0,65±0,06	-	16,47±0,42
Carboidratos	-	-	73,840 ± 0,12	-
Minerais	2,81±0,13	2,15±0,01	3,082 ± 0,02	1,31±0,01
Fonte	DIAUTO et al. (2014)	DIAUTO et al. (2014)	FRASSON et al. (2020)	FERRARI (2015)

3.1.3.2 Torta da polpa desengordurada

A polpa desengordurada de abacate é um subproduto gerado após a extração do óleo da polpa ou da semente. Este resíduo, muitas vezes descartado, durante esse processo, tem a maior parte dos lipídios removida, preservando, contudo, importantes nutrientes como fibras, proteínas, compostos bioativos como polifenóis, que possuem propriedades antioxidantes e minerais. (LÓPEZ-COBO et al., 2016). Dessa forma, a polpa desengordurada pode ser aproveitada em diferentes aplicações alimentares, como uma alternativa saudável e funcional devido ao seu perfil nutricional.

O amido se distingue dos demais carboidratos por ocorrer na natureza em partículas chamadas grânulos (BEMILLER et al., 2010). A maioria dos grânulos de amido, independentemente da fonte vegetal ou tecido, é composta majoritariamente (cerca de 98%, em base seca) por dois homopolissacarídeos: amilose e amilopectina. A fração restante do grânulo é formada por compostos intermediários e constituintes em traços ou contaminantes, como lipídios, minerais e proteínas (MCDONAGH, 2012;

SCHMIELE; SAMPAIO; CLERICI, 2019; AGAMA-ACEVEDO; FLORES-SILVA; BELLO-PEREZ, 2019; BEMILLER, 2019).

O amido é uma matéria-prima de grande importância mundial devido à sua ampla disponibilidade e multifuncionalidade, que se deve às diversas funções tecnológicas que desempenha. Ele pode ser utilizado na formulação de rações, medicamentos, cosméticos, plásticos, adesivos, tintas, entre outros. Entretanto, o setor que mais utiliza o amido é a indústria alimentícia, responsável por cerca de 60% do consumo, onde o amido atua como ingrediente funcional, graças às suas propriedades tecnológicas, em uma ampla variedade de alimentos e com diferentes finalidades, como substituto do glúten, agente gelificante, espessante, estabilizante, vitrificante e encapsulante (SCHMIELE; SAMPAIO; CLERICI, 2019; AVÉROUS; HALLEY, 2014).

Em seu estado nativo, o amido tem uma capacidade limitada de emulsificação, devido à sua estrutura majoritariamente hidrofílica. No entanto, ao passar por modificações físicas, químicas ou enzimáticas, ele pode adquirir propriedades anfifílicas, ou seja, possuir, tanto partes hidrofílicas (afinidade com a água), quanto hidrofóbicas (afinidade com o óleo), o que é fundamental para estabilizar emulsões (ALMEIDA et al., 2024).

Os amidos são considerados a principal fonte de energia para a alimentação humana. Amidos comerciais, tradicionalmente extraídos de cereais como milho e trigo, são amplamente utilizados para modificar a textura e aparência dos alimentos. Mais especificamente, o amido tem a capacidade de alterar características como adesividade, espessamento, vitrificação, estabilidade de emulsão, turvação, estabilidade de espuma, retenção de umidade, expansão, crocância e gelificação (AGAMA-ACEVEDO; FLORES-SILVA; BELLO-PEREZ, 2019). Assim, o amido é comumente usado na produção de pães, tortas, biscoitos, confeitos, molhos, sopas, maioneses, sorvetes, bebidas, massas, pudins, entre outros (OMOREGIE; EGHAREVBA, 2020).

No entanto, materiais feitos de amido nativo apresentam limitações, como baixa estabilidade ao calor, baixa solubilidade em água, alta temperatura de gelatinização, alta viscosidade e propriedades mecânicas inadequadas. Esses problemas estão relacionados ao alto grau de cristalinidade do amido, o que reduz sua reatividade (DOME, 2020). Devido a essas limitações, o amido nativo não atende aos requisitos

de muitas aplicações nutricionais e industriais (PARK, 2018). De forma geral, as aplicações industriais do amido são ampliadas após a modificação química, física ou enzimática do material amiláceo (AMARAWEEERA et al., 2021; PUNIA, 2020).

Outro aspecto relevante é a caracterização morfoestrutural dos grãos de amido e das fibras presentes. Esses componentes estão intimamente ligados aos processos térmicos e mecânicos, uma vez que suas interações com fatores físico-químicos, estruturais e ambientais influenciam diretamente as propriedades de textura dos produtos (MENDES; BORA; RIBEIRO, 2012).

A análise morfológica da estrutura do produto também é fundamental para o desenvolvimento de biocompósitos, como coberturas comestíveis e filmes biodegradáveis à base de amido. Esse tipo de análise permite avaliar aspectos microestruturais, como tamanho, forma e eventuais danos, como fraturas superficiais, que podem afetar a qualidade do produto final (NAVIA; VILLADA; TORRES, 2010).

As proteínas têm a capacidade de estabilizar emulsões e espumas devido a propriedades específicas. Elas se adsorvem na interface entre líquidos, como óleo e água, o que contribui para a redução da tensão superficial. Essa redução não apenas melhora a estabilidade das emulsões e espumas, mas também confere uma camada consistente e protetora ao redor das gotículas de óleo ou bolhas de ar, resultando em uma textura mais homogênea e duradoura (MARTÍNEZ et al., 2017).

Se a superfície das partículas proteicas for completamente hidrofílica (ou seja, com afinidade pela água), a adsorção na interface pode não ocorrer. No entanto, quando há resíduos hidrofóbicos (que repelem a água), a proteína pode interagir com as superfícies dos líquidos, facilitando a adsorção. Dessa forma, a adsorção na interface entre ar/água e óleo/água depende da probabilidade de os grupos hidrofóbicos presentes nas proteínas colidirem com a fronteira entre as fases líquidas. Além disso, a estabilidade conformacional das proteínas, sua capacidade de reorganização na interface, e a distribuição dos grupos funcionais polares (hidrofílicos) e apolares (hidrofóbicos) influenciam diretamente na adsorção e na formação de suas estruturas anfífilas (PANAGIOTOU; FISHER, 2012).

Corzzini et al. (2017), Abaide et al. (2017) e Salazar-Lopez et al. (2020), estudaram a extração de óleo da polpa de abacate por SFE, porém não realizaram estudos da torta desengordurada. É escasso na literatura o número de trabalhos/pesquisas realizadas sobre a polpa liofilizada e desengordurada de abacate,

porém, trabalhos ainda não publicados mostraram teores satisfatórios de proteínas, fenólicos e absorção de água/óleo desta polpa.

3.2 EMULSÕES

Emulsões são sistemas compostos por dois ou mais componentes que não se misturam, geralmente uma fase aquosa e outra oleosa, onde uma é dispersa na outra em forma de pequenas gotículas. A interface entre essas fases é formada graças ao equilíbrio eletrostático entre gotículas com cargas opostas, permitindo a criação de novos produtos funcionais. Essa característica é amplamente utilizada nas indústrias alimentícia, cosmética e farmacêutica. No setor alimentício, emulsões são a base de produtos como molhos, sorvetes, sobremesas e maioneses, influenciando diretamente a textura, estabilidade, sabor e aparência. Fatores como concentração, tamanho das gotículas, carga e suas interações são determinantes para a qualidade dos produtos à base de emulsão (WANG et al., 2018; ABDOLMALEKI et al., 2016; DALGLEISH, 2003; FRIBERG; LARSSON; SJOBLUM, 2004).

3.2.1 Tipos de emulsões e aplicações industriais

As emulsões alimentares são, em geral, divididas em duas categorias: emulsões óleo em água (O/A) e emulsões água em óleo (A/O), sendo as emulsões O/A as mais comuns em produtos alimentares. Essas emulsões consistem em gotículas de óleo dispersas em uma fase aquosa, como acontece no leite, na maionese, nas sopas, nos molhos e no iogurte. Por outro lado, as emulsões A/O são caracterizadas pela presença de gotículas de água dispersas em uma fase oleosa, com exemplos principais como margarina e manteiga. Todas as emulsões alimentícias apresentam instabilidade termodinâmica e têm a tendência de se separar em duas fases. Para garantir sua estabilidade, é necessário empregar forças mecânicas e/ou agentes emulsificantes (TADINI, 2015).

3.3 EMULSIFICANTES

Os emulsificantes são aditivos amplamente utilizados pela indústria alimentícia para melhorar propriedades como textura, estabilidade, volume, maciez, aeração e homogeneidade dos produtos, contribuindo para uma melhor qualidade geral (RADUJKO et al., 2011). Esses aditivos também podem alterar a fase contínua dos produtos, conferindo efeitos específicos, como a redução da viscosidade em chocolates pela adição de lecitina, o que facilita o seu manuseio (MARTINI; HERRERA, 2008).

Devido à instabilidade natural das emulsões, os emulsificantes desempenham um papel fundamental na estabilização, reduzindo a tensão interfacial entre os líquidos imiscíveis e controlando o tamanho das gotículas formadas. Eles formam um biofilme de proteína ao redor das partículas de gordura, assegurando a homogeneidade do sistema (GUPTA et al., 2016). Características como polaridade, espessura da camada e composição química na interface são cruciais para a eficácia da emulsificação (COSTA et al., 2018).

A estrutura molecular dos emulsificantes é composta por uma parte hidrofílica, que interage com a fase aquosa, e outra lipofílica, que interage com a fase oleosa. Esse equilíbrio entre hidrofilicidade e lipofilicidade (HLB) é essencial para determinar a função do emulsificante, sendo que valores altos de HLB favorecem emulsões óleo em água (O/A), enquanto valores baixos favorecem emulsões água em óleo (A/O) (O'BRIEN, 2009; BASTIDA RODRÍGUEZ, 2013).

3.4 REOLOGIA

A reologia é a ciência que analisa o comportamento de materiais, sólidos ou fluidos, sob a ação de forças mecânicas, observando como eles se deformam ou escoam quando submetidos a tensões. Em outras palavras, estuda a resposta dos materiais às tensões aplicadas ou deformações. Para avaliar o comportamento reológico de diferentes substâncias, utiliza-se a reometria, que mede suas propriedades reológicas em diversas áreas da indústria. A reometria permite a obtenção de equações que descrevem esse comportamento, criando modelos matemáticos que correlacionam a tensão aplicada ao material com a deformação

resultante. Esses modelos ajudam a prever o comportamento de materiais em diferentes condições de uso e processamento (TADINI, 2015).

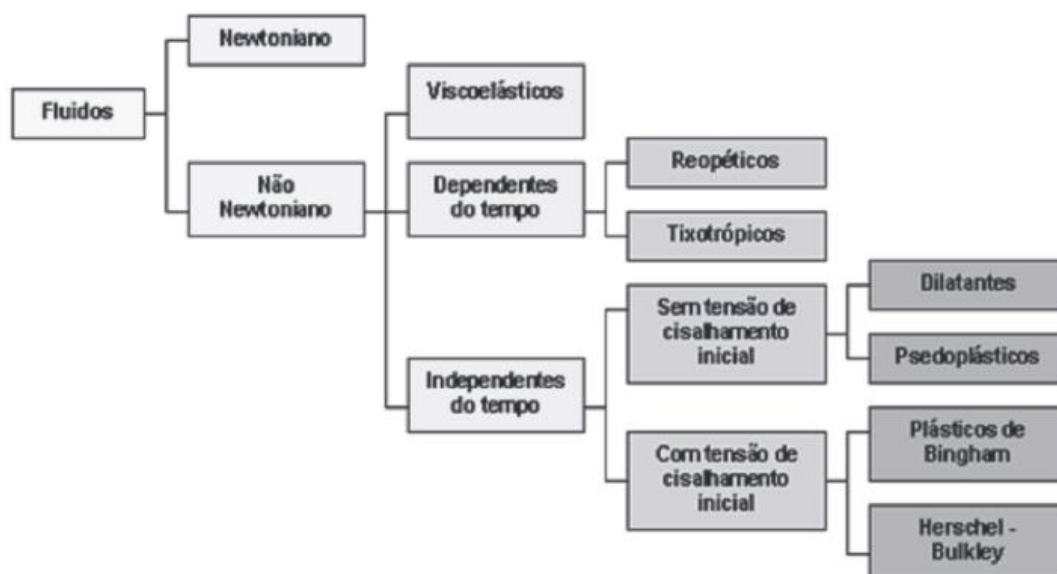
3.4.1 Reologia de fluidos

Os fluidos alimentícios são classificados em newtonianos e não newtonianos, de acordo com seu comportamento reológico. Fluidos newtonianos exibem uma relação linear entre a tensão de cisalhamento e a taxa de cisalhamento, com a viscosidade sendo constante e influenciada apenas pela temperatura e composição. Exemplos incluem água, leite e óleos. Por outro lado, a maioria dos alimentos é composta por fluidos não newtonianos, nos quais a viscosidade varia com a taxa de cisalhamento. Nesse caso, a relação entre a tensão e a taxa de cisalhamento não é linear, o que significa que sua viscosidade é influenciada por fatores adicionais além da temperatura, como o próprio movimento do fluido (TADINI, 2015).

3.4.2 Propriedades reológicas dos fluidos não newtonianos

Os fluidos não newtonianos ainda podem ser classificados em: viscoelásticos, dependentes e independentes do tempo, como se pode observar na Figura 3:

Figura 3 - Classificação reológica de fluidos



Fonte: Costa (2017).

3.4.2.1 Viscoelásticos

A avaliação do comportamento elástico de um fluido é crucial, pois suas propriedades serão bastante distintas (COSTA, 2017).

A elasticidade é determinada por diferentes parâmetros, dependendo do tipo de escoamento ao qual o fluido é submetido. Líquidos viscosos, como massas de farinha de trigo, gelatinas e biopolímeros, não têm uma forma geométrica definida e escoam irreversivelmente sob a ação de forças externas (FREIRE, 2012). Esses fluidos não mantêm uma forma fixa, caracterizando-se por uma resposta que depende das condições de aplicação de força.

Fluidos viscoelásticos, por sua vez, apresentam uma “memória”, retornando parcialmente à sua posição original após serem perturbados. Esse comportamento é semelhante ao de uma mola, que, ao ser esticada e solta, tenta voltar à sua posição inicial, embora o retorno não ocorra de forma perfeita, refletindo a complexidade do material (COSTA, 2017). A análise de tais fluidos é fundamental em diversas aplicações industriais e de saúde, evidenciando sua importância em diferentes contextos.

3.4.2.2 Dependentes do tempo

Alguns fluidos demonstram variações na viscosidade ao longo do tempo, mesmo sob uma taxa de cisalhamento constante. Essa característica pode ser classificada em duas categorias: Tixotropia e Reopexia.

A Tixotropia refere-se a sistemas cuja viscosidade diminui com o tempo quando submetidos a uma taxa de cisalhamento constante, retornando a aumentar quando a taxa de cisalhamento é reduzida devido à recuperação estrutural do material. Exemplos desse comportamento incluem suspensões concentradas, emulsões, soluções proteicas, petróleo cru, tintas e *ketchup*.

Por outro lado, a Reopexia caracteriza fluidos que experimentam um aumento da viscosidade ao longo do tempo quando estão sob uma deformação constante. Quando essa deformação é interrompida, a viscosidade retorna ao seu valor inicial, apresentando também um comportamento reversível. Um exemplo típico de fluido reopético é o iogurte (FREIRE, 2012).

3.4.2.3 Independente do tempo

Os fluidos não-newtonianos independentes do tempo são aqueles cujas propriedades reológicas independem do tempo de aplicação da tensão de cisalhamento (COSTA, 2017).

Estes fluidos ainda são subdivididos em: com ou sem tensão inicial.

3.4.2.4 Sem tensão inicial

Os fluidos não newtonianos que não requerem uma tensão de cisalhamento inicial para começar a fluir incluem a maioria dos fluidos nesta categoria. Segundo Costa (2017):

- **Pseudoplásticos:** Essas substâncias apresentam suas moléculas desordenadas em repouso. Quando submetidas a uma tensão de cisalhamento, as moléculas se orientam na direção da força aplicada, resultando em uma diminuição da viscosidade aparente conforme a força aumenta. Um exemplo prático é quando, ao utilizar um viscosímetro e variar a velocidade de rotação, as leituras coincidem em diferentes velocidades, indicando que o material se comporta como pseudoplástico, independentemente do tempo e da taxa de cisalhamento (COSTA 2017). A importância de um fluido pseudoplástico em formulações alimentares é significativa porque esse tipo de fluido apresenta uma diminuição da viscosidade à medida que a taxa de deformação (cisalhamento) aumenta. Isso facilita o processamento e a mistura de ingredientes, melhorando a dispersão e o manuseio dos produtos. Além disso, a pseudoplasticidade pode melhorar a sensação na boca e a estabilidade do produto, o que é essencial em alimentos como molhos, cremes e produtos lácteos (TADINI, 2019).
- **Dilatantes:** Estas substâncias apresentam um aumento da viscosidade aparente com o aumento da tensão de cisalhamento. Em suspensões, à medida que a tensão aumenta, o líquido intersticial que lubrifica as

partículas não consegue preencher os espaços, levando ao contato direto entre as partículas sólidas e, conseqüentemente, um aumento na viscosidade. O comportamento dilatante é menos comum do que a pseudoplasticidade e é observado em fluidos com altos níveis de defloculantes, como argilas, lama, amido de milho em água, ingredientes de balas e areia (COSTA, 2017).

3.4.2.5 Com tensão inicial

Fluidos que requerem uma tensão de cisalhamento inicial para começar a escoar incluem os seguintes tipos, conforme (FREIRE, 2012):

- **Plástico de Bingham:** Este fluido apresenta uma relação linear entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação, mas apenas após atingir uma tensão inicial. Em repouso, comporta-se como um sólido, começando a fluir somente após a aplicação de uma força.
- **Herschel-Bulkley:** Também conhecido como Bingham generalizado, este fluido também necessita de uma tensão inicial para fluir, mas a relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação é não linear. Essa relação é influenciada por um expoente adimensional, “ n ”, que varia conforme o tipo de fluido.
- Quando $n > 1$, o produto é dito como dilatante e quando $n < 1$ e $K > 0$, o material recebe o nome de pseudoplástico (SILVA et al., 2012).

Segundo Tadini (2015), os modelos matemáticos na indústria de alimentos são ferramentas essenciais para descrever quantitativamente os processos, possibilitando a previsão de comportamento durante o processamento. Eles são usados para entender como os diferentes parâmetros, como temperatura, pressão e composição, afetam o produto final, além de otimizar e controlar operações unitárias. As equações dos modelos matemáticos utilizados para ajustes de curvas estão expressas na tabela 2.

Tabela 2 – Equações dos modelos matemáticos de Ostwald-de-Waele (Lei da Potência), Casson, **Bingham** e Herschel-Bulkley

Lei da Potência	$\tau = k \cdot \dot{\gamma}^n$	τ = tensão de cisalhamento (Pa) k = índice de consistência (Pa.) $\dot{\gamma}$ = taxa de cisalhamento (s^{-1}) n = índice de comportamento (adimensional)
Modelo de Casson	$\tau^{0,5} = \tau_0^{0,5} + \dot{\gamma} n_p^{0,5}$ $\tau = \sqrt[n]{\tau_0^n + (\dot{\gamma} \cdot n_p)^n}$	τ = tensão de cisalhamento (Pa) τ_0 = tensão de cisalhamento inicial (Pa) n = parâmetro de consistência (Pa.s) $\dot{\gamma}$ = taxa de cisalhamento (s^{-1})
Modelo de Bingham	$\tau = \tau_0 + n_p \cdot \dot{\gamma}$	τ = tensão de cisalhamento (Pa) τ_0 = tensão de cisalhamento inicial (Pa) n_p = viscosidade plástica (Pa.s) $\dot{\gamma}$ = taxa de cisalhamento (s^{-1})
Modelo de Herschel-Bulkley	$\tau = \tau_0 + k \cdot \dot{\gamma}^n$	τ = tensão de cisalhamento (Pa) τ_0 = tensão de cisalhamento inicial (Pa) k = índice de consistência (Pa.s ⁿ) $\dot{\gamma}$ = taxa de cisalhamento (s^{-1}) n = índice de comportamento (adimensional)

Fonte: TADINI 2015.

Quando se fala em um coeficiente de correlação r próximo a 1, isso indica que o modelo matemático tem uma alta capacidade de prever os resultados experimentais, ou seja, o ajuste entre os valores preditos e observados é muito bom. Quanto mais próximo de 1 estiver r , melhor é o ajuste do modelo (TADINI, 2015).

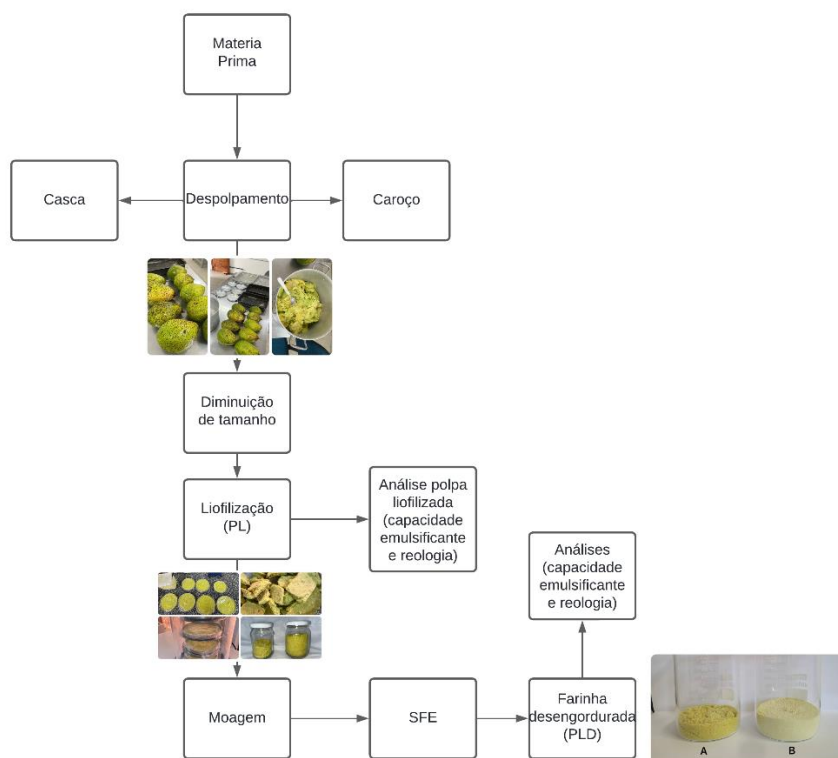
4 MATERIAIS E MÉTODOS

Os abacates da variedade Breda foram obtidos na central de abastecimento de João Pessoa. O experimento foi dividido em duas partes: na primeira parte, foi elaborada a polpa do abacate liofilizada e desengordurada, através do processo de liofilização, moagem e extração do óleo com fluido supercrítico (SFE). Posteriormente, a polpa liofilizada e desengordurada foi analisada quanto a sua capacidade emulsificante. Na segunda parte foi analisado as características reológicas de emulsões de cada amostra para comparação.

4.1 OBTENÇÃO DA POLPA LIOFILIZADA (PL) E LIOFILIZADA E DESENGORDURADA (PLD)

A obtenção da polpa do abacate foi realizada nos Laboratórios de Operações Unitárias e de Vegetais pertencentes à Universidade Federal da Paraíba (UFPB), localizados no Centro de Tecnologia e Desenvolvimento Regional (CTDR). As etapas do processamento do abacate estão apresentadas na figura 4.

Figura 4 - Processo de obtenção da polpa de abacate



Fonte: Própria autora.

O processamento dos abacates seguiu as etapas: seleção, limpeza e sanitização e despulpamento. 1139 g de polpa homogeneizada foi congelada – 19 °C por 24 h em um freezer doméstico e liofilizada por 96 h em um liofilizador (TERRONI, modelo LS3000, Brasil), sendo obtido 171,55 g de PL, apresentando um rendimento de processo de 15,06%. Por fim, a polpa liofilizada (PL) foi triturada em um moedor doméstico de facas, e armazenada em recipientes de vidro sob refrigeração até o momento de desgordurar.

Aproximadamente, 50 g da PL foi desgordurada por processo de extração de óleo em alta pressão, utilizando o Sistema SFE (*Waters*, modelo 1000F-2-FMC50, *Waters Corporation*, Pittsburgh, PA, EUA), equipado com banho termostático (refrigerador *Accel* 500 LC 230 V/60 Hz, *Thermo Fisher Scientific*, Waltham, EUA) mantido a -5°C, bombas de CO₂ e co-solvente, vaso extrator (500 ml) e dois vasos separadores (500 ml) para recuperação do extrato, válvulas reguladoras automáticas de “contrapressão” e um medidor de vazão. O solvente foi o CO₂ (pureza mínima de 99,9%), com vazão de 40 ± 2 g CO₂/min., e relação solvente/matéria-prima foi de 80 ± 2 (g/g). A pressão e temperatura utilizadas para as extrações foram de 40 MPa e 40 °C (vaso de extração) e 80 bar a 45 °C (separador 1) e 40 bar a 45 °C (separador 2). Obtendo 25g de PLD, apresentando um rendimento final de 50%. A polpa liofilizada e desgordurada (PLD) de abacate foi acondicionada em frasco de vidro e armazenada sob refrigeração até a realização das análises.

4.2 CAPACIDADE EMULSIFICANTE

A atividade emulsificante foi determinada conforme descrito por Yasumatusu et al. (1972) com algumas modificações. Preparou-se uma suspensão com 0,7 g de amostra em 10 ml de água destilada e 10 ml de óleo de soja em Becker de 100 ml. A suspensão foi emulsificada em agitador de haste, em agitação média por 1 min. A emulsão foi dividida em tubos de Falcon de 12 ml e centrifugados a 1500 x g por 5 min. A atividade emulsificante foi calculada como: (volume da camada emulsificada/volume total no tubo) x 100.

4.3. ENSAIOS PRELIMINARES

Para analisar as propriedades reológicas de PL e PLD, foram realizados ensaios preliminares com o objetivo de testar diferentes diluições e determinar as concentrações adequadas em emulsões. Inicialmente, foi diluído 0,20 g de PL e PLD em 100 ml de água, separadamente, conforme as diretrizes da RDC N° 234, de 26 de julho de 2018, utilizando como referência a quantidade de goma xantana ou goma guar. No entanto, não se observou uma alteração significativa no meio, uma vez que as amostras permaneceram líquidas e não ocorreu a solubilização de PL e PLD. Em uma segunda etapa, foi realizado um teste de diluição com 5 g de amostra em 75 ml de água e 65 ml de óleo, formando duas emulsões óleo-água com a adição de PL e PLD, separadamente. Essas emulsões foram utilizadas para análises reológicas por apresentarem consistência compatível para uso no reômetro.

4.4 PROPRIIDADES REOLÓGICAS

O comportamento reológico foi analisado de acordo com emulsões na mesma proporção utilizada a análise anterior e seguiu a metodologia proposta por Faraoni et al., (2013) com algumas modificações. As medidas reológicas foram realizadas nas temperaturas de 10, 20, 30, 40, 50 e 60 °C, em reômetro *MARS III (HAAKE MARS III)* (Alemanha), utilizando *rotor de placas* P35 Ti L - L14025 com valores de taxas de deformação variando entre 0 e 85 s⁻¹. Dados como: viscosidade aparente (η_{ap}), tensão de cisalhamento (τ) e taxa de deformação ($\dot{\gamma}$) foram obtidos através do *software Haake RheoWin Data Manager Version: 4.63.0004*. A corrida experimental teve duração de 5 s para cada ponto da curva. As curvas de escoamento obtidas para as emulsões foram ajustadas pelos modelos de Ostwald-de-Waele (Lei da Potência), Casson, Bingham e Hirschel-Buckley.

O melhor ajuste aos dados experimentais foi analisado com base no parâmetro r^2 . Quanto menor o valor de r^2 , maior a distância dos pontos experimentais ao modelo ajustado. Portanto, o modelo que melhor se ajusta é aquele com altos valores de r^2 (próximo de 1). Posteriormente, foi realizada a análise de gelatinização diretamente no reômetro. Para essa análise, foram utilizados 2 g de PL ou PLD diluídos em 7 mL para formação de uma pasta, utilizou-se geometria do tipo placa-placa de 35mm de diâmetro e uma capa protetora para evitar a evaporação da água durante o teste. As

amostras foram aquecidas de 50 a 85 °C, a 0,125 °C/s, e mantidas a 85 °C por 90 s, posteriormente foram resfriadas até 40 °C, a 0,125 °C/s.

4.5 ANÁLISE MICROSCÓPICA

A microscopia das amostras de abacate foi realizada especificamente para a visualização dos grânulos de amido presentes PL e PLD. Utilizando um microscópio (LEICA modelo DM1000, Alemanha), o software utilizado para a captura de imagens e tratamento foi o Leica Application Suite X versão 3.7.4.23463. O objetivo foi identificar e caracterizar os grânulos de amido, usando técnicas de luz polarizada e coloração com Safranina.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 PROCESSAMENTO DO ABACATE

No processo de desidratação, a partir de 1139 g de polpa *in natura*, obteve-se 171,55 g de PL, devido à perda de água durante a liofilização do produto, portanto, a PL apresentou um rendimento 15,06%. Na figura 5, estão representadas as imagens da polpa *in natura* e da polpa liofilizada.

A PL foi desengordurada, rendendo aproximadamente 50% de PLD (figura 6).

Figura 5 - Polpa de abacate *in natura* (A) e polpa de abacate liofilizada (B)



Fonte: Própria autora.

Figura 6 - Polpa de abacate liofilizada (A) e polpa de abacate liofilizada e desengordurada (B)



Fonte: Própria autora.

5.2 ATIVIDADE EMULSIFICANTE

Na tabela 5, está apresentada a análise da capacidade emulsificante de diferentes farinhas e polpas, incluindo os valores do presente trabalho e outros estudos da literatura.

Tabela 3- Resultados da análise de capacidade emulsificante das polpas liofilizadas (PL) e liofilizada e desengordurada (PLD) do presente trabalho e dados da literatura

Amostra	Valor Obtido	Referência
PL	48,50±3,93	Próprio Autor
PLD	53,20±2,54	Próprio Autor
Farinha Semente Abacate	55,55 ± 3,92	Medeiros (2017)
Polpa do fruto do quipá	55,34 ± 1,66	Dionisio (2017)

Valores expressos como média ± Desvio Padrão.

A farinha da semente de abacate estudada por Medeiros (2017) apresentou uma capacidade emulsificante de 55,5%. Isso pode estar relacionado ao maior teor de amido e fibras na semente, que podem ajudar na formação e estabilização de emulsões, o amido absorve a água e espessa o meio, enquanto as fibras formam uma rede que impede a separação de fases (SRIDHARAN, 2022).

O estudo de Dionísio (2017) com a polpa do quipá obteve uma capacidade emulsificante com valores entre 37,5; 41,66% e 55,34%, observando-se diferença significativa nos três estádios de maturação, sendo o de maior atividade emulsificante o estágio de maturação 2, com 55,34%. Isso pode ser atribuído à composição da polpa, rica em fibras e outros polissacarídeos, que ajudam a formar uma matriz estabilizadora nas emulsões. Dependendo do estágio de maturação, o conteúdo de proteínas e amido também pode variar, o que influenciaria a capacidade emulsificante.

O valor encontrado para PLD, comparado ao valor de PL, sugere que a remoção do óleo da amostra pode aumentar a capacidade emulsificante. Essa remoção de gordura concentra componentes como proteínas e polissacarídeos, incluindo amido, que desempenham papéis importantes na estabilização e emulsificação como apresentado na tabela 4 e 5. Esses componentes têm a

capacidade de se adsorver na interface entre os líquidos, melhorando a formação e a estabilidade das emulsões (LAM; NICKERSON, 2013).

Tabela 4 - Composição centesimal polpa liofilizada (PL) de abacate, dados de própria autoria e dados da literatura

Análise	PL	PL (Hass)
Umidade	4,2±0,00	13,99 ±0,25
Lipídios	47,97±0,05	64,09±1,60
Fibras	-	3,81±0,16
Proteínas	1,8±0,06	1,27±0,07
Açúcares	-	0,26±0,08
Carboidratos	41,25	-
Minerais	4,5±0,12	11,56±0,56
Fonte	Própria Autora*	DIAUTO et al., (2014)

* Dados de trabalhos ainda não publicados.

Tabela 5 - Composição centesimal da polpa desengordurada do abacate, dados da literatura.

Análise	PLD	Polpa Desengordurada
Umidade	3,67±0,01	2,710 ± 0,11
Lipídios	6,82±0,00	1,911 ± 0,02
Proteína	8,7±0,50	6,094 ± 0,11
Carboidrato	16,3	6,094 ± 0,11
Amido	37,52±0,02	-
Fibra	-	12,244 ± 0,08
Cinzas	7,9±0,23	1,927 ± 0,05
Fonte	Própria Autora*	FRASSON et al. (2020)

* Dados ainda não publicados

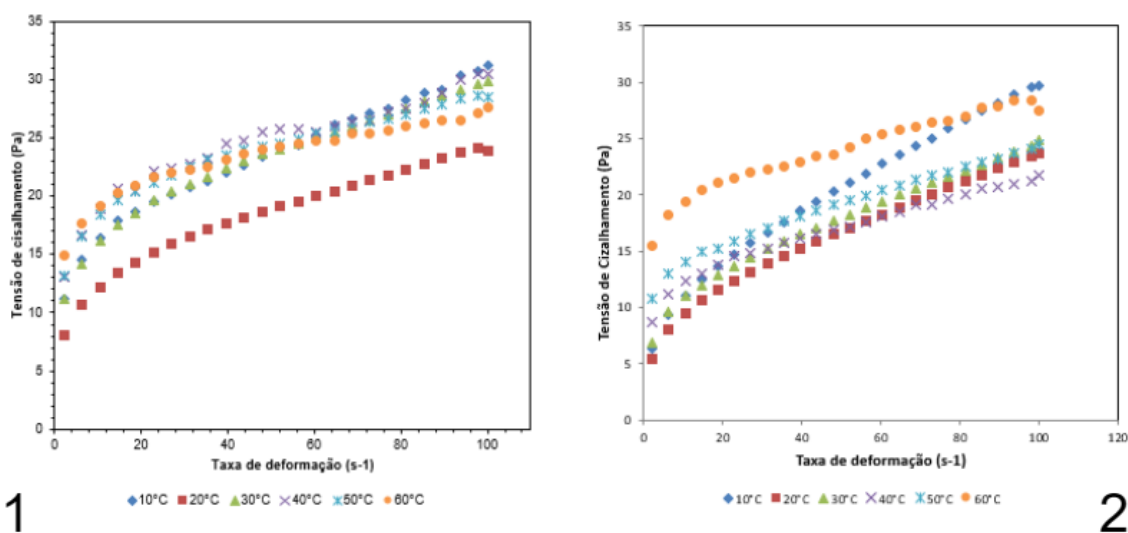
5.3 ANÁLISES REOLÓGICAS

A figura 7 ilustra como a PLD de abacate pode atuar como um agente emulsificante eficaz em baixas temperaturas, proporcionando boa viscosidade e potencial estabilidade. Entretanto, a elevação da temperatura reduz a viscosidade, o que pode indicar limitações para aplicações em formulações ou processos que utilizem altas temperaturas, onde a estabilidade da emulsão pode ser prejudicada.

À medida que a temperatura aumenta, observa-se uma diminuição na viscosidade para a mesma taxa de deformação. A PLD de abacate provavelmente contribui para a viscosidade inicial elevada em temperaturas mais baixas, pois proteínas e fibras aumentam a resistência ao fluxo. No entanto, com o aumento da temperatura, ambas podem perder eficiência na formação de uma rede estabilizadora, resultando na redução da viscosidade.

No presente estudo, observou-se um comportamento pseudoplástico nas amostras de PL e PLD de abacate, semelhante ao identificado na pesquisa de Soares (2019), com maionese, e no estudo de Spacki (2019), sobre suco de abacaxi com yacon, vitamina C e goma xantana. Esse comportamento, caracterizado pela diminuição da viscosidade com o aumento da taxa de deformação, é típico de emulsões estabilizadas por biopolímeros. Em ambos os casos, o aumento da temperatura resultou em uma significativa redução da viscosidade, especialmente em 50°C e 60°C, como ilustrado na Figura 5.

Figura 7 - Curvas de escoamento em diferentes temperaturas para emulsão com polpa de abacate liofilizada (1) e polpa de abacate liofilizada e desengordurada (2).



Fonte: Própria Autora

A amostra de PLD, mais rica em proteínas devido à remoção de óleo (como observado na tabela 5, tópico de capacidade emulsificante), promoveu aumento na viscosidade e na estabilidade das emulsões, em linha com os resultados de Soares (2019), que destacou o papel de proteínas como soro de leite e leite em pó na manutenção das propriedades estruturais da maionese. Isso confirma a importância

dos agentes emulsificantes, especialmente os biopolímeros, para a estabilidade e reologia das emulsões, sendo que a PLD demonstrou eficácia em condições de temperatura mais baixas.

Com o aumento da temperatura, a viscosidade diminui em ambas as polpas, indicando que esses sistemas apresentam características adequadas para aplicações em processos que necessitem de estabilidade reológica. No caso da PL, a viscosidade caiu de aproximadamente 80 Pa·s a 10 °C para cerca de 30 Pa·s a 50 °C, uma redução de aproximadamente 62,5%. Para a PLD, que apresentou uma viscosidade inicial maior, o valor passou de 160 Pa·s a 10 °C para 60 Pa·s a 50 °C, refletindo uma queda similar, mas com maior capacidade de resistência estrutural em temperaturas elevadas.

A elevada viscosidade inicial da PLD sugere que a remoção do óleo concentra componentes proteicos e polissacarídeos que promovem a estabilidade da emulsão. Em contraste, a PL, ainda contendo óleo, apresentou menor viscosidade, o que indica que o óleo interfere na capacidade das proteínas e fibras de formarem uma rede estabilizadora eficiente. Isso sugere que a PLD é mais eficaz para criar emulsões estáveis, o que é corroborado pelos achados de Soares (2019), que identificou que a remoção de gordura em maioneses melhora a capacidade emulsificante.

Em ambas as amostras, a viscosidade diminui com o aumento da temperatura. No entanto, a PLD mantém uma viscosidade mais alta em temperaturas elevadas, indicando maior resistência ao fluxo e estabilidade da emulsão, ao passo que a PL, por conter óleo, é menos eficaz na estabilização em altas temperaturas. Estudos como os de Soares (2019) e Spacki (2015) reforçam que sistemas com alta concentração de emulsificantes, especialmente proteínas, tendem a ser mais robustos em condições de temperatura e cisalhamento variáveis, apresentando maior viscosidade e estabilidade.

Embora a PL apresente potencial para uso em emulsões, a PLD destaca-se por sua capacidade superior de promover maior viscosidade e estabilidade. No contexto da indústria alimentícia, a escolha entre PL e PLD deve considerar as condições de processamento e os requisitos de estabilidade desejados para as emulsões. Ademais, a combinação de ambas as amostras pode ser explorada para otimizar as propriedades funcionais e a estabilidade, sendo possível também obter polpa de abacate liofilizada com teores de óleo predeterminados por meio de cinéticas

de extração com tecnologia supercrítica, que oferece alternativas inovadoras e saudáveis para formulações alimentícias.

Os parâmetros encontrados pelos modelos matemáticos para essa amostra estão dispostos na Tabela 6 abaixo.

Tabela 6 - Parâmetros reológicos para os modelos de Bingham, Ostwald-de-Waele (Lei da Potência), Herschel-Buckley e Casson para emulsão com PLD de Abacate.

Modelos													
Temperatura	Bingham			Lei da Potência			Herschel-Buckley				Casson		
	τ_0	n	r^2	k	n	r^2	τ_0	k	n	r^2	k	n	r^2
10	9,155	0,216	0,990	3,567	0,455	0,996	1,347	4,791	0,633	0,999	5,177	0,5	0,999
20	7,988	0,164	0,988	3,337	0,419	0,996	1,304	3,970	0,587	0,999	4,774	0,5	0,998
30	9,508	0,158	0,986	4,408	0,363	0,994	1,381	5,350	0,569	0,998	6,135	0,5	0,998
40	11,26	0,109	0,978	6,681	0,247	0,991	1,605	7,070	0,474	0,997	8,473	0,5	0,995
50	12,84	0,120	0,986	7,734	0,240	0,986	1,052	9,665	0,569	0,998	9,748	0,5	0,998
60	18,36	0,107	0,969	12,98	0,164	0,985	2,243	13,08	0,414	0,990	15,260	0,5	0,990

τ_0 - Tensão de cisalhamento inicial; n - Índice de comportamento; r^2 – Coeficiente de determinação; k- Índice de consistência.

A Tabela 6 apresenta os parâmetros reológicos obtidos para todos os modelos matemáticos, o modelo de Ostwald-de-Waele (Lei da Potência), não teve bom ajuste aos dados experimentais, com coeficientes de determinação (r^2) abaixo de 0,99 nas temperaturas de 50 °C e 60 °C. O índice de consistência (k) foi maior que zero, e o índice de comportamento do fluido (n) variou entre 0,16437 e 0,4559, confirmando o caráter pseudoplástico ($n < 1$ e $k > 0$) da emulsão, com adição de PLD, conforme descrito por Tadini (2015).

No modelo de Herschel-Buckley, os valores de n e k foram semelhantes aos do modelo de Ostwald-de-Waele, com tensão residual superior a zero em todas as temperaturas e coeficientes de determinação (r^2) superiores a 0,99, indicando um bom ajuste aos dados experimentais. O comportamento pseudoplástico também foi observado, como em polpas de frutas, conforme relatado por Silva et al. (2012).

No ajuste pelo modelo Casson, verificou-se que o índice de consistência (k) aumentou com a elevação da temperatura, variando de 4,774 a 15,26. O modelo de Bingham, por outro lado, apresentou os menores valores de r^2 , ficando abaixo de 0,99, o que indica um ajuste menos satisfatório em comparação com os outros modelos.

Ao comparar os modelos, os maiores valores de r^2 foram observados nos modelos de Herschel-Buckley e Casson, que representaram de maneira satisfatória o comportamento reológico da emulsão. O modelo de Casson mostrou um aumento considerável no índice de consistência com o aumento da temperatura, enquanto o modelo de Herschel-Buckley manteve o valor de k praticamente constante.

Assim como o modelo de Bingham, o modelo de Herschel-Buckley é uma extensão da Lei da Potência, aplicado a fluidos pseudoplásticos ou dilatantes, cujo escoamento só ocorre após a superação de uma tensão inicial de cisalhamento (TADINI, 2015).

Os parâmetros encontrados pelos modelos matemáticos para PL estão dispostos na Tabela 7 abaixo.

Tabela 7 - Parâmetros reológicos para os modelos de Bingham, Ostwald-de-Waele (Lei da Potência), Herschel-Buckley e Casson para emulsão com PL de Abacate.

Modelos													
Temperatura	Bingham			Lei da Potência			Herschel-Buckley				Casson		
	τ_0	n	r^2	k	n	r^2	τ_0	k	n	r^2	k	n	r^2
10	9,155	0,170	0,982	8,064	0,284	0,990	9,330	1,890	0,525	0,996	10,560	0,5	0,996
20	7,988	0,138	0,974	5,981	0,298	0,997	4,658	2,759	0,422	0,999	7,938	0,5	0,994
30	9,508	0,158	0,971	8,509	0,266	0,996	6,560	3,714	0,394	0,998	11,030	0,5	0,994
40	11,260	0,131	0,945	11,390	0,205	0,988	3,267	8,606	0,241	0,988	14,010	0,5	0,976
50	12,840	0,122	0,948	11,490	0,195	0,998	3,248	8,675	0,230	0,998	13,990	0,5	0,983
60	18,360	0,095	0,942	13,270	0,153	0,997	4,418	9,266	0,193	0,997	15,550	0,5	0,981

τ_0 - Tensão de cisalhamento inicial; n - Índice de comportamento; r^2 – Coeficiente de determinação; k- Índice de consistência

É apresentado na tabela 7 os valores dos parâmetros reológicos, o modelo não apresentou bom ajuste para os dados experimentais. Valores como o coeficiente de determinação (r^2) apresentaram-se abaixo de 0,99 nas temperaturas de 40 e 50 °C. Para o índice de consistência (k), os valores encontrados estão acima de zero, enquanto os valores para o índice de comportamento do fluido (n) variaram entre 0,153 e 0,298. O caráter pseudoplástico é observado quando $n < 1$ e $k > 0$ (TADINI, 2015). Portanto, de acordo com a literatura, a emulsão, com adição de PL, apresentou comportamento pseudoplástico.

Analizando-se o modelo de Herschel-Buckley, pode-se verificar que os valores de n e k são semelhantes aos valores encontrados no modelo de Ostwald-de-Waele, sendo que a tensão residual foi superior a zero em todas as temperaturas, apresentando ótimos valores de r^2 (maior que 0,99), no entanto, apresentou valores de 0,98 na temperatura de 40 °C.

Para o ajuste dos dados ao modelo Casson, observou-se que conforme o aumento da temperatura os valores do índice de consistência (k) aumenta com o aumento da temperatura apresentando valores de 7,938 a 15,550.

De acordo com os dados obtidos pelo modelo de Bingham, os valores de r^2 estiveram menores que 0,99 em todas as temperaturas. Este modelo apresentou menores valores para r^2 em relação aos demais modelos matemáticos utilizados neste estudo.

Fazendo uma comparação entre os modelos matemáticos estudados, observamos que os maiores valores para o coeficiente de determinação (r^2), foram representados pelos modelos matemáticos de Herschel-Buckley. O modelo representa satisfatoriamente o comportamento reológico da emulsão, apesar da pequena variação de r^2 na temperatura de 40°C, foi o modelo que apresentou os melhores valores de r^2 .

Semelhante ao modelo de Bingham, o modelo de Herschel-Bulkley é uma extensão do modelo da Lei da Potência. Ele é aplicado a fluidos pseudoplásticos ou dilatantes, cujo escoamento ocorre somente após a superação de uma tensão inicial de cisalhamento (TADINI, 2015). Spacki (2015), analisou o comportamento reológico de um suco de abacaxi adicionado de yacon, vitamina C e goma xantana (polissacarídeo), e constatou que as amostras apresentaram comportamento não

newtoniano com caráter pseudoplástico, sendo o modelo de Herschel-Buckley e Ostwald-de-Waele (Lei da Potência) os que melhor se ajustaram para o estudo.

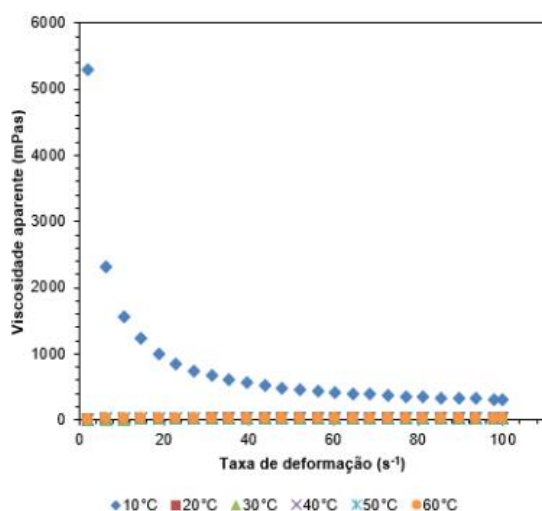
5.3.1 Efeito da temperatura sobre a viscosidade

Ao analisar o comportamento reológico das emulsões com adição de PL e PLD, e compará-las com os resultados de Spacki (2015) sobre suco de abacaxi adicionado de goma xantana, yacon e vitamina C, observou-se que ambos os sistemas, apesar de suas diferentes composições, exibem comportamento pseudoplástico.

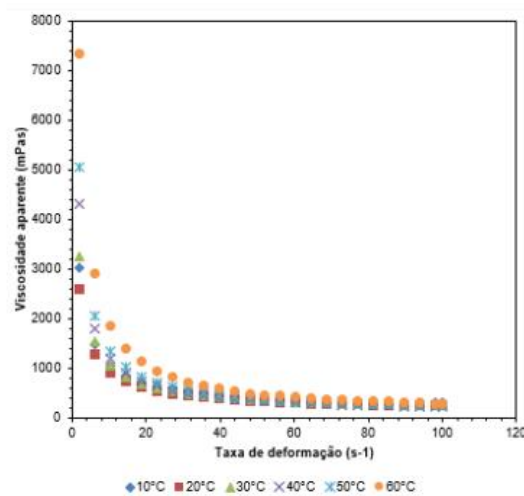
A pseudoplasticidade é caracterizada pela diminuição da viscosidade aparente à medida que a taxa de deformação aumenta, comportamento típico em sistemas ricos em biopolímeros, como fibras e proteínas. Este fenômeno ocorre porque, sob forças de cisalhamento, as interações entre os componentes do sistema se rompem, reorganizando-se de forma a permitir maior fluidez, o que reduz a viscosidade aparente (SPACKI, 2015).

Conforme observado nos gráficos da figura 8, ambas PL e PLD apresentam comportamento pseudoplástico, porém, com diferenças marcantes. A PLD mostrou viscosidade inicial mais alta em todas as taxas de deformação, principalmente em baixas temperaturas.

Figura 8 - Curvas de Viscosidade aparente para emulsão com PL (1) e PLD (2)



1



2

Fonte: Própria Autora

Por outro lado, a PL, que ainda contém óleo, apresentou uma viscosidade inicial mais baixa em temperaturas acima de 10°C, o que indica que a presença de lipídios interfere na capacidade das proteínas de formar essas redes estabilizadoras (SOARES, 2019). Porém a 10°C a viscosidade inicial da PL é alta, indicando que a temperaturas baixas o óleo pode solidificar, dificultando o escoamento da emulsão.

Esses resultados corroboram como o observado por Tadini (2015), que identificaram que emulsões contendo lipídios apresentam viscosidade e estabilidade reológica reduzidas, uma vez que os lipídios atuam como lubrificantes, enfraquecendo as interações moleculares responsáveis pela estrutura do sistema. Dessa forma, a remoção de óleo na PLD aumenta a eficiência das proteínas como emulsificantes, o que é evidenciado pela maior viscosidade aparente, sobretudo em baixas taxas de deformação.

Ambas as polpas demonstraram uma redução na viscosidade aparente com o aumento da taxa de cisalhamento, característica que facilita o processamento e aplicação industrial. Novamente, a PLD exibiu valores de viscosidade significativamente mais altos em baixas temperaturas, como 160 Pa·s a 10 °C, em comparação com a PL, que apresentou 80 Pa·s nas mesmas condições.

No entanto, a PLD manteve uma viscosidade mais alta em temperaturas elevadas, o que indica uma maior resistência ao fluxo e, portanto, melhor estabilidade reológica em condições de temperatura elevada, devido à presença de proteínas que mantêm a formação de uma rede estrutural mais estável em temperaturas moderadas a altas (TADINI, 2016).

Os resultados das polpas de abacate podem ser comparados com o estudo de Spacki (2015), que analisou o comportamento reológico do suco de abacaxi adicionado de goma xantana, yacon e vitamina C. O suco de abacaxi também exibiu comportamento pseudoplástico, com queda na viscosidade aparente à medida que a taxa de deformação aumentava.

No entanto, as viscosidades apresentadas pelo suco de abacaxi são significativamente menores que as observadas nas polpas de abacate. Esse contraste pode ser explicado pela menor concentração de sólidos no suco de abacaxi, uma vez que sistemas ricos em proteínas e fibras, como as PL e PLD de abacate, tendem a

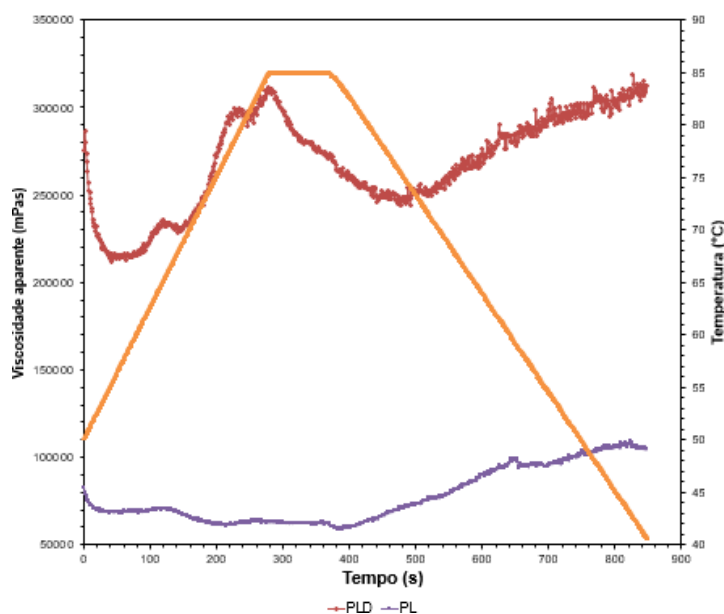
apresentar viscosidades mais altas devido à maior capacidade de formação de redes estruturais (SPACKI, 2015).

Além disso, a adição de goma xantana ao suco de abacaxi aumentou sua viscosidade e estabilidade em temperaturas elevadas, comportamento similar ao observado na PLD. Isso sugere que, assim como as fibras na PLD, a goma xantana atua como agente formador de rede estrutural, estabilizando o sistema sob condições de cisalhamento e aquecimento. O estudo de Spacki (2015) reforça essa observação, mostrando que a adição de biopolímeros, como a goma xantana, melhora a estabilidade reológica de sistemas alimentares, o que se alinha aos resultados observados na PLD.

5.4 GELATINIZAÇÃO

Durante as análises reológicas das emulsões, verificou-se um aumento da viscosidade aparente da emulsão contendo PLD em temperaturas elevadas (60°C). Para investigar se esse incremento estava relacionado à presença de amido na formulação da PLD, foi realizada uma análise de gelatinização. Os resultados obtidos estão apresentados na figura 7.

Figura 9 - Curva de gelatinização das amostras de PL e PLD



Fonte: Própria Autora

Como observado nos gráficos de viscosidade aparente (figura 6), ambas as emulsões com adição das polpas apresentaram um comportamento pseudoplástico, no qual a viscosidade diminui à medida que a taxa de deformação aumenta. Este comportamento é típico em sistemas contendo biopolímeros, como amidos e proteínas, que formam redes estruturais no fluido, resistindo ao fluxo em baixas taxas de deformação. No entanto, é evidente que a PLD apresenta viscosidades iniciais mais elevadas em todas as taxas de deformação comparadas à PL.

Essa diferença é atribuída à remoção do óleo na PLD, que concentra a fração de proteínas e amidos. O óleo na PL atua como um “lubrificante”, reduzindo a formação de redes estruturais e, conseqüentemente, diminuindo a viscosidade. Em contraste, a maior concentração de componentes estabilizantes como proteínas na PLD forma uma rede mais robusta, o que contribui para a maior viscosidade inicial e maior resistência ao fluxo.

A curva de gelatinização da PLD sugere um comportamento distinto a temperaturas elevadas, onde se observa um aumento da viscosidade em torno de 68 °C, atingindo um pico em 86 °C, sugerindo que há gelatinização dos amidos presentes na amostra. Segundo Parente (2021), a gelatinização é o processo pelo qual o amido sofre mudanças estruturais quando exposto a calor e água, resultando em uma pasta viscosa. Esse fenômeno ocorre devido ao rompimento das ligações de hidrogênio na estrutura do amido, permitindo que a água entre nas moléculas de amilose e amilopectina, promovendo a expansão e solubilização das partículas.

Esse comportamento, porém, é seguido por uma queda na viscosidade após o pico de 86°C, o que é comum em processos de gelatinização devido à ruptura da estrutura dos polímeros com o calor excessivo. Após a degradação inicial dessas redes estruturais, a viscosidade da PLD volta a subir na faixa dos 76°C, o que indica o início de um processo de retrogradação. A retrogradação envolve a reorganização das cadeias de amido ao esfriar, formando novas interações intermoleculares e gerando novamente viscosidade, mas em uma forma mais rígida e menos estável do que no estágio inicial (SCOTT, Gabrielle; AWIKA, Joseph M 2023).

Embora o gráfico de gelatinização destaque claramente o comportamento de aumento da viscosidade da PLD em altas temperaturas, o mesmo não foi observado na PL. Isso sugere que o processo de gelatinização é facilitado pela ausência de óleo na PLD, pois sem óleo, os amidos ficam mais livres para fazerem as ligações. Na PL,

a presença de óleo parece interferir nesse processo, possivelmente devido à menor disponibilidade de proteínas e fibras para formar as redes estruturais necessárias.

Além disso, a PLD, por ter maior concentração em proteínas, é capaz de formar redes mais resistentes ao calor, o que permite uma maior estabilidade em temperaturas mais elevadas. A queda na viscosidade em temperaturas muito elevadas, seguida de um aumento com a retrogradação, é uma característica típica de sistemas com alto teor de biopolímeros (ELGADIR et al. 2012)

Esses resultados indicam que a PLD tem um desempenho superior em aplicações que envolvem temperaturas mais altas, como em processos de gelatinização ou formulações que exigem uma viscosidade mais estável sob condições térmicas variáveis

Por outro lado, a PL, com menor viscosidade e menor estabilidade térmica, pode ser mais indicada para produtos que requerem menor espessamento e que não passem por processos térmicos intensos. A presença de óleo na PL limita seu uso em formulações que necessitam de alta viscosidade em temperaturas elevadas, tornando-a menos eficiente para sistemas que exigem propriedades de gelatinização e retrogradação, por causa da menor disponibilidade do amido presente no material.

5.4.1 Análises microscópicas

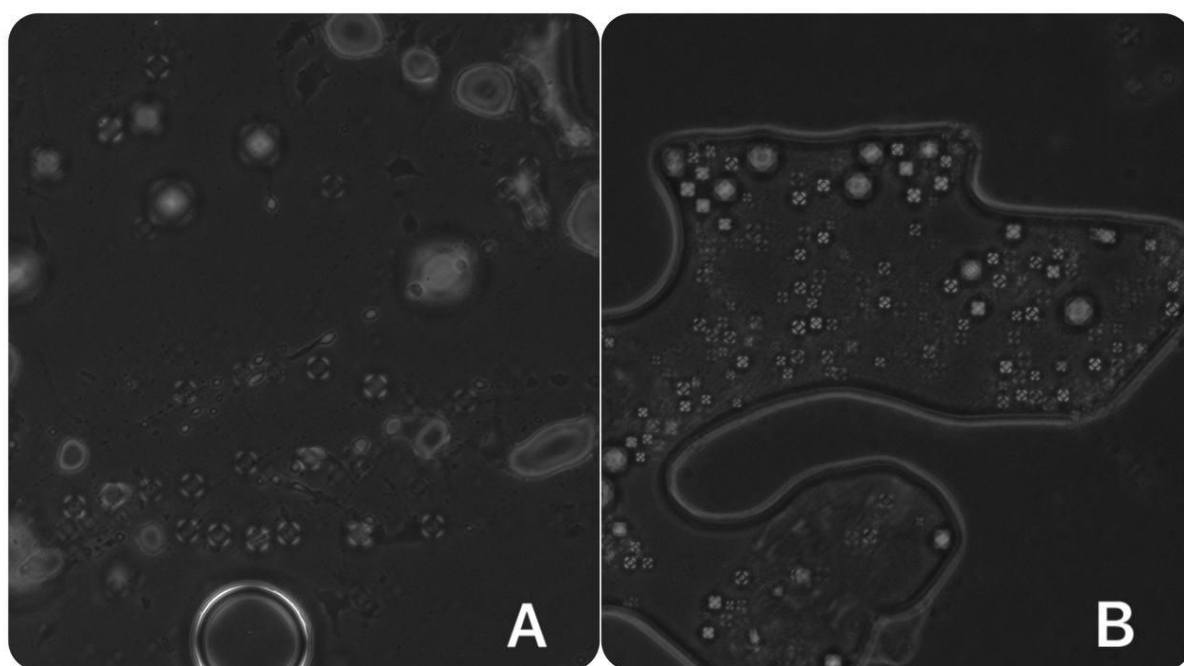
As imagens obtidas com luz polarizada (Figuras 14 e 15) revelam a birrefringência dos grânulos de amido, uma propriedade óptica que indica a preservação da organização interna desses grânulos, essencial para manter sua funcionalidade estrutural. Essa birrefringência é observada microscopicamente em solução aquosa e manifesta o padrão característico da “Cruz de Malta”, que resulta da refração pelas regiões cristalinas do amido. Esse fenômeno revela a orientação radial das macromoléculas de amido, com o “hilum” – ponto central da Cruz de Malta – identificado como o local inicial de crescimento do grânulo. A birrefringência, como explicado por Eliasson (2004) e Lajolo & Menezes (2006), é devida ao alto grau de orientação molecular interna, não estando associada a uma forma cristalina específica.

Nas amostras de PL e PLD, a presença desse padrão confirma que os grânulos de amido mantêm sua estrutura cristalina sem sinais de degradação significativa, evidenciando que as polpas não passaram por modificações severas ou tratamentos

enzimáticos que pudessem alterar sua morfologia. Este comportamento contrasta com os resultados do estudo de Maluceli et al. (2014), que observaram mudanças morfológicas em amostras de amido de abacate submetidas a hidrólise parcial enzimática.

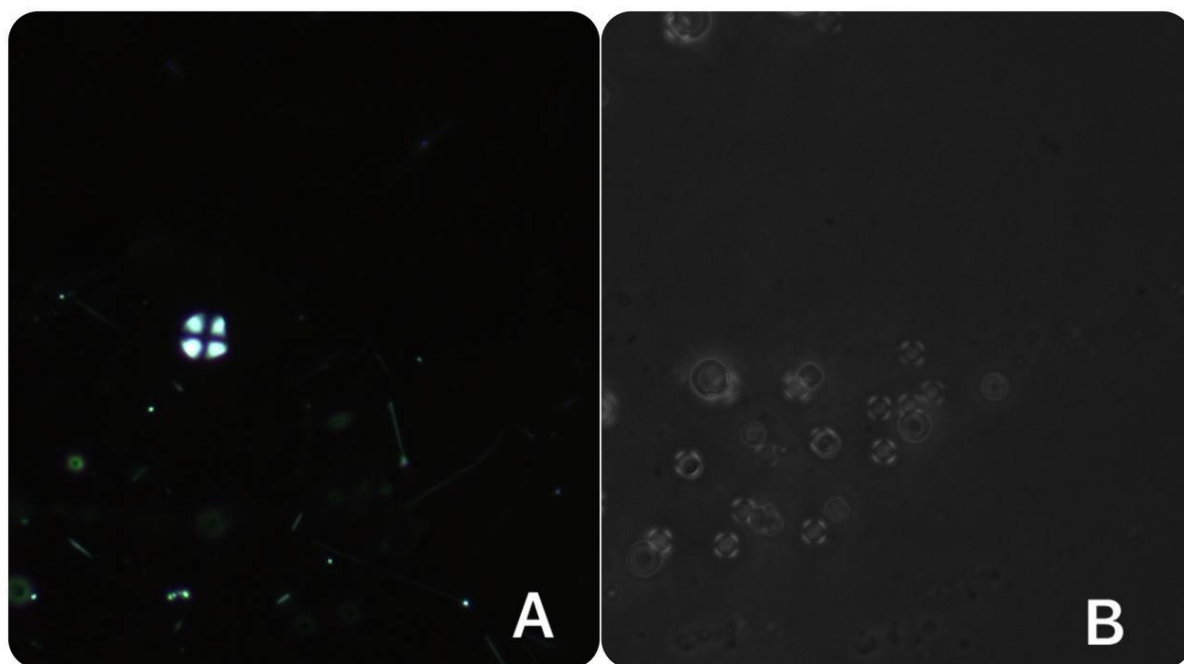
Adicionalmente, a coloração com safranina (Figura 16) foi aplicada à malha da polpa liofilizada e desengordurada (PLD), proporcionando um contraste que realça as estruturas internas dos grânulos de amido. A safranina atua como um corante que se liga a componentes específicos, permitindo uma visualização detalhada das interações químicas e estruturais dentro da malha do amido, complementando assim a análise óptica e fornecendo informações adicionais sobre a composição e distribuição dos grânulos.

Figura 10- Microscopia em luz polarizada das amostras de emulsões óleo-aguada PLD(A) e PL(B)



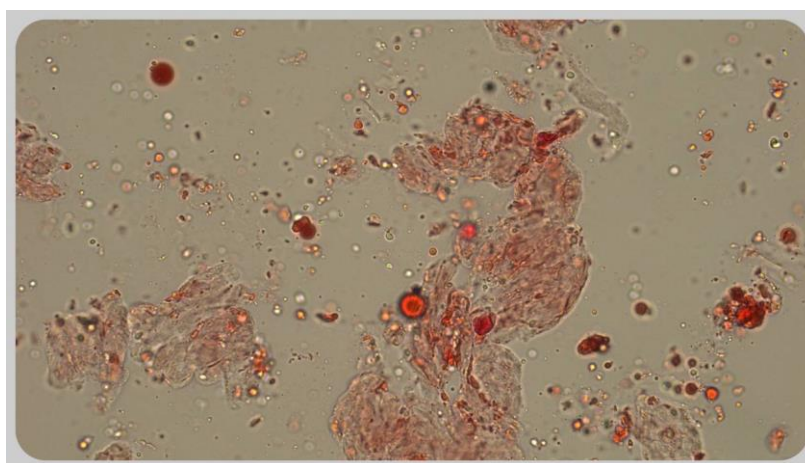
Fonte: Própria Autora

Figura 11 - Microscopia em luz polarizada das amostras de PLD (A) e PL (B), para observação dos amidos nativos presentes nas amostras



Fonte: Própria Autora

Figura 12 - Malha PLD com adição de Safranina



Fonte: Própria Autora

Dessa forma, as técnicas de microscopia utilizadas — luz polarizada e coloração com safranina — foram fundamentais para a observação e caracterização dos grânulos de amido nas amostras de abacate. Essas técnicas permitiram identificar tanto as propriedades ópticas quanto estruturais dos grânulos, evidenciando a integridade estrutural do amido nas amostras de PL e PLD, que permaneceram intactas na ausência de tratamentos enzimáticos, conforme observado nas imagens de microscopia.

6 CONCLUSÃO

Este estudo confirmou a hipótese de que a polpa de abacate liofilizada e desengordurada (PLD) possui propriedades reológicas e emulsificantes adequadas para uso em produtos alimentícios, atendendo aos requisitos de ingredientes funcionais e saudáveis. Comparativamente, a PLD apresentou uma capacidade emulsificante de 53,2%, superior à polpa liofilizada (PL), que obteve 48,5%, indicando que a remoção de óleo aumentou sua eficiência emulsificante. Esse aumento de capacidade torna a PLD uma opção promissora para a formulação de alimentos estáveis e nutritivos.

Em relação às características reológicas, tanto a PL quanto a PLD demonstraram comportamento pseudoplástico, com redução da viscosidade aparente conforme a taxa de cisalhamento aumentava, o que facilita sua aplicação em processos industriais. No entanto, a viscosidade inicial da PL foi menor que a da PLD em altas temperaturas, como 10 °C e 50 °C. A PL registrou viscosidades de aproximadamente 80 Pa·s a 10 °C e 30 Pa·s a 50 °C, enquanto a PLD mostrou valores mais elevados de 160 Pa·s a 10 °C e 60 Pa·s a 50 °C, demonstrando uma maior resistência estrutural e os modelos reológicos de Herschel-Buckley e Casson ajustaram-se bem aos dados experimentais, com coeficientes de determinação superiores a 0,99, corroborando a estabilidade das emulsões formadas.

As análises morfológicas também validaram a hipótese de que a estrutura das polpas PL e PLD se mantém intacta e funcional para o desenvolvimento de emulsões. Através dessas descobertas, o estudo contribui para o entendimento das propriedades tecnológicas do abacate liofilizado (PL) e liofilizado e desengordurado (PLD), abrindo possibilidades para seu uso em formulações alimentícias que promovam saúde e sustentabilidade.

REFERÊNCIAS

- ABAIDE, E. R.; ZABOT, G. L.; TRES, M. V.; et al. Yield, composition, and antioxidant activity of avocado pulp oil extracted by pressurized fluids. **Food and Bioproducts Processing**, v. 102, p. 289–298, 2017.
- ABDOLMALEKI, K.; MOHAMMADIFAR, M. A.; MOHAMMADI, R.; FADAVI, G.; MEYBODI, N. M. The effect of pH and salt on the stability and physicochemical properties of oil-in-water emulsions prepared with gum tragacanth. **Carbohydrate Polymers**, v. 140, p. 342–348, 2016.
- AGAMA-ACEVEDO, E.; FLORES-SILVA, P.C.; BELLO-PEREZ, L.A. Cereal starch production for food applications. In: CLERICI, M.T.P.S.; SCHMIELE, M. (orgs.). **Starches for food application**. London: Academic Press; 2019. p. 71–102.
- ALMEIDA, R.L.J., MONTEIRO, S.S., SANTOS, N.C. et al. Starch modification and its application in Pickering emulsion stabilization: a review. **Food Measure**, v. 18, p. 4984–5003, 2024. Doi: <https://doi.org/10.1007/s11694-024-02550-6>.
- ALTENDORF, S. **Major tropical fruits market review 2018**. Rome: FAO, 2019.
- AMARAWEEERA, S. M.; GUNATHILAKE, C.; GUNAWARDENE, O. H. P.; et al. Development of Starch-Based Materials Using Current Modification Techniques and Their Applications: A Review. **Molecules**, v. 26, n. 22, p. 6880, 2021. Doi: 10.3390/molecules26226880.
- ARAÚJO, C. S. et al. Cinética de secagem de acerola em leite de espuma e ajuste de modelos matemáticos. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 20, p. 2016152, 2017.
- ARAÚJO, R. G. et al. Avocado by-products: Nutritional and functional properties. **Trends in Food Science & Technology**, v. 80, p. 51–60, out. 2018.
- AVÉROUS, L.R.; HALLEY, P.J. Starch polymers: from the field to industrial products. In: AVÉROUS, L.R.; HALLEY, P.J. (orgs.). **Starch polymers: From genetic engineering to green applications**. 1st ed. Elsevier; 2014. p. 3–10.
- BASTIDA-RODRÍGUEZ, J. The food additive polyglycerol polyricinoleate (E-476): structure, applications, and production methods. **ISRN Chemical Engineering**, v. p.1-21, 2013. Disponível em: <<http://www.hindawi.com/isrn/chemeng/2013/124767/>>. Acesso em: 20 ago. 2024. Doi: 10.1155/2013/124767.
- BATISTA, W.P.; SILVA, C.E.M. da; LIBERATO, M.C. Propriedades químicas e de pasta dos amidos de trigo e milho fosforilados. **Food Science and Technology**, v. 30, n. 1, p. 88–93, 2010.

BEMILLER, J.N.; HUBER, K.C. Carboidratos. In: DAMODARAN, S.; PARKIN, K.L.; FENNEMA, O. R. (orgs.). **Química de alimentos de Fennema**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed; 2010. p. 75-130.

BEMILLER, J.N. **Carbohydrate chemistry for food scientists**. London: Woodhead Publishing; 2019. 427 p.

BERASTEGI, I.; BARRIUSO, B.; ANSORENA, D.; ASTIASARÁN, I. Stability of avocado oil during heating: comparative study to olive oil. **Food Chemistry**, n. 132, p. 439-446, 2012.

BISSOLI, V. P. B.; BARCELOS, M^a. F. P. Benefícios do abacate para a saúde humana. Informe agropecuário. **Abacate: tecnologias de produção e benefícios à saúde**. Belo Horizonte, v. 39, n.303, p.93-101, 2018.

BUILDERS, P.F.; NNURUM, A.; MBAH, C.C.; et al. The physicochemical and binder properties of starch from *Persea americana* Miller (Lauraceae). **Starch - Stärke**, v. 62, n. 6, p. 309–320, 2010.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução RDC nº 239, de 26 de julho de 2018**. Dispõe sobre o uso de aditivos alimentares e coadjuvantes de tecnologia em diversas categorias de alimentos. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 27 jul. 2018. Disponível em: <https://www.in.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/32409038/do1-2018-07-27-resolucao-rdc-n-239-de-26-de-julho-de-2018-32409025>. Acesso em: 01 out. 2024.

COELHO, M. D. O. et al. Estudo da ação emulsificante da polpa de abacate associada às proteínas do soro de leite. **Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes**, v. 73, n. 3, p. 122–135, 12 mar. 2019.

CELESTINO, S.M.C. **Princípios de secagem de alimentos**. 1. ed. Planaltina: Embrapa, 2010. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/77765/1/doc-276.pdf>>. Acesso em: 03 set. 2024.

CORZZINI, S.C.S.; BARROS, H.D.F.Q.; GRIMALDI, R.; et al. Extraction of edible avocado oil using supercritical CO₂ and a CO₂/ethanol mixture as solvents. **Journal of Food Engineering**, v. 194, p. 40–45, 2017.

COSTA, A.L.R.; GOMES, A.; TIBOLLA, Heloisa; et al. Cellulose nanofibers from banana peels as a Pickering emulsifier: High-energy emulsification processes. **Carbohydrate Polymers**, v. 194, p. 122–131, 2018.

COSTA, C.M. **Caracterização Reológica de Fluidos Complexos**. Rio de Janeiro: PUC- RJ, 2017. 18p

DAIUTO, É.R.; TREMOCOLDI, M.A.; ALENCAR, S.M. de; et al. Composição química e atividade antioxidante da polpa e resíduos de abacate “Hass.” **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 36, n. 2, p. 417–424, 2014.

DALGLEISH, D. C. **Food emulsions**. 4. ed. New York: Marcel Dekker, 2003.

DIONISIO, Márcia Thays Mendes. **Avaliação do potencial tecnológico da polpa do fruto do quipá (*tacinga inamoena*) em diferentes estádios de maturação.** 2017. 52 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal da Paraíba, Centro de Tecnologia e Desenvolvimento Regional, João Pessoa, 2017.

DOMÉ, K.; PODGORBUNSKIKH, E.; BYCHKOV, A.; LOMOVSKY, O. Changes in the Crystallinity Degree of Starch Having Different Types of Crystal Structure after Mechanical Pretreatment. **Polymers (Basel)**, Basel, v. 12, n. 3, p. 641, 2020. Doi: <https://doi.org/10.3390/polym12030641>.

DOS SANTOS, M.A.Z.; ALICIEO, T.V.R.; PEREIRA, C.M.P.; et al. Profile of Bioactive Compounds in Avocado Pulp Oil: Influence of the Drying Processes and Extraction Methods. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 91, n. 1, p. 19–27, 2013.

ELGADIR, M. Abd; AKANDA, Md. Jahurul Haque; FERDOSH, Sahena; et al. Mixed Biopolymer Systems Based on Starch. **Molecules**, v. 17, n. 1, p. 584–597, 2012.

ELIASSEN, A.C. **Starch in food – Structure, function and applications.** New York: Boca Raton, CRC, 2004. 605p.

FAOSTAT. **Food and Agriculture Organization of the United Nations.** Crops, 2021.

FARAONI, A.S.; RAMOS, A.M.; GUEDES, D.B.; et al. Propriedades reológicas de sucos mistos de manga, goiaba e acerola adicionados de fitoquímicos. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 16, n. 1, p. 21–28, 2013.

FELLOWS, P.J. **Tecnologia do processamento de alimentos: princípios e prática.** 4th ed. Porto Alegre: ArtMed, 2019. *E-book*. p.Capa. ISBN 9788582715260. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788582715260/>>. Acesso em: 18 out. 2024.

FERRARI, R.A. Nota Científica: Caracterização físico-química do óleo de abacate extraído por centrifugação e dos subprodutos do processamento. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 18, n. 1, p. 79–84, 2015.

FRASSON, S.F.; BARBOZA, L. da S.; GARCEZ, L.; COLUSSI, R.; et al. **Determinação da composição centesimal em farinhas de polpa e caroços de abacate.** In: ENPOS XXII Encontro de Pós-Graduação, 2020.

FREIRE, I.S. **Reologia escoamento e deformação da matéria.** 2012. Disponível em: <www.sbrt.ibict.br/dossie-tecnico/downloadsDT/Mjc2NTc=>>. Acesso em: 20 ago. 2024.

FRIBERG, S.; LARSSON, K.; AND SJOBLÖM J. **Food Emulsions.** New York: Marcel Dekker, 2004.

GUPTA, A.; ERAL, H.B.; HATTON, T.A.; et al. Nanoemulsions: formation, properties and applications. **Soft Matter**, v. 12, n. 11, p. 2826–2841, 2016.

HASENHUETTL, G.L.; HARTEL, R.W. **Food Emulsifiers and Their Applications**. 2. ed. Springer, 2019.

HASENHUETTL, G.L.; HARTEL, R.W. **Food Emulsifiers and Their Applications**. 2. ed. Nova York: Springer, 2008. Doi: 10.1007/978-0-387-75284-6.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. *Produção de abacate no Brasil*. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/abacate/br>. Acesso em: 12 set. 2024.

JORGE, T. D. S. et al. Physicochemical And Rheological Characterization Of Avocado Oils. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 39, n. 4, p. 390-400, 2015.

JACOBO-VELÁZQUEZ, D. A.; HERNÁNDEZ-BRENES, C.; CISNEROS-ZEVALLOS, L.; BENAVIDES, J. Partial purification and enzymatic characterization of avocado (*Persea americana* Mill, cv. Hass) lipoxygenase. **Food Research International**, v.43, n.1, p. 1079-1085, 2010.

KURLAENDER, A., 2004. In: Barrett, Diane M., Somogyi, Laszlo P., Ramaswamy, Hosahalli S. (Eds.), *Processing Fruits Science and Technology*, second ed. CRC Press.

LACERDA, L.G.; COLMAN, T.A.D.; BAUAB, T.; et al. Thermal, structural and rheological properties of starch from avocado seeds (*Persea americana*, Miller) modified with standard sodium hypochlorite solutions. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, v. 115, n. 2, p. 1893–1899, 2013.

PARENTE, Gisleânia Ladim Dourado; ALMEIDA MACÊDO, Flora de; MELO DINIZ, Natasha Carolina; et al. Observations on the formation and textural properties of “tapiocas”, a traditional cassava-based food from the Northeast of Brazil. **International Journal of Gastronomy and Food Science**, v. 26, p. 100417, 2021.

LAJOLO, F.M.; MENEZES, E.W. **Carboidratos em alimentos regionales Iberoamericanos**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2006. 648p.

LAM, R.S.H.; NICKERSON, M.T. Food proteins: A review on their emulsifying properties using a structure–function approach. **Food Chemistry**, v. 141, n. 2, p. 975–984, 2013.

LEE, J.; KOO, N.; MIN, D. Reactive oxygen species, aging, and antioxidative nutraceuticals. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, Chicago, v. 3, n. 1, p. 21-33, 2004.

LÓPEZ-COBO, A.; GÓMEZ-CARAVACA, A. M.; PASINI, F.; CABONI, M. F.; et al. HPLC-DAD-ESI/TOF-MS and HPLC-FLD-MS as valuable tools for the determination of phenolic and other polar compounds in the edible part and by-products of avocado. **LWT Food Science and Technology**, 73, p. 505–513, 2016.

MALECKI, J.; MUSZYŃSKI, S.; SOŁOWIJEJ, B. G. Proteins in Food Systems—Bionanomaterials, Conventional and Unconventional Sources, Functional Properties, and Development Opportunities. **Polymers**, v. 13, n. 15, p. 2506, 2021. Doi: <https://doi.org/10.3390/polym13152506>.

MALUCELLI, L.C.; LEMOS, C.F.; CARVALHO FILHO, M.A.; et al. Caracterização da hidrólise parcial enzimática de amido isolado de abacate utilizando técnicas termoanalíticas e microscopia. **Brazilian Journal of Thermal Analysis**, v. 3, n. 3–4, p. 31, 2014.

MARTÍNEZ-MONTEAGUDO, S.I.; KAMAT, S.; PATEL, N.; KONUKLAR, G.; RANGAVAJLA, N.; BALASUBRAMANIAM, V.M. Improvements in emulsion stability of dairy beverages treated by high pressure homogenization: A pilot-scale feasibility study. **Journal of Food Engineering**, v. 193, p. 42-52, 2017.

MARTINI, S.; HERRERA, M.L. Physical properties of shortenings with low-trans fatty acids as affected by emulsifiers and storage conditions. **European Journal of Lipid Science and Technology**, v.110, p.172-182, 2008. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ejlt.200700196/pdf>>. Acesso em: 30 jul. 2012. Doi: 10.1002/ejlt.200700196.

MCCLEMENTS, D. J. **Food Emulsions: Principles, Practices, and Techniques**. 2. ed. Boca Raton: CRC Press, 2004.

MCDONAGH, P. Native, modified and clean label starches in foods and beverages. In: BAINES, D.; SEAL, R.; editors. **Natural food additives, ingredients and flavourings**. Cambrige: Woodhead Publishing; 2012. p. 162–75.

MCDONAGH, P. Native, modified and clean label starches in foods and beverages. In: BAINES, D.; SEAL, R. (orgs.). **Natural food additives, ingredients and flavourings**. Cambrige: Woodhead Publishing, 2012. p. 162–75.

MEDEIROS, Jocione Mara de. **Caracterização físico-química e funcional da farinha da semente de abacate e sua viabilidade para elaboração de produto alimentício**. Santa Cruz, 2017. 28 f.: il. Artigo Científico (Graduação em Nutrição) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Faculdade de Ciências da Saúde do Trairi, Curso de Nutrição, 2017.

MENDES, M. L. M.; BORA, P. S.; RIBEIRO, A. P. L. (2012). Propriedades morfológicas e funcionais e outras características da pasta do amido nativo e oxidado da amêndoa do caroço de manga (*Mangifera indica* L.), variedade Tommy Atkins. **Revista Instituto Adolfo Lutz**, 71(1), 76-84.

MELO, K. S. et al. Secagem em camada de espuma da polpa do fruto do mandacaru: experimentação e ajustes de modelos matemáticos. **Revista Caatinga**, v. 26, n. 2, p. 10-17, 2013.

MOREIRA, D. H. F. et al. Análise da secagem de café em secador solar passivo direto. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 9, p. 16556-16573, 2019

NAVIA, D. P.; VILLADA, H. S.; TORRES, G. A. (2010). Caracterización morfológica de harina de siete variedades de yuca y polvillo de fique por microscopia óptica de alta resolución – MOAR –. **Revista Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial**, 8(2), 79-85.

O'BRIEN, R.D. Fats and oils formulation. In: O'BRIEN, R.D. **Fats and oils – formulating and processing for applications**. 3.ed. Boca Raton: CRC, 2009. Cap.4, p.263-345.

OLIVEIRA, A.F. de; SILVA, L.F.O. da; MESQUITA, H.A. de. Extração de azeite de abacate para uso gourmet. Informe agropecuário. **Abacate: tecnologias de produção e benefícios à saúde**. Belo Horizonte, v. 39, n. 303, p.102-117, 2018.

OLIVEIRA, M.C. et al. Phenology and physical and chemical characterization of avocado fruits for oil extraction. **Ciência Rural**, v. 43, n. 3, p. 411-418, 2013.

OMOREGIE EGHAREVBA, H. Chemical Properties of Starch and Its Application in the Food Industry. In: **Chemical Properties of Starch**. [s.l.]: IntechOpen, 2020. Doi: <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.87777>.

PANAGIOTOU, T.; FISHER, R. **Improving Product Quality with Entrapped Stable Emulsions: From Theory to Industrial Application**. Challenges 2012, 3, 84–114.

PARK, S.H.; NA, Y.; KIM, J.; et al. **Properties and applications of starch modifying enzymes for use in the baking industry**. Food Science and Biotechnology, 2017.

PUNIA, S. Barley starch modifications: Physical, chemical and enzymatic - A review. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 144, p. 578–585, 2020.

RADUJKO, I. et al. The influence of combined emulsifier 2 in 1 on physical and crystallization characteristics of edible fats. **European Food Research and Technology**, v.232, n.5, p.899- 904, 2011. Doi: 10.1007/s00217-011-1458-0.

RODRIGUES, F.; MARFIL, P.H.M. Efeito do tratamento osmótico nas propriedades mecânicas de fatias de abacaxi (Ananas comosus) desidratadas em secador de leito fixo. **Revista Brasileira de Ciência, Tecnologia e Inovação**, v. 5, n. 2, p. 87-97, 2020

RODRÍGUEZ, M.C. et al. Análisis sensorial discriminativo y descriptivo de guacamole a base de polvo de aguacate “Hass”. **Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial**, v. 18, n. 2, p. 117-125, 2020.

SALAZAR-LÓPEZ, N.J.; DOMÍNGUEZ-AVILA, J.A.; YAHIA, E.M.; et al. Avocado fruit and by-products as potential sources of bioactive compounds. **Food Research International**, v. 138, p. 109774, 2020.

SALGADO, J.M.; DANIELI, F.; REGINATO- D'ARCE, M.A.B.; FRIAS, A.; MANSI, D.N. O óleo de abacate (Persea americana Mill) como matéria-prima para a indústria alimentícia. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.28, p.20-26, 2008.

SANTANA, I. et al. Avocado (*Persea americana* Mill.) oil produced by microwave drying and expeller pressing exhibits low acidity and high oxidative stability. **European Journal of Lipid Science and Technology**, v. 117, n. 7, p. 999-1007, 2015.

SANTOS, G.M. et al. Correlação entre atividade antioxidante e compostos bioativos de polpas comerciais de açaí (*Euterpe oleracea* Mart). **Archivos Latinoamericanos de Nutricion**, Caracas, v. 58, n. 2, p. 187-192, 2008

SANTOS, M.A.Z. et al. Profile of Bioactive Compounds in Avocado Pulp Oil: Influence of the Drying Processes and Extraction Methods. **Journal of the American Oil Chemists Society**, v. 91, n. 1, p. 19-27, 2014.

SANTOS, Newton Carlos. **Influência do pré-tratamento com etanol na secagem da polpa do abacate em camada de espuma e sua aplicação em produtos de panificação**. 2023. 209 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Natal, 2023. Orientação: Márcia Regina da Silva Pedrini. Coorientação: Maria de Fátima Dantas de Medeiros.

SCHMIELE, M.; SAMPAIO, U.M.; CLERICI, M.T.P.S. Basic principles: Composition and properties of starch. In: Clerici, M.T.P.S.; Schmiele, M. (orgs.). **Starches for food application**. London: Academic Press, 2019. p. 1–22.

SCOTT, Gabrielle; AWIKA, Joseph M. Effect of protein–starch interactions on starch retrogradation and implications for food product quality. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 22, n. 3, p. 2081–2111, 2023.

SILVA, D. I. S.; SOUZA, G. F. M. V.; BARROZO, M. A. S. Heat and mass transfer of fruit residues in a fixed bed dryer: Modeling and product quality. **Drying Technology**, 2018. Doi: 10.1080/07373937.2018.1498509.

SILVA, L.M.R.; MAIA, G. A.; FIGUEIREDO, R.W.; RAMOS, A.M.; GONZAGA, M.L. C.; LIMA, A. S. Comportamento reológico de bebidas mistas de cajá e manga adicionadas de prebióticos. **Boletim do Centro de Pesquisa Processamento de Alimentos**, v. 30, p. 75-82, 2012.

SOARES, T.C. **Estruturação de emulsão tipo maionese com característica funcional e produzida com derivado proteico**. Universidade de São Paulo, Agência USP de Gestão da Informação Acadêmica (AGUIA). Doi: <<http://dx.doi.org/10.11606/d.9.2020.tde-22122021-134900>>.

SPACKI, K. de C.; OLIVEIRA, L.S.; MENDES, A.C.; et al. Determinação do comportamento reológico de suco de abacaxi adicionado de yacon e goma xantana em diferentes temperaturas. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 1, p. 5149–5161, 2020.

SRIDHARAN, S.; MEINDERS, M.B.J.; SAGIS, L.M.C.; et al. Starch controls brittleness in emulsion-gels stabilized by pea flour. **Food Hydrocolloids**, v. 131, p. 107708, 2022.

STEFFE, J. F. **Rheological Methods in Food Process Engineering**. 2. ed. Freeman Press, 1996.

TADINI, C.C. **Operações Unitárias na Indústria de Alimentos**. Rio de Janeiro: LTC, 2015. E-book. p. 293. ISBN 978-85-216-3034-0. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/978-85-216-3034-0/>>. Acesso em: 18 out. 2024.

TANGO, J.S.; CARVALHO, C.R.L.; SOARES, N.B. Caracterização física e química de frutos de abacate visando a seu potencial para extração de óleo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 26, n. 1, p. 17–23, 2004

TONOLI, S.O.M. da S. **Produtos à base de abacate (Persea americana Mill): uma revisão de literatura**. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) — Instituto Federal do Espírito Santo, Campus Venda Nova do Imigrante, 2023.

WANG, T. et al. Effect of magnetic field with different dimensions on quality of avocado puree during frozen storage. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 57, n. 3, p. 1698–1707, 2022.

WANG, W.; TERRELL, R.; BOSTIC, L.G. Antioxidant capacities, procyanidins and pigments in avocados of different strains and cultivars. **Food Chemistry**, Barking, v. 122, p. 1.193-1.198, 2010.

WANG, X.; LI, X.; XU, D.; LIU, G.; XIAO, J.; CAO, Y.; SUN, B. Influence of unadsorbed emulsifiers on the rheological properties and structure of hetero aggregate of whey protein isolate (WPI) coated droplets and flaxseed gum (FG) coated droplets. **Food Hydrocolloids**, v.8, p.42-52, 2018.

YASUMATSU, Katsuharu; SAWADA, Koshichi; MORITAKA, Shintaro; *et al.* Whipping and Emulsifying Properties of Soybean Products. **Agricultural and Biological Chemistry**, v. 36, n. 5, p. 719–727, 1972.

ZHU, F.; XIE, Q. Structure and physicochemical properties of starch. In: SUI, Z.; KONG, X.; (orgs.). **Physical Modifications of Starch**. Singapore: Springer Nature; 2018. p. 1–14.