



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE CIÊNCIAS DA SAÚDE
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

SARAH GIOVANNA MAIA DE ANDRADE

**REOLOGIA DA JAMÃMINA: CARACTERIZAÇÃO REOLÓGICA
DE NANOCARREADOR LIPÍDICO PARA INOVAÇÃO EM
COSMÉTICOS**

**BRASÍLIA
2025**

SARAH GIOVANNA MAIA DE ANDRADDE

**REOLOGIA DA JAMÃMINA: CARACTERIZAÇÃO REOLÓGICA DE
NANOCARREADORES LIPÍDICOS PARA INOVAÇÃO EM
COSMÉTICOS**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado
à Universidade de Brasília (UnB) como pré-
requisito para obtenção do título de Bacharel em
Farmácia. Orientador: Prof. Dr Victor Carlos Mello
da Silva. Co-orientador: Prof. Dra. Sônia Nair Bão.

BRASÍLIA

2025

SARAH GIOVANNA MAIA DE ANDRADE

**REOLOGIA DA JAMÃMINA: CARACTERIZAÇÃO REOLÓGICA DE
NANOCARREADORES LIPÍDICOS PARA INOVAÇÃO EM
COSMÉTICOS**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado
à Universidade de Brasília (UnB) como pré-
requisito para obtenção do título de Bacharel em
Farmácia. Orientador: Prof. Dr. Victor Carlos Mello
da Silva. Co-orientador: Prof. Dra. Sônia Nair Bão.

BANCA EXAMINADORA

Professor Dra. Geisa Nascimento Barbalho
Departamento de Farmácia (FS)
Universidade de Brasília (UnB)

Mestre Isadora Florêncio de Souza
Instituto de Ciências Biológicas (IB)
Universidade de Brasília (UnB)

BRASÍLIA

2025

AGRADECIMENTOS

Agradeço imensamente à minha mãe e a minha vó, que sempre estiveram ao meu lado, me oferecendo apoio incondicional e me incentivando a seguir em frente, mesmo nos momentos de dificuldade. Agradeço também ao meu namorado, por sua paciência e por ser meu alicerce, me motivando e me ajudando a manter a calma durante os desafios dessa jornada. Ao meu pai, que sempre acreditou em mim e me apoiou sendo uma fonte constante de força e inspiração.

Gostaria de expressar minha gratidão ao LTMAC (Laboratório de Tecnologia de Medicamentos e Cosméticos), pela disponibilização do aparelho e pelo compartilhamento de conhecimento, que foram fundamentais para a realização desta pesquisa.

Um agradecimento especial ao meu orientador, Victor, que me incentivou a seguir com a ideia do trabalho. Sua confiança em mim foi essencial para que eu fosse capaz de concluir este projeto.

Por fim, agradeço ao meu professor Luiz Antonio Soares Romeiro, que foi fundamental para o meu sucesso. Sua orientação, paciência e, acima de tudo, sua insistência em me mostrar a importância de continuar, mesmo quando pensei em desistir, foram cruciais para que eu pudesse finalizar o curso com êxito. Sem sua ajuda, certamente não teria chegado até aqui.

A todos, meu sincero agradecimento

RESUMO

O mercado de cosméticos tem apresentado um crescimento expressivo nas últimas décadas, consolidando-se como uma das indústrias mais dinâmicas e inovadoras no cenário global. Esse avanço é impulsionado pela crescente demanda por produtos que aliam alta performance, eficiência e benefícios funcionais à segurança e sustentabilidade, atendendo às expectativas de consumidores cada vez mais exigentes. Dentro desse panorama, os carreadores lipídicos nanoestruturados (CLN) têm se destacado como sistemas promissores para o encapsulamento de ativos que oferecem vantagens como aumento da estabilidade química, proteção contra degradação e liberação controlada. Entre os CLN desenvolvidos, destaca-se o sistema denominado Jamâmina, que apresenta curcumina encapsulada como ativo funcional. A curcumina, um composto bioativo extraído do açafrão-da-terra (*Curcuma longa*), é amplamente reconhecida por suas propriedades antioxidantes, anti-inflamatórias e antimicrobianas. No entanto, sua baixa solubilidade em água e instabilidade em condições ambientais desfavoráveis limitam sua aplicação direta em formulações cosméticas. A tecnologia do nanocarreador surge, portanto, como uma solução inovadora para superar esses desafios e viabilizar o uso da curcumina em produtos cosméticos de alto valor agregado. No processo de desenvolvimento e validação de formulações cosméticas, os testes acelerados desempenham um papel essencial para prever a estabilidade dos produtos em prazos reduzidos. Nesse contexto, a reologia é uma ferramenta analítica poderosa para caracterizar o comportamento de fluidos complexos, como os sistemas NLC, e avaliar propriedades viscoelásticas que podem influenciar diretamente a performance e estabilidade das formulações. Alterações na viscosidade, elasticidade e comportamento reológico podem indicar possíveis instabilidades, como separação de fases ou degradação do sistema, permitindo ajustes antes da realização de testes mais específicos e de longo prazo. Assim, este trabalho tem como objetivo explorar o desempenho e a estabilidade do sistema de Jamâmina com curcumina encapsulada, utilizando testes acelerados e análise reológica como métodos para caracterizar o comportamento das amostras, prever a estabilidade da formulação e otimizar os parâmetros de desenvolvimento. Este estudo busca, portanto, contribuir para o avanço científico e tecnológico no setor cosmético, unindo inovação em nanocarreadores a metodologias analíticas de ponta, em prol de produtos mais eficazes e seguros.

Palavras Chaves: Cosméticos, Reologia, Carreadores lipídicos nanoestruturados, Jamâmina.

ABSTRACT

The cosmetics market has experienced significant growth over the past decades, establishing itself as one of the most dynamic and innovative industries globally. This advancement is driven by the increasing demand for products that combine high performance, efficiency, and functional benefits with safety and sustainability, meeting the expectations of increasingly demanding consumers. Within this context, nanostructured lipid carriers (NLC) have emerged as promising systems for encapsulating active ingredients, offering advantages such as enhanced chemical stability, protection against degradation, and controlled release. Among the developed NLC systems, the formulation known as Jamâmina stands out, featuring encapsulated curcumin as its functional active ingredient. Curcumin, a bioactive compound extracted from turmeric (*Curcuma longa*), is widely recognized for its antioxidant, anti-inflammatory, and antimicrobial properties. However, its low water solubility and instability under unfavorable environmental conditions limit its direct application in cosmetic formulations. The nanocarrier technology, therefore, emerges as an innovative solution to overcome these challenges and enable the use of curcumin in high-value-added cosmetic products. In the development and validation process of cosmetic formulations, accelerated tests play an essential role in predicting product stability within shorter timeframes. In this regard, rheology is a powerful analytical tool for characterizing the behavior of complex fluids, such as NLC systems, and for evaluating viscoelastic properties that can directly influence the performance and stability of formulations. Changes in viscosity, elasticity, and rheological behavior may indicate potential instabilities, such as phase separation or system degradation, allowing adjustments to be made before conducting more specific and long-term tests. Thus, this study aims to investigate the performance and stability of the Jamâmina system with encapsulated curcumin, using accelerated tests and rheological analysis as methods to characterize sample behavior, predict formulation stability, and optimize development parameters. Therefore, this research seeks to contribute to the scientific and technological advancement of the cosmetics sector, combining innovation in nanocarriers with advanced analytical methodologies to develop more effective and safer products.

Keywords: Cosmetics, Rheology, Nanostructured Lipid Carriers, Jamâmina.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Diferenciação entre tensão de cisalhamento, taxa de cisalhamento e deformação.	25
Tabela 2: Definição de viscosidade.	28

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Força tangencial agindo sobre um fluido.	20
Figura 2: Comportamento de fluido (viscoso) versus sólido (elástico).	22
Figura 3.1: Alinhamento das fibras ou polímeros com a direção principal do escoamento.	24
Figura 3.2: Redução da lubrificação das partículas com o cisalhamento.	24
Figura 4: (a) Comportamento de fluidos Newtonianos e não-Newtonianos. (b) Representação do comportamento de fluidos tixotrópicos e reopécticos.	27
Figura 5: Ilustração da interação de partículas em dispersões tixotrópicas.	30
Figura 6: Representação gráfica de fluídos tixotrópicos.	31
Figura 7: Diagrama esquemático de um material viscoelástico comparado com uma mola e um amortecedor.	35
Figura 8: Discovery HR-2 Hybrid Rheometer.	37
Figura 9: Amostra de Jamâmina.	38
Figura 10: Amostras de Jamâmina adicionadas na placa.	39
Figura 11: Gráfico de viscosidade (η) em função da taxa de cisalhamento ($\dot{\gamma}$) para a Jamâmina.	41
Figura 12: Curva de fluxo (flow curve).	42
Figura 13: Gráfico que representa a análise combinada da viscosidade e da curva de fluxo da amostra (varredura de taxa de cisalhamento).	42
Figura 14: Curva de fluxo de tixotropia da amostra obtida através dos testes reológicos.	43
Figura 15: Gráfico de temperatura (C°) em função da viscosidade (η) da Jamâmina.	44
Figura 16: Gráfico de temperatura (C°) em função da viscosidade (η) da Jamâmina.	44
Figura 17: Texturas sensoriais em cosméticos em quatro diferentes estágios de uso.	47
Figura 18: Integrando reologia e tecnologia para resolver problemas complexos na pesquisa cosmética.	48
Figura 19: Princípios fundamentais do modelo de previsão de textura sensorial baseado em reologia.	49

LISTA DE SIGLAS

CLN: Carreador lipídico nanoestruturado

NLS: Nanopartícula lipídica sólida

FCP: Perfil de Escolha Livre

SUMÁRIO

Sumário

BANCA EXAMINADORA	3
AGRADECIMENTOS	4
RESUMO	5
ABSTRACT	6
LISTA DE TABELAS	7
LISTA DE FIGURAS	8
LISTA DE SIGLAS	9
SUMÁRIO	10
1. INTRODUÇÃO	12
2. REVISÃO DE LITERATURA	13
2.1. COSMÉTICOS	13
2.2. DERMOCOSMÉTICOS	14
2.3. CARREADOR LIPÍDICO NANOESTRUTURADO	14
2.4. JAMÃMINA	15
2.5. REOLOGIA	16
2.6. REOLOGIA DE EMULSÕES DE USO COSMÉTICO	18
2.7. FLUIDO	19
2.8. VISCOSIDADE	23
3. CLASSIFICAÇÃO REOLÓGICA DOS FLUIDOS	25
3.1. FLUIDOS NEWTONIANOS	25
3.2. FLUIDOS NÃO NEWTONIANOS	25
3.2.1. FLUIDOS NÃO DEPENDENTES DO TEMPO	26
3.2.2. FLUÍDOS DEPENDENTES DO TEMPO	28
4. ENSAIOS REOLÓGICOS	30
4.1. ENSAIO EM REGIME ESTACIONÁRIO (STEADY STATE)	30
4.2. ENSAIO OSCILATÓRIO OU DINÂMICO	31
5. OBJETIVOS	34
5.1. OBJETIVO GERAL	34
5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	34
6. MATERIAL E MÉTODOS	35
6.1. MATERIAL	35
6.2. MÉTODO PARA CARACTERIZAR O COMPORTAMENTO REOLÓGICO DA JAMÃMINA	35
6.2.1. TESTE DE VISCOSIDADE	36
6.2.2. VARREDURA DE TAXA DE CISALHAMENTO	37
6.2.3. TIXOTROPIA	37
6.2.4. CICLO TÉRMICO	38
7. RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
7.1. Resultados	38
7.2. Discussão	43
7.2.1. Textura sensorial	43

7.2.2.	Correlação entre medições reológicas e percepção sensorial.....	46
7.2.3.	Design quantitativo e controle das texturas sensoriais utilizando análise reológica.....	49
8.	CONCLUSÃO	51
9.	REFERÊNCIAS.....	52

1. INTRODUÇÃO

A reologia, ciência que estuda o comportamento de materiais sob deformação e fluxo, desempenha um papel fundamental no desenvolvimento de produtos cosméticos e farmacêuticos. Na indústria cosmética, propriedades reológicas como viscosidade, elasticidade e reação ao espalhamento não apenas influenciam a estabilidade física das formulações, mas também afetam diretamente a experiência sensorial e a aceitação do produto pelo consumidor. A textura, a facilidade de aplicação e a sensação residual são atributos decisivos para o sucesso de cosméticos no mercado, além de garantirem a funcionalidade e a eficácia do produto (CALIXTO; MAIA CAMPOS, 2017; LUKIC et al., 2012).

No presente trabalho, a Jamâmina, um carreador lipídico nanoestruturado (CLN) que contém curcumina, um composto bioativo extraído da *Curcuma longa*. (açafrão), previamente caracterizado em relação à sua composição e eficiência de encapsulação, foi submetida a testes reológicos para avaliar e garantir sua estabilidade. Os testes permitiram investigar o comportamento do nanocarreador sob diferentes condições da formulação, simulando situações de uso real, como variações de temperatura.

O objetivo central é assegurar que a *Jamâmina* apresente propriedades reológicas adequadas, garantindo sua estabilidade física e sensorial, fatores essenciais para o desenvolvimento de produtos finais eficazes e sustentáveis. Além disso, essas análises são fundamentais para orientar a seleção de ingredientes e a formulação de emulsões estáveis, fatores que impactam diretamente a eficácia do produto e a experiência sensorial do consumidor (CALIXTO; MAIA CAMPOS, 2017; KIM; OH; LEE, 2020).

Os resultados obtidos indicam que a formulação de Jamâmina apresenta uma estrutura uniforme e estável, com viscosidade constante, independentemente das variações na taxa de cisalhamento. Além disso, a Jamâmina demonstrou resistência a variações térmicas, mantendo seu desempenho consistente mesmo sob mudanças de temperatura. A ausência de tixotropia reforça a confiabilidade da formulação, eliminando comportamentos indesejados de degradação e recuperação gradual após cisalhamento. Esses resultados evidenciam o potencial da Jamâmina como um ativo estável e de alto desempenho para aplicações cosméticas, oferecendo uma experiência sensorial consistente e agradável.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. COSMÉTICOS

A palavra “cosméticos” é derivada da palavra grega *kosmetikós*, que possui o significado de “prática de ornamentar”. Desde os primórdios da civilização, o uso de cosméticos têm desempenhado um papel relevante na história humana. Sua utilização está associada a funções diversas, como a proteção cutânea, os cuidados com a higiene bucal, o embelezamento estético, o desenvolvimento de fragrâncias e, ainda, à expressão de status social e ideologias, muitas vezes vinculadas a contextos sociopolíticos. Além de atender a necessidades práticas, os cosméticos serviram como instrumentos simbólicos, refletindo valores culturais e hierarquias, ao mesmo tempo em que contribuíram para práticas de autoexpressão e interação social ao longo das diferentes eras(GALEMBECK; CSORDAS, 2012).

Óleos e cremes, que constituíam elementos fundamentais da rotina de higiene e saúde no Egito Antigo, eram empregados para proteger a pele contra a intensidade solar e os ventos áridos da região. O creme de limpeza, por exemplo, era feito com gordura animal ou óleo vegetal misturado com cal em pó e perfume (MCMULLEN; DELL’ACQUA, 2023). Assim como em outros contextos históricos, inúmeras receitas cosméticas foram identificadas em um texto médico da Idade Média intitulado *Trotula*, o que evidencia a utilização constante e o interesse por preparações cosméticas ao longo do período medieval (CAVALLO et al., 2008).

Entre 1500 e 1700 d.C., a ciência dos cosméticos começou a se desenvolver de forma significativa, e os primeiros mercados permanentes para cosméticos foram estabelecidos, oferecendo sabonetes, cremes, perfumes e produtos de maquiagem coloridos. Com os avanços tecnológicos na indústria moderna, as formulações evoluíram rapidamente impulsionada pelo crescente entendimento da fisiologia normal da pele e pelo desenvolvimento de novas técnicas de pesquisa. Isso resultou em avanços significativos no conhecimento, bem como na criação de novos ingredientes, ativos e veículos, baseados em mecanismos de ação bem estabelecidos (BRANDT; CAZZANIGA; HANN, 2011).

Tradicionalmente, os cosméticos eram vistos como preparações, como pós ou cremes, destinados a melhorar a aparência por meio da aplicação direta na pele. Contudo, os avanços científicos e tecnológicos transformaram nossa compreensão da fisiologia da pele normal e de como os cosméticos alteram sua aparência por meio de modificações físicas e atividade biológica (NEWBURGER, 2009).

2.2. DERMOCOSMÉTICOS

Esse conceito pode ser identificado sob diversas denominações, como “dermocosmético”, “dermatocosmético” ou até mesmo “bioativo”, entre outros. Embora não seja um termo oficialmente reconhecido pelos órgãos reguladores, ele se refere a preparações cosméticas que exercem atividades específicas sobre a pele.

Os dermocosméticos possuem um impacto mais significativo na estrutura cutânea em comparação aos cosméticos convencionais, embora seu efeito seja menos pronunciado do que o de um medicamento. Sendo assim, esses produtos contêm ingredientes ativos com eficácia comprovada e são recomendados para os cuidados diários da pele, frequentemente voltados para questões dermatológicas, como acne, rugas ou ressecamento. Além disso, os dermocosméticos apresentam um forte apelo para a prevenção e tratamentos específicos, mas não são necessariamente tão intensivos ou direcionados quanto os cosmecêuticos — categoria que adota técnicas inspiradas na medicina estética, como a incorporação de peptídeos bioativos, retinoides em concentrações elevadas ou ácidos com ação acelerada na renovação celular, promovendo regeneração tecidual e resultados mais profundos (BERLINCK, 2015).

Os dermocosméticos passaram a ser uma área dentro da dermatologia que utiliza cosméticos no tratamento científico de diversos distúrbios cutâneos. Como profissionais especializados em cuidados com a pele, os dermatologistas já recorrem a esses produtos para preservar a aparência estética e o bem-estar da pele. Assim, os dermocosméticos são frequentemente usados, sozinhos ou como complementos a tratamentos farmacológicos, para melhorar a fotoproteção, tratar pele seca ou envelhecida, além de condições inflamatórias como acne, rosácea, dermatite atópica, psoríase e dermatite seborreica, bem como problemas capilares e das unhas. Esses produtos são aplicados topicalmente na pele, no couro cabeludo e nos cabelos, promovendo a melhoria da qualidade de vida dos pacientes, sua autoestima e ajudando a mitigar os efeitos adversos de alguns tratamentos (DRENO et al., 2014).

2.3. CARREADOR LIPÍDICO NANOESTRUTURADO

Os carreadores lipídicos nanoestruturados (CLNs) são sistemas de transporte de fármacos ou compostos ativos que utilizam uma combinação inovadora de lipídios sólidos e líquidos, organizados em partículas nanométricas. Desenvolvidos como uma evolução das

nanopartículas lipídicas sólidas, os CLNs foram criados para superar limitações de sistemas anteriores, como a baixa capacidade de encapsulação e a instabilidade durante o armazenamento (WISSING; KAYSER; MÜLLER, 2004). Sua estrutura única, que mescla lipídios sólidos e líquido, forma uma matriz amorfa (não cristalina). Essa desorganização molecular cria "imperfeições" na estrutura, permitindo maior encapsulação de fármacos hidrofóbicos ou hidrofílicos e evitando a expulsão prematura do princípio ativo, um problema comum em sistemas rígidos como os lipossomas ou SLNs (MEHNERT; MÄDER, 2012).

A estabilidade das partículas é garantida por surfactantes, que envolvem a matriz lipídica e impedem a aglomeração. Essa combinação não apenas protege o fármaco contra degradação por fatores externos (como luz, oxidação ou pH gástrico), mas também permite uma liberação controlada. O mecanismo de ação envolve a difusão gradativa do composto através da matriz lipídica ou sua liberação conforme os lipídios são metabolicamente degradados (TAMJIDI et al., 2013). Além disso, o tamanho nanométrico facilita a penetração em tecidos biológicos, aumentando a biodisponibilidade de substâncias que, de outra forma, teriam absorção limitada.

Entre as principais vantagens dos CLNs está a biocompatibilidade, já que os lipídios utilizados são frequentemente derivados de fontes naturais, reduzindo riscos de toxicidade. Eles também apresentam maior estabilidade física comparados a sistemas como emulsões ou lipossomas, além de alta capacidade de carga — características essenciais para aplicações farmacêuticas e cosméticas (MEHNERT; MÄDER, 2012). Na área médica, são utilizados para entregar quimioterápicos, antifúngicos e anti-inflamatórios, minimizando efeitos colaterais e melhorando a eficácia terapêutica. Na cosmética, destacam-se no transporte de vitamina C, retinol e filtros UV, protegendo ingredientes sensíveis e prolongando sua ação (WISSING; KAYSER; MÜLLER, 2004). Na nutrição, encapsulam suplementos lipossolúveis, como ômega-3, garantindo absorção intestinal eficiente (TAMJIDI et al., 2013)

Estudos pioneiros (WISSING; KAYSER; MÜLLER, 2004) descrevem a evolução dos NLSs para os CLNs, destacando sua capacidade de superar problemas de cristalização lipídica (MEHNERT; MÄDER, 2012). Trabalhos mais recentes compararam a eficácia dos CLNs com outros sistemas, enfatizando sua superioridade em termos de liberação sustentada e adaptabilidade a diferentes vias de administração (oral, tópica ou intravenosa)(TAMJIDI et al., 2013).

2.4. JAMÃMINA

A Jamâmina é um carreador lipídico nanoestruturado (CLN) desenvolvido em um estudo anterior realizado em um laboratório da UnB, com a finalidade de encapsular a curcumina *Curcuma longa*. (açafrão). Este nanocarreador foi formulado utilizando manteiga de tucumã e óleo de jambu, que foram escolhidos estrategicamente por suas propriedades bioativas de interesse. Diversos componentes relevantes foram identificados no tucumã, incluindo flavonoides, rutina e ácidos graxos saturados. Além disso, estudos demonstraram que esse fruto possui propriedades antioxidantes (PEIXOTO ARAUJO et al., 2021). O jambu, por sua vez, apresenta uma ampla variedade de metabólitos secundários associados a propriedades anti-inflamatórias e nociceptivas, envolvendo receptores opioides no processo, além de outros efeitos promissores para aplicações industriais (CARDOSO; GARCIA, 1997; DUBEY; SARVAIYA; SESHADRI, 2013).

A curcumina foi escolhida devido ao seu vasto potencial terapêutico, apresentando propriedades antioxidantes, anti-inflamatórias, antidepressivas, antibacterianas, antidiabéticas e antitumorais (BENER et al., 2016; FARHOOD et al., 2019; NAEINI et al., 2019). Este bioativo já demonstrou grande eficácia no tratamento de doenças inflamatórias da pele em estudos recentes, além de ser uma opção de tratamento efetiva e de baixo custo. Contudo, um dos principais desafios no uso da curcumina está na sua baixa biodisponibilidade, que resulta de sua solubilidade limitada em água e instabilidade (VOLONO et al., 2019).

O objetivo do desenvolvimento da Jamâmina foi superar as limitações da curcumina, como sua baixa solubilidade em água e baixa biodisponibilidade no organismo. A formulação da Jamâmina visa otimizar a liberação e estabilidade da curcumina, tornando-a mais eficaz no tratamento de doenças inflamatórias da pele e em outras condições terapêuticas.

Diante disso, o desenvolvimento do NLC pode ser significativamente aprimorado pelo uso da reologia, uma ferramenta analítica essencial para a caracterização de fluidos complexos, possibilitando a avaliação de como a amostra se comporta sob diferentes condições, como variações de temperatura e pressão, que simulam condições do ambiente de uso ou do corpo humano.

2.5. REOLOGIA

A reologia é um ramo da física que descreve a deformação de líquidos, sólidos ou gases sob a ação de tensões. Ela se concentra no estudo das propriedades de fluxo e

deformação da matéria quando submetida à forças. O termo "reologia" deriva da palavra grega "rheo", que significa escoamento, e "logos", que significa ciência e foi sugerido pelos pesquisadores Reiner e Bingham, que são considerados os pioneiros dessa área (HAMER; BRUMMER, 1997). De maneira simplificada, a reologia pode ser dividida em três áreas: cinemática (lei do movimento), dinâmica (relação entre força e movimento) e estática (objetos em equilíbrio) (BRUMMER; GODERSKY, 1999).

Para realização de um estudo reológico, são aplicadas tensões ou deformações no material, e suas respostas são analisadas em termos dessas variáveis. Sendo que, as relações entre tensão e deformação constituem equações reológicas de estado, que descrevem as propriedades reológicas do material (BRETAS; SCURACCHIO, 2000). A reologia tem ampla aplicação em diversos setores industriais, com destaque para áreas como alimentos, polímeros, adesivos, tintas, medicamentos e cosméticos (BRUMMER, 2005; HAMER; BRUMMER, 1997; KAGANYUK; MOHRAZ, 2019)

Do ponto de vista reológico, os sólidos que não se comportam como sólidos perfeitamente elásticos são classificados como totalmente resistentes à deformação., os líquidos como parcialmente resistentes e os gases como totalmente não resistentes. Na área farmacêutica, o estudo dos aspectos reológicos é particularmente relevante para caracterizar as formas líquidas e semi-sólidas (CONSELHO FEDERAL DE FARMÁCIA, 2017). É relevante destacar que a crescente dependência de testes *in vitro* para avaliar a adequação de formas farmacêuticas na obtenção de autorização de comercialização, juntamente com o uso cada vez maior de polímeros nas formulações e na construção de dispositivos, tornou as medições das propriedades de fluxo ainda mais importantes. Além disso, os avanços nos métodos de análise das propriedades viscoelásticas de materiais semissólidos não apenas ampliaram a qualidade das informações obtidas, como também reduziram o tempo necessário para sua aquisição (AULTON, 2005).

Conforme mencionado, a reologia abrange diversas propriedades relacionadas à deformação da matéria, entre as quais se destacam: extrusibilidade, que é o processo de forçar uma massa semi-sólida a passar por um orifício; compressibilidade, termo frequentemente utilizado na tecnologia de comprimidos a partir de pós ou granulados; ductibilidade, que é a propriedade de um semi-sólido de formar fios quando esticado; espalhabilidade, que se refere à capacidade de um semi-sólido de se espalhar ao ser submetido a uma força sobre uma superfície sólida; elasticidade, fenômeno de deformação associado a fibras e filmes poliméricos; e, por fim, fluidez e viscosidade, termos antagônicos que descrevem a resistência ao fluxo de sistemas líquidos e semi-sólidos (PAULO A. NETZ,

2002).

Os testes reológicos são frequentemente empregados para avaliar e garantir a estabilidade de emulsões cosméticas, além de selecionar a composição adequada. Calixto e Maia enfatizaram a importância de utilizar testes reológicos para escolher cuidadosamente os ingredientes, visando desenvolver produtos cosméticos estáveis e eficazes (CALIXTO; MAIA CAMPOS, 2017). Da mesma maneira, é evidente que o gerenciamento da estabilidade de emulsões pode ser controlado por meio da análise reológica do processo de mistura para criar emulsões cosméticas com estabilidade cinética (KIM; OH; LEE, 2020).

A indústria de cosméticos é um setor no qual a reologia assume maior importância em comparação com outras indústrias. Além das perspectivas de fabricação e desempenho, o comportamento reológico dos cosméticos também afeta os usuários psicologicamente durante a aplicação, tornando-se um fator crítico na experiência do consumidor (LUKIC et al., 2012).

2.6. REOLOGIA DE EMULSÕES DE USO COSMÉTICO

O uso da reologia no estudo de emulsões é relativamente recente, com um dos primeiros trabalhos na área apresentado por Laba (LABA, 2017). Nesse estudo, Laba compilou pesquisas realizadas nos Estados Unidos e na Europa, que já destacavam o potencial da reologia como uma ferramenta competitiva para prever a estabilidade de emulsões e alinhar seus perfis reológicos às expectativas sensoriais dos consumidores. O pesquisador foi pioneiro ao afirmar que a satisfação sensorial do consumidor é um fator crucial para o sucesso comercial de produtos cosméticos. Além disso, Laba ressaltou a importância da aplicação de tecnologias que permitam reproduzir com maior rapidez as sensações do consumidor, contribuindo para um processo mais seguro e eficiente no desenvolvimento de novos produtos.

Posteriormente, CASTRO, 2001 destacou a relevância da reologia na seleção de matérias-primas, no aprimoramento de tecnologias de fabricação e na avaliação da estabilidade de produtos durante o armazenamento, além de fornecer insights sobre a biodisponibilidade em formulações de medicamentos. A biodisponibilidade refere-se à fração de uma dose ingerida de uma substância que atinge a circulação sistêmica em sua forma química inalterada. Castro investigou o impacto de estabilizantes na minimização ou prevenção da formação de sedimentos ou agregados em sistemas líquidos dispersos. Além disso, demonstrou que a consistência de um produto resulta da interação de diversos fatores, como forças de adesão e coesão, viscosidade, elasticidade, tixotropia e microestrutura, entre

outros.

Nos últimos dez anos, tem-se observado um aumento no uso de análises dos aspectos físicos de emulsões, com o objetivo de estimar sua estabilidade ou avaliar a experiência proporcionada pelo uso de sistemas emulsionados, como loções hidratantes (GILBERT et al., 2013). Artigos mais recentes continuam a explorar esse tema, investigando o uso de análises reológicas e sensoriais em sistemas emulsionados, poliméricos e de uso cosmético ou farmacêutico (KIM et al., 2024). Essas pesquisas focam na estabilidade cinética por meio de experimentos reológicos em regime oscilatório, que são preferencialmente utilizados.

2.7. FLUIDO

Todos os comportamentos de fluidos, o que inclui as emulsões, são analisados por equipamentos chamados reômetros, cujos ensaios podem ser realizados em regimes estacionário e oscilatório (BRETAS; SCURACCHIO, 2000).

Um fluido pode ser definido como uma substância que se deforma continuamente, ou seja, escoa, sob a ação de uma força tangencial, independentemente da intensidade dessa força (MOREIRA COSTA, 2017).

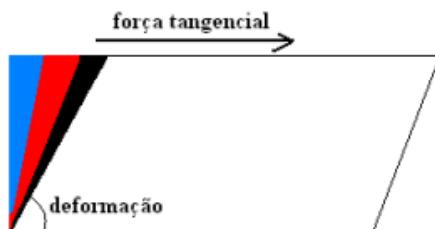


Figura 1: Força tangencial agindo sobre um fluido. Retirado de: (HELENA; GOMES, 2012)

A diferença mecânica mais significativa entre materiais classificados como "fluidos" e aqueles classificados como sólidos está em sua reação às tensões de cisalhamento. A tensão de cisalhamento (Shear Stress) é uma força distribuída, ou força por unidade de área, cuja direção de ação está dentro do plano de aplicação. Por exemplo, ao deslizar a mão aberta sobre uma mesa, o atrito entre sua mão e a superfície cria uma tensão de cisalhamento na sua mão. Um sólido (dentro de seu limite elástico) se deformará por um ângulo limitado enquanto uma tensão de cisalhamento for aplicada, e então retornará à sua configuração original quando a tensão for removida. Um fluido, por outro lado, se deformará continuamente enquanto uma tensão de cisalhamento for aplicada e não retornará à sua

forma original quando a tensão for removida (JOHN WILEY, 2015).

Para um fluido, a taxa de deformação por cisalhamento (Shear Rate) está relacionada à magnitude da tensão de cisalhamento aplicada. Em outras palavras, a velocidade com que o fluido se deforma depende da intensidade da força aplicada. Isso significa que, quando você aplica uma tensão de cisalhamento a um fluido, ele vai se deformar de forma contínua, e a taxa de deformação (quão rápido ele se deforma) aumentará proporcionalmente com a intensidade da tensão de cisalhamento (JOHN WILEY, 2015).

Tabela 1: Diferenciação entre tensão de cisalhamento, taxa de cisalhamento e deformação.

Propriedade	Símbolo	Unidade	Definição	Relação Matemática	O que mede?
Tensão de Cisalhamento (Shear stress)	τ	Pascal (Pa) ou N/m ²	Força aplicada por unidade de área paralela ao plano de cisalhamento, causando deformação.	$\tau=F/A$ onde F é a força e A é a área.	Resistência interna ao movimento ou deslizamento.
Taxa de Cisalhamento (Shear rate)	$\dot{\gamma}$	s ⁻¹ (1/s), ou taxa por segundo.	Taxa de variação da deformação em relação ao tempo; mede a rapidez do cisalhamento em um fluido ou material.	$\dot{\gamma} = dv/dy$, onde v é a velocidade e y é a posição perpendicular ao cisalhamento.	A velocidade do deslocamento relativo das camadas.
Deformação (Shear strain)	γ	Adimensional	Razão entre o deslocamento de partículas paralelas ao plano de cisalhamento e a distância inicial entre elas.	$\gamma=\Delta x/y$, onde Δx é o deslocamento e y é a distância inicial.	Grau de cisalhamento acumulado em um material

De acordo com a Figura 2, enquanto para um sólido, a quantidade de deformação por cisalhamento está relacionada à magnitude da tensão de cisalhamento aplicada, mas ao contrário dos fluidos, um sólido não se deforma de maneira contínua e irreversível. A deformação de um sólido é limitada e ele retorna à sua forma original quando a tensão é removida, desde que a tensão esteja abaixo de seu limite elástico. Ou seja, a deformação em sólidos ocorre até um certo ponto (o limite elástico), e a relação entre tensão e deformação não é linear em toda a faixa de tensões (JOHN WILEY, 2015).

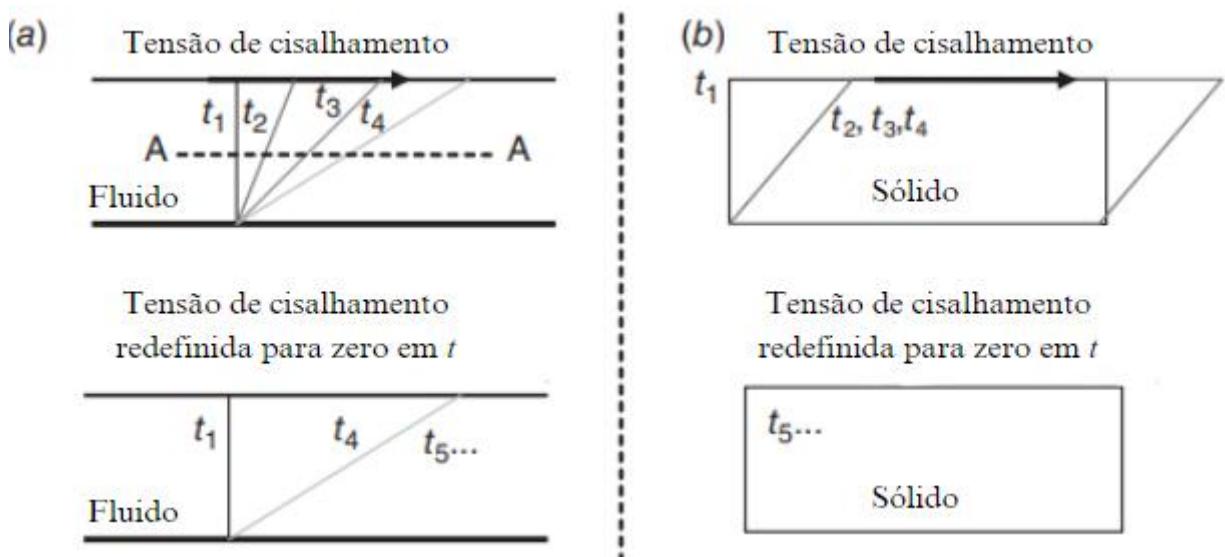


Figura 2: Comportamento de fluido (viscoso) versus sólido (elástico). (a) Comportamento de fluido (viscoso): Uma fina camada de fluido mantida entre duas placas paralelas, sendo a placa superior movida em relação à placa inferior pela aplicação de uma tensão de cisalhamento, continuará a se deformar enquanto a tensão de cisalhamento for aplicada. A taxa de deformação por cisalhamento está relacionada à magnitude da tensão de cisalhamento. Quando a tensão de cisalhamento for removida, o fluido permanecerá em seu estado deformado; (b) Comportamento de sólido (elástico): Um sólido se deformará através de um ângulo fixo quando uma tensão de cisalhamento for aplicada. A quantidade de deformação por cisalhamento está relacionada à magnitude da tensão de cisalhamento. Quando a tensão de cisalhamento for removida, o sólido retornará à sua configuração original. Retirado de: (JOHN WILEY, 2015).

Essa diferença mecânica aparentemente inofensiva na reação às tensões de cisalhamento dá origem à grande diferença de caráter entre sólidos e fluidos. De fato, ela dá origem a todos os comportamentos que associamos inherentemente aos "fluidos": a capacidade de fluir, a capacidade de preencher volumes de forma arbitrária, a capacidade de se espalhar e "molhar" determinadas superfícies, etc. (JOHN WILEY, 2015).

Tabela 1: Diferenciação entre tensão de cisalhamento, taxa de cisalhamento e deformação.

Propriedade	Símbolo	Unidade	Definição	Relação Matemática	O que mede?
Tensão de Cisalhamento (Shear stress)	τ	Pascal (Pa) ou N/m ²	Força aplicada por unidade de área paralela ao plano de cisalhamento, causando deformação.	$\tau=F/A$ onde F é a força e A é a área.	Resistência interna ao movimento ou deslizamento.
Taxa de Cisalhamento (Shear rate)	$\dot{\gamma}$	s ⁻¹ (1/s), ou taxa por segundo.	Taxa de variação da deformação em relação ao tempo; mede a rapidez do cisalhamento em um fluido ou material.	$\dot{\gamma} = dv/dy$, onde v é a velocidade e y é a posição perpendicular ao cisalhamento.	A rapidez do deslocamento relativo das camadas.
Deformação (Shear strain)	γ	Adimensional	Razão entre o deslocamento de partículas paralelas ao plano de cisalhamento e a distância inicial entre elas.	$\gamma=\Delta x/y$, onde Δx é o deslocamento e y é a distância inicial.	Grau de cisalhamento acumulado em um material

As figuras 3.1 e 3.2 representam, de forma simplificada, um exemplo de mecanismo de alteração da resistência ao cisalhamento em dois sistemas fluidos constituídos por solvente e soluto. No primeiro sistema, o soluto possui uma forma alongada, típica de polímeros ou fibras. Em estado de repouso, os elementos estão dispostos aleatoriamente, sob influência de forças intermoleculares, como as de Van der Waals, formando uma rede emaranhada que impõe alta resistência ao escoamento quando submetida a uma força cisalhante com taxa $\dot{\gamma}$.

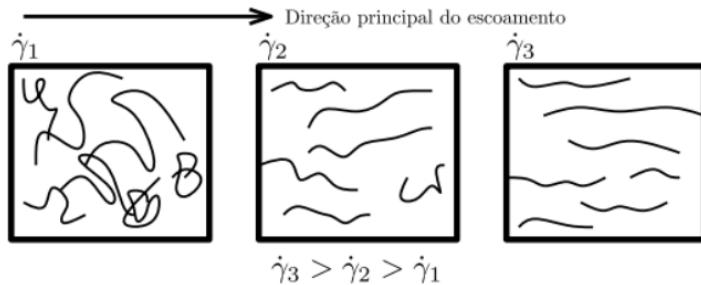


Figura 3.1: Alinhamento das fibras ou polímeros com a direção principal do escoamento. Retirado de: (SOARES; DEOCLECIO, 2024).

Quando essa força, ou taxa de cisalhamento equivalente, é aplicada, o sistema é perturbado e busca uma nova configuração de equilíbrio, na qual as moléculas ou fibras tendem a se alinhar com a direção principal do escoamento. Esse alinhamento reduz a resistência ao cisalhamento, ou seja, diminui a viscosidade do sistema. Contudo, o alinhamento não é completo nem perfeito, sendo proporcional à intensidade da taxa de cisalhamento. A Figura 3.1 ilustra essa dinâmica, mostrando três níveis de cisalhamento com taxas $\dot{\gamma}'_3 > \dot{\gamma}'_2 > \dot{\gamma}'_1$. Portanto, neste caso, conforme a taxa de cisalhamento aumenta, a viscosidade diminui.

A Figura 3.2 demonstra um comportamento atribuído ao aumento do atrito sólido-sólido como em sistemas particulados, com o incremento de $\dot{\gamma}'$. Em repouso, as partículas encontram-se distribuídas aleatoriamente, equilibradas por forças de atração e repulsão, e envoltas por um líquido que atua como lubrificante sob pequenas taxas de deformação. Conforme a taxa de cisalhamento aumenta, as partículas tendem a se afastar, ampliando o espaço entre elas. Com uma quantidade limitada de líquido lubrificante, parte das partículas passa a se mover em contato direto, sem lubrificação, aumentando o atrito sólido-sólido, a resistência ao escoamento e, consequentemente, a viscosidade.

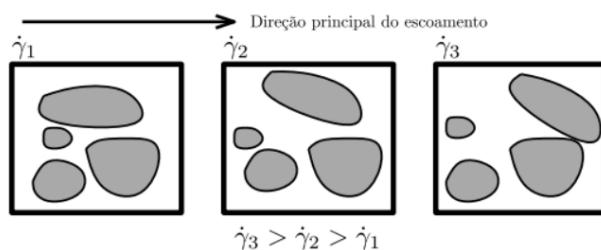


Figura 3.2: Redução da lubrificação das partículas com o cisalhamento. Retirado de: (SOARES; DEOCLECIO, 2024).

2.8. VISCOSIDADE

A viscosidade, também conhecida como atrito interno, é a propriedade que determina o nível de resistência de um fluido à força cisalhante, ou seja, à deformação. De forma simples, a viscosidade pode ser entendida como a oposição de um fluido ao escoamento causado pelo cisalhamento (AULTON, 2005). Sendo assim, a viscosidade de cisalhamento, é a propriedade que estabelece a relação quantitativa entre a tensão de cisalhamento aplicada e a taxa de deformação, que refere-se à velocidade com que as partículas do fluido ou do material se deformam sob a ação de uma força de cisalhamento (Tabela 2). Qualitativamente, a viscosidade indica a "espessura" ou resistência ao fluxo de um fluido. Como a viscosidade é a propriedade que controla e quantifica o comportamento de tensão de cisalhamento e taxa de cisalhamento — características fundamentais dos fluidos — ela é, em muitos aspectos, a propriedade física mais relevante de um fluido (JOHN WILEY, 2015).

Quando um fluido é submetido a uma tensão e flui rapidamente, ele é considerado pouco viscoso, como no caso da água. Por outro lado, se o fluido apresenta maior resistência ao escoamento e, consequentemente, menor fluidez, ele é classificado como altamente viscoso, como ocorre com os óleos. Essa propriedade também pode ser entendida como o atrito interno entre as partículas que compõem o fluido (MOREIRA COSTA, 2017).

É importante ressaltar que a viscosidade, para a maioria dos fluidos newtonianos, tende a diminuir com o aumento da temperatura devido ao aumento do movimento browniano das moléculas constituintes. Com o aumento da temperatura, as moléculas ganham mais energia cinética, intensificando seu movimento, o que reduz a eficácia das forças intermoleculares que mantêm as moléculas juntas, diminuindo a viscosidade. Quanto maior a viscosidade inicial de um fluido, maior será a taxa de diminuição dessa viscosidade com o aumento da temperatura, pois líquidos mais viscosos possuem interações intermoleculares mais fortes. Já em relação à pressão, quando ela diminui, as moléculas se afastam, o que reduz as interações intermoleculares e, consequentemente, a viscosidade. Assim, a viscosidade tende a cair com a diminuição da pressão. Portanto, enquanto o aumento da temperatura reduz a viscosidade, a diminuição da pressão também leva a uma queda na viscosidade do fluido (JOHN WILEY, 2015) (MOREIRA COSTA, 2017).

Tabela 2: Definição de viscosidade.

Propriedade	Símbolo	Unidade	Definição	Relação Matemática	O que mede?

Viscosidade	η	Pa·s	Resistência de um fluido ao fluxo; relação entre tensão de cisalhamento e taxa de cisalhamento.	$\eta = \tau / \gamma'$ para um fluido Newtoniano.	A resistência do fluido ao movimento.
--------------------	--------	------	---	--	---------------------------------------

3. CLASSIFICAÇÃO REOLÓGICA DOS FLUIDOS

3.1. FLUIDOS NEWTONIANOS

Uma relação linear simples entre a tensão de cisalhamento (τ) e a taxa de deformação por cisalhamento (γ') é observada em uma grande variedade de fluidos, isto é, quanto maior a taxa de cisalhamento, maior será a tensão de cisalhamento. Essa relação linear é uma característica fundamental dos fluidos Newtonianos. Essa interação é descrita pela **lei da viscosidade de Newton**:

$$\tau = \eta \cdot \gamma'$$

Onde:

- τ é a **tensão de cisalhamento** (Pa),
- η é a **viscosidade dinâmica** (Pa·s), que é constante para fluidos Newtonianos,
- γ' é a **taxa de deformação por cisalhamento** (segundo elevado a menos um).

A inclinação constante dessa linha, como demonstrado na figura 7(a), chamada de Newtoniana, representa a viscosidade do fluido. Fluidos que apresentam esse comportamento são conhecidos como fluidos Newtonianos. Muitos fluidos comuns, como ar, gases em geral, água e óleos simples, exibem comportamento Newtoniano, o que significa que a viscosidade permanece constante em relação à taxa de cisalhamento em uma ampla gama de taxas de deformação (JOHN WILEY, 2015).

3.2. FLUIDOS NÃO NEWTONIANOS

Fluidos com estruturas moleculares mais complexas (como polímeros) ou com outras fases suspensas (como misturas, suspensões e coloides) frequentemente apresentam comportamentos mais complicados entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação

(veja a Fig. 4). Fluidos que exibem esses comportamentos são amplamente classificados como fluidos "não-newtonianos". Fluidos não-newtonianos podem ser diferenciados com base na forma como reagem às mudanças nas taxas de deformação por cisalhamento, à duração da aplicação da carga e se apresentam ou não resistência elástica de cisalhamento (semelhante à de um sólido) antes de se comportarem como fluido (JOHN WILEY, 2015).

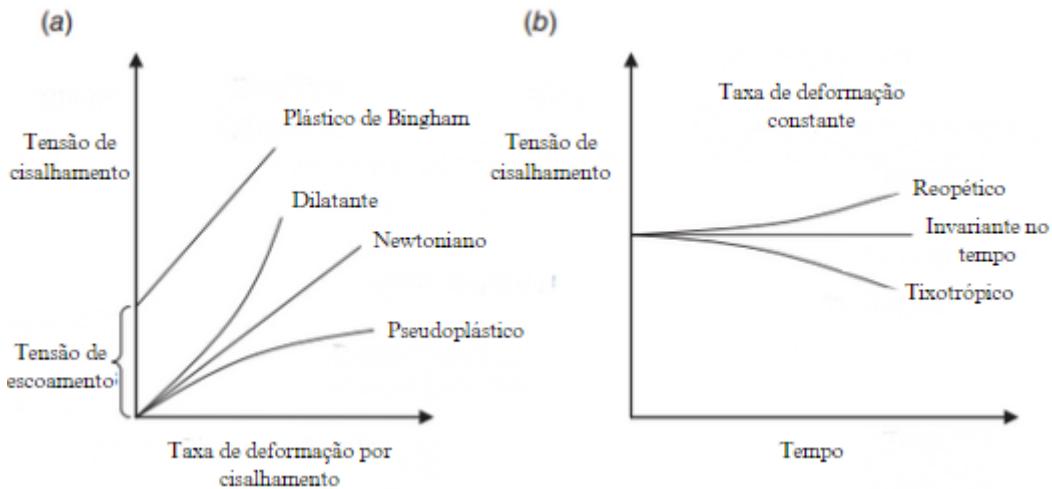


Figura 4: (a) Comportamento de fluidos Newtonianos e não-Newtonianos. (b) Representação do comportamento de fluidos tixotrópicos e reopécticos. Alguns fluidos podem "afinar" ou "engrossar" conforme o tempo de aplicação de uma taxa de deformação constante aumenta. Retirado de: (JOHN WILEY, 2015).

3.2.1. FLUIDOS NÃO DEPENDENTES DO TEMPO

Dilatantes

Fluidos que apresentam um aumento na viscosidade aparente (entendida como a inclinação local da curva de tensão versus taxa de deformação, como ilustrado na Fig. 4, à medida que a taxa de deformação aplicada cresce, são conhecidos como fluidos "espessantes por cisalhamento" ou fluidos dilatantes, em inglês "shear thickening"). Um exemplo clássico de fluido espessante por cisalhamento é a mistura de amido de milho com água. Se esse fluido for submetido a um cisalhamento rápido (como ao bater com um martelo), sua viscosidade aumentará a ponto de o fluido se comportar quase como um sólido, e o impacto do martelo ricocheteará na superfície. Contudo, em taxas de cisalhamento mais baixas, a mistura se comportará como um fluido "normal" (por exemplo, um martelo colocado sobre a superfície afundará facilmente). Resumidamente, para esses fluidos, a viscosidade aumenta com a taxa de cisalhamento (JOHN WILEY, 2015).

Pseudoplásticos

Fluidos que exibem o comportamento oposto (diminuição da viscosidade aparente com o aumento da taxa de cisalhamento) são chamados de fluidos pseudoplásticos, em inglês “shear thinning”. Um exemplo comum é a tinta “sem gotejamento”, que se comporta como um fluido relativamente espesso (viscoso) enquanto está aderido a um pincel (em uma condição de baixa taxa de cisalhamento), mas se espalha facilmente (ou seja, exibe menor viscosidade) quando o pincel é arrastado sobre uma superfície, aumentando assim a taxa de deformação por cisalhamento aplicada ao fluido. Resumidamente, para esses fluidos, a viscosidade cai quando a taxa de cisalhamento aumenta. (JOHN WILEY, 2015).

Fluidos viscoplásticos

Certos fluidos, conhecidos como "fluidos plásticos de Bingham", inicialmente exibem um comportamento "semelhante ao de um sólido" até que uma tensão de cisalhamento limiar, comumente chamada de tensão limite de cisalhamento ou tensão limite de escoamento (em inglês: yield-stress) seja atingida; a partir desse ponto, eles exibem um comportamento "semelhante ao de um fluido" (deformando-se continuamente enquanto a tensão de cisalhamento é aplicada) (veja a Fig. 4a). Sendo assim, um material viscoplastico apenas se deformará quando a tensão aplicada a ele excede certo valor limite, característico de cada material. Quando as tensões aplicadas são inferiores ao valor limite, o material permanece em uma configuração não deformada. Tudo se passa como se a viscosidade do material fosse infinita sob tensões inferiores ao valor limite. Neste comportamento, a deformação é irreversível, mantendo-se permanente após a retirada do carregamento ((JOSÉ SOARES; PAGOTO DEOCLECIO, 2024)).

Um exemplo comum desse tipo de fluido é a pasta de dente, que não flui até que um valor de tensão de cisalhamento seja superado. Esse comportamento é geralmente descrito como viscoelasticidade (JOHN WILEY, 2015). Ou seja, um fluido viscoplastico tem viscosidade extremamente alta em baixas taxas de cisalhamento, o que impede seu fluxo. Quando a taxa de cisalhamento aumenta, a viscosidade diminui e o fluido começa a fluir. Isso ocorre porque esses fluidos têm uma tensão limite, abaixo da qual não fluem, se comportando como sólidos. Ao ultrapassar essa tensão, o fluido começa a se deformar e fluir, com a viscosidade diminuindo conforme a força aumenta (JOHN WILEY, 2015).

Fluidos viscoelásticos

Materiais viscoelásticos são substâncias que apresentam tanto propriedades viscosas (como líquidos) quanto elásticas (como sólidos). Esses materiais possuem a capacidade de se deformar sob a aplicação de uma força, mas, ao contrário de materiais puramente viscosos ou elásticos, a sua resposta ao estresse não é apenas dependente da deformação instantânea, mas também do tempo e da taxa de deformação. Ou seja, materiais viscoelásticos exibem uma combinação de fluidez (comportamento viscoso) e capacidade de retorno à forma original (comportamento elástico) após a remoção de uma força. Exemplos de materiais viscoelásticos incluem borracha, colas, plásticos e até tecidos biológicos como músculos e tendões (JOSÉ SOARES; PAGOTO DEOCLECIO, 2024).

O comportamento elástico de um material viscoelástico segue a Lei de Hooke, ou seja, quando o material se deforma, ele retorna à sua forma original assim que a força é removida, de maneira imediata. Esse comportamento é típico de materiais como metais ou borrachas em determinadas condições de deformação. Por outro lado, o comportamento viscoso de um material viscoelástico não obedece diretamente à Lei de Hooke. Em vez disso, a deformação em materiais viscosos depende do tempo e da taxa de deformação, o que significa que a deformação não é recuperada de forma instantânea após a remoção da força, como acontece com os materiais puramente elásticos. Portanto, quando a tensão aplicada ultrapassa um certo limite ou é mantida por um longo período, a deformação de materiais viscoelásticos pode se tornar irreversível, ou seja, o material não retorna à sua forma original. Isso ocorre devido à dissipação de energia pela parte viscosa do material, que, quando sujeita a tensões elevadas ou prolongadas, não consegue recuperar totalmente sua forma, resultando em deformações permanentes (JOSÉ SOARES; PAGOTO DEOCLECIO, 2024).

3.2.2. FLUÍDOS DEPENDENTES DO TEMPO

Diversos materiais exibem o comportamento não newtoniano, conhecido como tixotropia, que, de maneira simplificada, refere-se à redução gradual da viscosidade ao longo do tempo quando a taxa de cisalhamento é mantida constante. É importante enfatizar que esse comportamento cíclico, reversível, é o que caracteriza a tixotropia (SOARES; DEOCLECIO, 2024).

Esse comportamento ocorre porque, com o tempo, a estrutura interna do fluido é alterada sob a aplicação de uma tensão de cisalhamento constante, resultando em uma redução gradual da viscosidade e facilitando o fluxo. Um fluido tixotrópico é caracterizado

pela capacidade de sua viscosidade diminuir sob cisalhamento e aumentar quando o fluido é deixado em repouso por um período prolongado, como representado na figura 5 (FRANZOL; REZENDE, 2015; KIM; MASON, 2017; SCHRAMM, 2006). Exemplos de fluidos tixotrópicos incluem o iogurte e algumas classes de tinta. (JOHN WILEY, 2015).

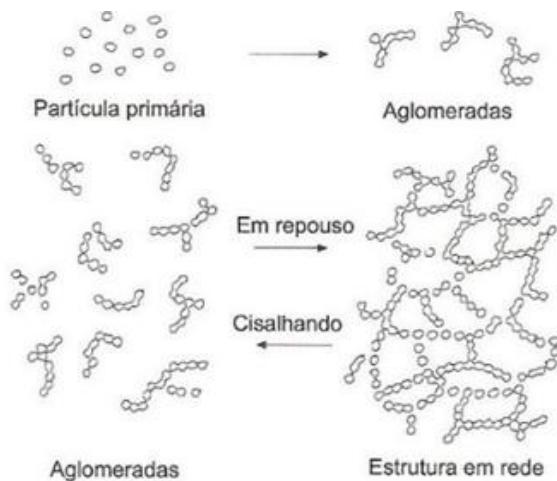


Figura 5: Ilustração da interação de partículas em dispersões tixotrópicas. Retirado de: (SCHRAMM, 2006).

A Figura 6 apresenta uma representação gráfica da tixotropia. Na curva de fluxo que relaciona a tensão de cisalhamento (τ) com a taxa de cisalhamento ($\dot{\gamma}$), a curva ascendente não coincide com a descendente, formando uma área de histerese (área cinza) entre elas. Essa área representa a magnitude da propriedade conhecida como tixotropia, associada à energia requerida para romper a estrutura tixotrópica dentro do volume cisalhado (SCHRAMM, 2006).

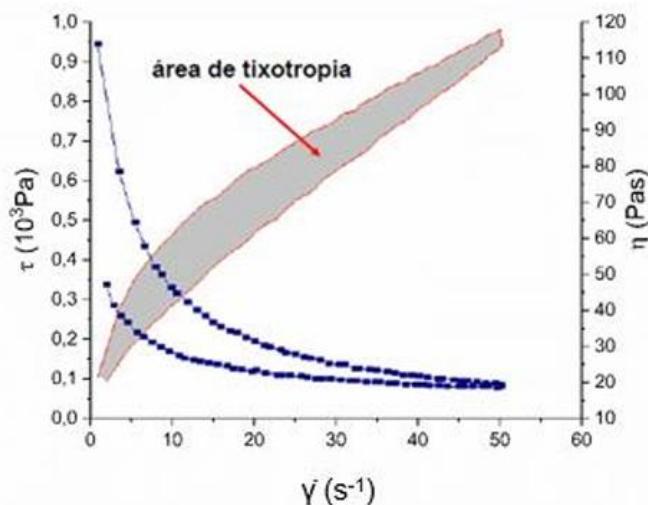


Figura 6: Representação gráfica de fluídos tixotrópicos. Retirado de: SCHRAMM (2006).

A curva de viscosidade correspondente (Figura 6, linha azul) ilustra o comportamento previamente descrito: a viscosidade diminui à medida que a taxa de cisalhamento aumenta, resultado da quebra da estrutura tixotrópica e da orientação molecular. Durante a segunda etapa do experimento, ao reduzir gradualmente a taxa de cisalhamento, observa-se que a viscosidade aumenta, mas de forma menos acentuada do que a redução inicial. Isso resulta em dois valores distintos de viscosidade para a mesma taxa de cisalhamento, diferença atribuída ao histórico de cisalhamento, com um valor sendo inferior ao outro.

Assim, a curva de viscosidade em função do tempo evidencia duas fases de transformação. Como exemplo de amostra, um gel rapidamente se transforma em líquido quando exposto a uma taxa constante de cisalhamento. (SCHRAMM, 2006). Na segunda fase, o líquido gradualmente retorna ao estado de gel. A velocidade dessa transformação pode variar amplamente, dependendo principalmente das propriedades do líquido tixotrópico e de sua temperatura.

Essa transformação pode envolver alguns segundos ou minutos para quebrar a estrutura tixotrópica, mas, em muitos casos, são necessárias horas, ou até meses, para recuperar por completo a condição original do gel. Embora a recuperação completa da transformação do gel seja um processo lento, a taxa de recuperação parcial nos primeiros segundos ou minutos após o repouso pode ser significativa, com até 30 a 50% da viscosidade sendo restaurada nesse curto intervalo. Esse comportamento é um dado de grande importância técnica. Por essa razão, a tixotropia é uma propriedade altamente relevante em diversas indústrias, como as de cosméticos, tintas, alimentos e produtos farmacêuticos, entre outros manufaturados de relevância industrial (BRUMMER, 2005; TADROS, 2004).

A outra classe de líquidos é conhecida como reopéticos, caracterizados pelo aumento da viscosidade durante o cisalhamento. Quando em repouso, esses líquidos recuperam sua viscosidade original, apresentando uma redução gradual. Esses materiais podem exibir um longo ciclo entre o aumento da viscosidade devido ao tempo de cisalhamento e sua diminuição durante o repouso. Dessa forma, a tixotropia e a reopetidade representam propriedades de fluxo opostas. Exemplos dessa classe de materiais incluem a argila bentonita e sistemas com microestrutura lamelar (SCHRAMM, 2006).

4. ENSAIOS REOLÓGICOS

4.1. ENSAIO EM REGIME ESTACIONÁRIO (STEADY STATE)

O regime estacionário, também conhecido como Steady State, em inglês, é uma condição em que as propriedades de um sistema permanecem constantes ao longo do tempo, apesar de estarem sendo submetidas a um processo dinâmico. No contexto de materiais e fluxos, isso significa que, após um período inicial de ajuste, o comportamento do material se estabiliza e não muda mais, mesmo com a aplicação contínua de forças, como cisalhamento ou deformação. Em ensaios reológicos, o steady state é atingido quando a taxa de deformação, a viscosidade ou o fluxo do material se mantêm constantes. Ou seja, o material atinge um equilíbrio dinâmico, e as variáveis de interesse (como a viscosidade ou a tensão) não mudam mais com o tempo, caracterizando um fluxo contínuo e estável (SCHRAMM, 2006; TADROS, 2004).

Este ensaio é amplamente utilizado para medir a viscosidade de materiais sob várias taxas de cisalhamento, ou seja, diferentes velocidades de deformação, sendo essencial para classificar o comportamento reológico do material. Esses ensaios fornecem informações sobre como a resistência ao fluxo (viscosidade) de um material muda conforme é submetido a forças de cisalhamento constantes e variáveis. Dessa forma, é possível construir a curva de fluxo, que relaciona a viscosidade à taxa de cisalhamento. Além da medida de viscosidade, este ensaio pode também fornecer informações indiretas sobre as propriedades elásticas do material durante o fluxo estacionário (TADROS, 2011).

No steady state, a viscosidade é o parâmetro mais diretamente observado, mas ao analisar a recuperação estrutural do material após a interrupção do cisalhamento em um gráfico de histerese, por exemplo, podemos inferir aspectos das suas propriedades elásticas. Isso ocorre porque, ao interromper o fluxo, o material pode tentar se reorganizar ou "recuperar" sua estrutura interna, e essa recuperação está associada a forças elásticas, que ajudam a restaurar o estado original do material. A rapidez e a forma como os materiais se recuperam fornecem pistas sobre sua elasticidade. Essa informação é válida para o estudo de emulsões. Um exemplo prático disso é a formação de um filme de proteção solar após a aplicação do produto sobre a pele. Para que o filme seja eficaz na proteção solar, espera-se que sua estrutura se reconstrua assim que o cisalhamento cesse. Materiais que apresentam esse comportamento reversível, isotérmico e com perda de consistência dependente do tempo quando submetidos a cisalhamento são classificados como tixotrópicos (KIM; MASON, 2017; SCHRAMM, 2006).

4.2. ENSAIO OSCILATÓRIO OU DINÂMICO

Os testes oscilatórios pertencem ao quadro geral de medições dinâmicas, nas quais, geralmente, tanto o estresse quanto a deformação variam harmonicamente com o tempo. Esses ensaios permitem separar as contribuições viscosa e elástica na propriedade total do material, em relação à frequência ou ao tempo. Geralmente, as deformações ou taxas de deformação utilizadas nesses testes são suficientemente pequenas para se manterem dentro dos limites da viscoelasticidade linear. Isso garante que o material responda de maneira previsível, sem sofrer alterações permanentes em sua estrutura, tornando o método não destrutivo. Esse limite é determinado quando as propriedades viscoelásticas, como o módulo de armazenamento (G') e o módulo de perda (G''), permanecem constantes em relação à tensão aplicada, indicando que o comportamento do material ainda está dentro da faixa linear e previsível (STEFFE, 1996).

O módulo de armazenamento (G') e módulo de perda (G''), referem-se à forma como a amostra responde a tensões e deformações. O módulo de armazenamento (G') mede a capacidade da amostra de armazenar energia elástica (como uma mola), enquanto o módulo de perda (G'') mede a energia dissipada, ou seja, como a amostra perde energia sob deformação (como um amortecedor). A razão entre esses dois módulos ($\tan \delta = G''/G'$) é conhecida como o fator de perdas e fornece informações sobre a natureza do material. Se a razão for alta (mais G'' do que G'), isso indica que o material se comporta mais como um fluido, dissipando mais energia. Se for baixa (mais G' do que G''), o material se comporta mais como um sólido elástico, armazenando mais energia (STEFFE, 1996).

A determinação do regime viscoelástico linear de um material é realizada, a uma dada temperatura, fazendo-se uma varredura da tensão a uma frequência constante. Caso as respostas do material não correspondam às tensões aplicadas, isso indica que sua estrutura interna foi alterada. Assim, a varredura de frequências possibilita a análise do comportamento viscoelástico do material em diferentes escalas temporais. Portanto, esse tipo de análise é útil para entender a estrutura interna e a estabilidade do material testado, como emulsões cosméticas, por exemplo (STEFFE, 1996).

Sendo assim, as propriedades dinâmicas de materiais viscoelásticos são de considerável interesse prático, pois a processabilidade desses materiais muitas vezes pode ser diretamente relacionada aos parâmetros "viscoso" e "elástico" derivados de tais medições (MARIN, 1993).

Durante a deformação de um material, ocorre a dissipação de energia devido à fricção entre seus elementos estruturais. Nos líquidos puramente viscosos, essa energia mecânica é dissipada de forma imediata e completa por meio de uma deformação irreversível, caracterizada como escoamento, de acordo com o modelo de amortecedor descrito pela Lei de Newton. No extremo oposto do espectro de comportamentos reológicos, encontram-se os sólidos puramente elásticos. Esses materiais possuem a capacidade de armazenar energia mecânica durante a deformação e liberá-la de maneira completa e instantânea após o fim do estímulo. Essa resposta ocorre por meio de uma deformação limitada e totalmente reversível, graças às fortes interações entre seus constituintes, conforme descrito pelo modelo de mola baseado na Lei de Hooke (SCHRAMM, 2006).

Quando um material viscoelástico é submetido a uma tensão que varia de forma senoidal a resposta pode ocorrer de diferentes maneiras dependendo de sua natureza (Figura 7). Se o material responder com uma deformação totalmente em fase com a tensão aplicada, o ângulo de fase será 0° , caracterizando o comportamento típico de um sólido elástico. Nesse caso, o material armazena energia e a libera de forma instantânea. Por outro lado, em um fluido puramente viscoso, a tensão senoidal aplicada provoca uma defasagem de 90° entre a tensão e a deformação, indicando que a resposta em termos de deformação ocorre com atraso. No entanto, a maioria dos materiais apresenta características intermediárias entre esses dois extremos, combinando propriedades elásticas e viscosas. Esse comportamento, denominado viscoelástico, é o mais comum na natureza e em materiais de uso industrial e científico (BRUMMER, 2005; FRANZOL; REZENDE, 2015).

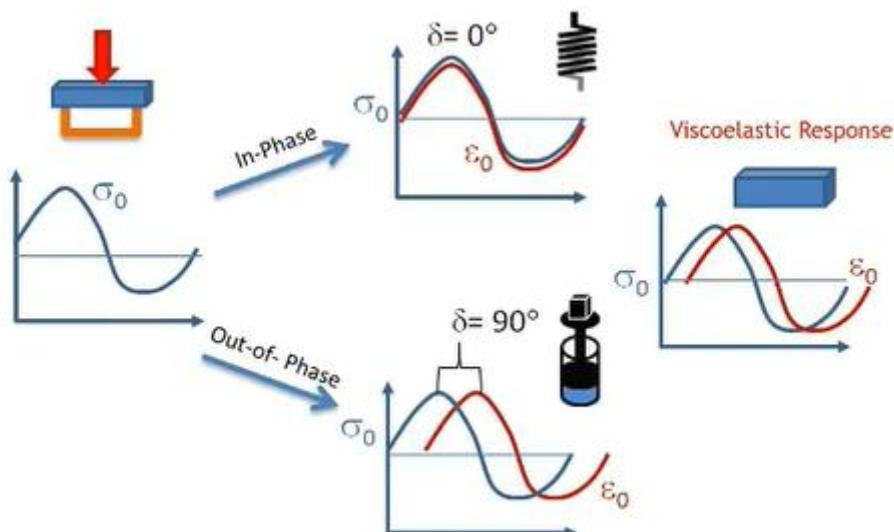


Figura 7: Diagrama esquemático de um material viscoelástico comparado com uma mola e um amortecedor.

5. OBJETIVOS

5.1. OBJETIVO GERAL

Realizar a caracterização reológica do nanocarreador lipídico denominado “Jamāmina”, a fim de garantir a funcionalidade do produto, tanto no âmbito industrial quanto no seu uso final.

5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar a formulação quanto ao comportamento reológico do fluído;
- Realizar testes de viscosidade, simulando condições térmicas do corpo humano ou variações ambientais;
- Realizar o teste de Shear Rate Sweep (varredura de taxa de cisalhamento) para identificar possíveis deformações estruturais na formulação;
- Realizar testes de tixotropia para analisar a capacidade do fluido de recuperar sua viscosidade original após sofrer uma deformação;
- Conduzir testes de ciclo térmico para avaliar a estabilidade da formulação diante de variações repetitivas de temperatura;

6. MATERIAL E MÉTODOS

6.1. MATERIAL

Todas as medições reológicas foram realizadas utilizando o **Discovery HR-2 Hybrid Rheometer**, representado na Figura 8, no Laboratório de Tecnologia de Medicamentos e Cosméticos (LTMAC). Este instrumento de alto desempenho utiliza tecnologia híbrida de controle de estresse e deformação, proporcionando medições precisas em uma ampla variedade de materiais.



Figura 8: Discovery HR-2 Hybrid Rheometer.

6.2. MÉTODO PARA CARACTERIZAR O COMPORTAMENTO REOLÓGICO DA JAMÃMINA

Para a realização dos ensaios reológicos, o Discovery HR-2 foi configurado com um dispositivo de medição em formato de cone, com um raio de 25 mm e uma truncation de 25 µm. O ângulo do cone foi ajustado para $1^{\circ} 0' 23''$, garantindo a precisão necessária para a análise das propriedades viscoelásticas da amostra.

A geometria cone-placa foi escolhida para a análise de viscosidade devido à sua capacidade de gerar uma distribuição uniforme da taxa de cisalhamento ao longo da amostra.

A amostra de Jamâmina (Figura 9) foi cuidadosamente preparada e aplicada ao reômetro utilizando uma pipeta volumétrica de 1000 µL, na qual foram dispensados 700 µL para cada teste realizado. Esse volume foi padronizado para garantir a repetibilidade e a confiabilidade dos resultados obtidos ao longo dos experimentos. Além disso, o volume utilizado foi suficiente para preencher completamente a área entre a geometria do reômetro e a placa de apoio, assegurando que o gap ficasse ideal. Esse procedimento foi fundamental para garantir medições mais precisas, minimizando a possibilidade de erros relacionados ao

contato inadequado entre a amostra e as superfícies de medição.



Figura 9: Amostra de Jamâmina.

6.2.1. TESTE DE VISCOSIDADE

A análise reológica da formulação foi conduzida por meio de um reômetro (Figura 13), utilizando a metodologia de curva de viscosidade em função da taxa de cisalhamento (shear rate). O experimento foi realizado sob temperatura controlada de 35°C, mantida constante ao longo de toda a análise, garantindo condições representativas do ambiente de aplicação. Antes do início da coleta de dados, foi aplicado um tempo de equilíbrio (soak time) de 30 segundos, assegurando a homogeneidade térmica e mecânica da amostra.

No teste de viscosidade, a escolha da faixa de taxa de cisalhamento de 0 a 600 s⁻¹ foi feita com o objetivo de simular as condições de espalhabilidade do produto sobre a pele. Durante a aplicação de um cosmético, como cremes ou loções, o produto sofre um aumento na taxa de cisalhamento devido ao movimento da mão ou do aplicador, o que simula o processo de espalhamento. A faixa de 0 a 600 s⁻¹ representa bem essa dinâmica, pois cobre a variação da taxa de cisalhamento experimentada pelo produto durante a aplicação e a distribuição sobre a pele (KWAK; AHN; SONG, 2015).

Para garantir precisão e reproduzibilidade nos resultados, o gap entre as placas do reômetro foi fixado em 25 µm, assegurando uma espessura uniforme da amostra durante as medições e minimizando possíveis variações nos dados decorrentes de alterações na geometria de medição.



Figura 10: Amostras de Jamâmina adicionadas na placa.

6.2.2. VARREDURA DE TAXA DE CISALHAMENTO

Durante o teste de varredura, que possibilitou a obtenção da curva de fluxo (flow curve), a duração total do estudo foi de 150 segundos, tempo escolhido para a realização do experimento, utilizando o modo linear para a coleta dos dados. A curva de fluxo (Figura 12) foi obtida em dois ciclos consecutivos: o primeiro consistiu em uma varredura ascendente, com a taxa de cisalhamento também variando de 0 a 600 s^{-1} , seguida por uma varredura descendente, de 600 a 0 s^{-1} , ambas realizadas no mesmo modo linear. Esse procedimento foi adotado para avaliar o comportamento reológico da amostra em regimes de aumento e diminuição da taxa de cisalhamento, possibilitando a identificação de possíveis fenômenos tixotrópicos ou histeréticos.

Assim como no teste anterior, para garantir precisão e reproduzibilidade nos resultados, o gap entre as placas do reômetro foi ajustado para $25 \mu\text{m}$, assegurando uma espessura uniforme da amostra durante as medições e minimizando possíveis variações nos dados devido a alterações na geometria de medição.

6.2.3. TIXOTROPIA

A análise da curva de fluxo (Figura 14) foi essencial para investigar o comportamento reológico da formulação, especialmente em relação à possível presença de tixotropia, um fenômeno caracterizado pela redução da viscosidade ao longo do tempo sob cisalhamento constante, seguido pela recuperação parcial ou total da viscosidade quando em repouso. A

realização dos dois ciclos de varredura na amostra, primeiro em sentido ascendente (0 a 600 s⁻¹) e depois descendente (600 a 0 s⁻¹), permitiu avaliar a existência de histerese, um indicativo clássico de comportamento tixotrópico. A ausência de histerese foi verificada por meio da comparação das áreas sob as curvas nos dois sentidos de varredura. Uma diferença significativa entre essas áreas indicaria a presença de tixotropia.

6.2.4. CICLO TÉRMICO

O teste de ciclo térmico foi realizado com o objetivo de avaliar o comportamento viscoso de uma amostra de fluido ao longo de uma variação de temperatura, além de verificar se a amostra apresenta qualquer tipo de desestabilização ou alteração em suas propriedades com o aquecimento e resfriamento. A temperatura inicial foi de 4°C, correspondente à temperatura da geladeira, e a rampa de aumento de temperatura foi programada para subir de 5°C em 5°C, até atingir 50°C, como indicado na Figura 15. A duração total do teste foi de 10 minutos, mantendo o gap de 25 µm com uma taxa de cisalhamento de 20s⁻¹.

Na primeira fase do teste, a temperatura foi aumentada de 4°C até 50°C. Durante esse processo, observou-se uma diminuição da viscosidade à medida que a temperatura aumentava. Além disso, foi monitorado se a amostra apresentava qualquer tipo de desestabilização, como alteração na sua homogeneidade ou formação de estruturas indesejadas. Não foi observada nenhuma desestabilização significativa durante o aquecimento, indicando que o fluido manteve sua estabilidade térmica dentro dessa faixa de temperatura.

Após atingir 50°C, a temperatura foi reduzida de 50°C para 4°C, como indicado na Figura 16, seguindo o processo inverso. Durante o resfriamento, a viscosidade aumentou de forma previsível, à medida que a temperatura diminuía. Novamente, foi verificado se havia algum tipo de alteração na estrutura ou comportamento do fluido, mas não foram detectadas alterações que indicassem desestabilização, o que sugere que a amostra permaneceu estável durante todo o ciclo térmico.

7. RESULTADOS E DISCUSSÃO

7.1. Resultados

O cone, posicionado com o vértice voltado para a placa plana, cria um gradiente de cisalhamento linear, garantindo medições precisas. Essa configuração minimiza os efeitos de borda e é especialmente eficaz para fluidos de baixa viscosidade, comuns em cosméticos, pois permite medir a viscosidade em baixas taxas de cisalhamento, típicas do processo de

aplicação sobre a pele. Assim, a geometria cone-placa assegura medições confiáveis e é ideal para avaliar a espalhabilidade e a consistência dos produtos cosméticos.

No teste de viscosidade, o resultado apresentado na Figura 11, indica que a Jamâmina exibiu um comportamento newtoniano durante os testes realizados. Isso significa que, com o aumento da taxa de cisalhamento, a viscosidade do material se manteve constante. Em sistemas newtonianos, a viscosidade não é afetada pela taxa de cisalhamento, o que sugere que a Jamâmina possui características fluidas que seguem esse comportamento, característico de líquidos como a água ou óleos em condições normais. Esse comportamento foi confirmado pela estabilidade da viscosidade ao longo do experimento.

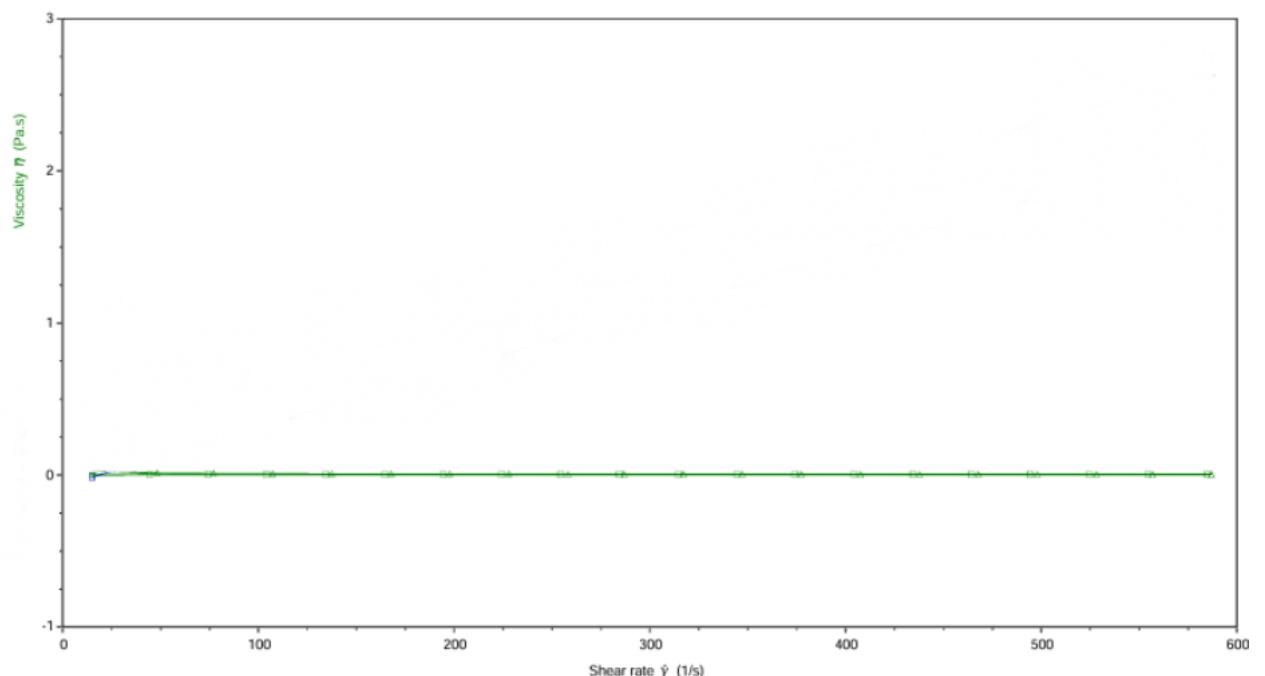


Figura 11: Gráfico de viscosidade (η) em função da taxa de cisalhamento ($\dot{\gamma}$) para a Jamâmina. Observa-se que a viscosidade permanece constante ao longo da faixa de cisalhamento analisada.

Ao realizar uma curva de fluxo da amostra (Figura 12), confirmou-se, mais uma vez, o comportamento característico de um fluido newtoniano, evidenciando uma relação linear entre a tensão aplicada e a taxa de deformação, conforme o esperado.

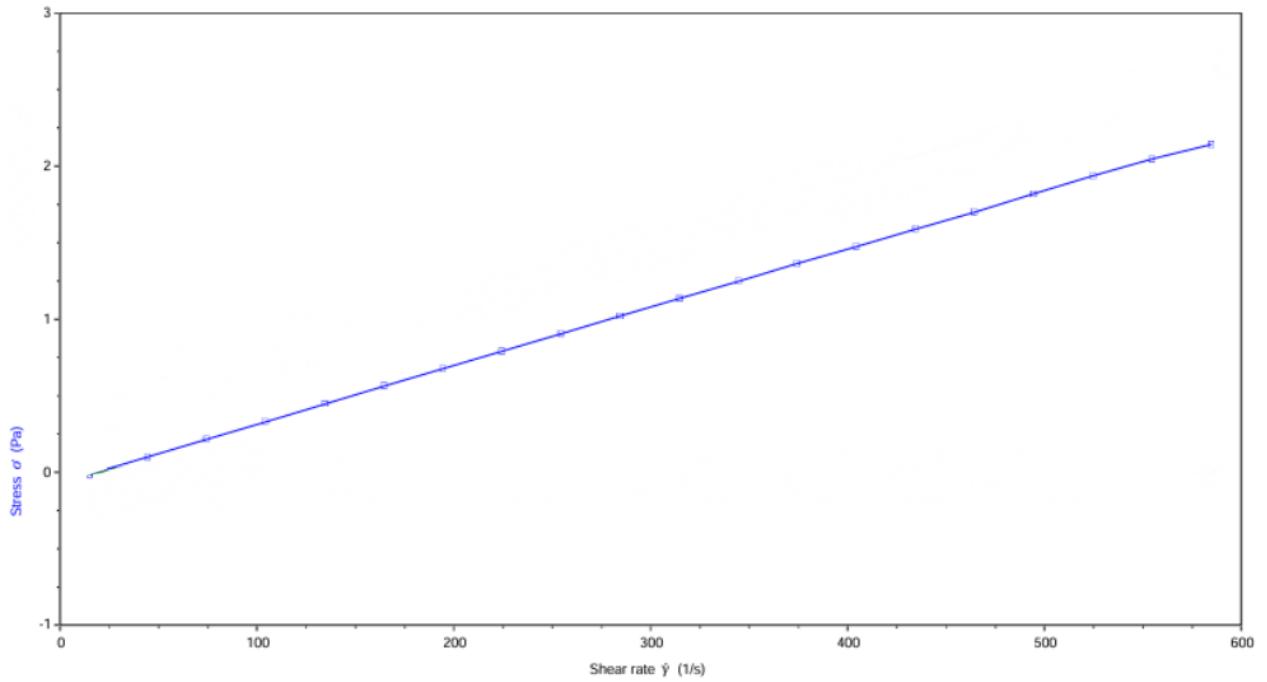


Figura 12: Curva de fluxo (flow curve). Observa-se uma relação linear entre a tensão de cisalhamento (τ) e a taxa de cisalhamento($\dot{\gamma}$), indicando um comportamento newtoniano.

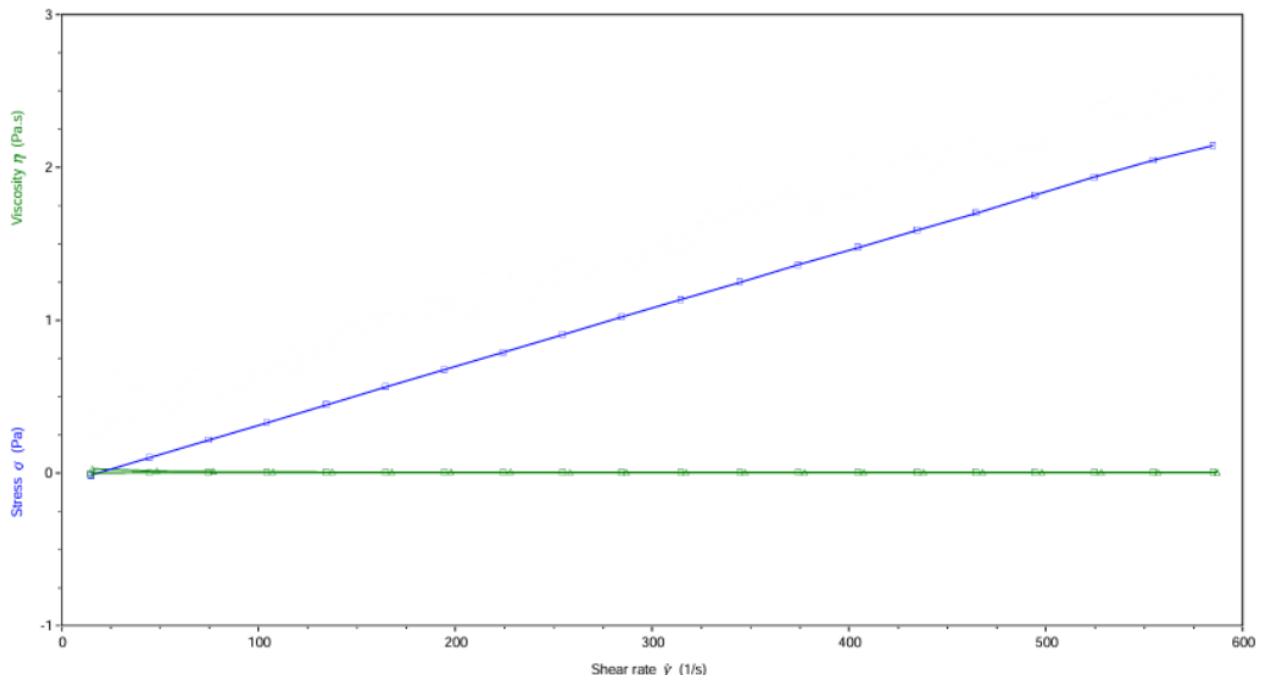


Figura 13: Gráfico que representa a análise combinada da viscosidade e da curva de fluxo da amostra (varredura de taxa de cisalhamento), evidenciando o comportamento característico de um fluido newtoniano, com uma relação linear entre a tensão aplicada e a taxa de deformação.

Com o seguimento dos testes, os dados reológicos revelaram a inexistência de histerese na curva de fluxo (Figura 14), uma vez que os valores de viscosidade medidos

durante a varredura ascendente coincidiram com os da descendente. Isso confirma a ausência de tixotropia e sugere que a formulação se comporta como um fluido newtoniano, mantendo viscosidade constante independentemente da taxa de cisalhamento aplicada ou do tempo de exposição ao estresse mecânico. Essa estabilidade reológica reforça a adequação do produto para aplicações que exigem desempenho consistente, mesmo sob condições de uso variáveis.

Portanto, ausência de comportamento tixotrópico e a linearidade da curva de fluxo indicam que a formulação possui uma estrutura homogênea e estável. Essa característica é especialmente vantajosa para produtos cosméticos (como cremes e loções), pois garante a manutenção da consistência e desempenho ao longo do tempo, evitando separação de fases ou alterações texturais indesejadas. Além disso, a previsibilidade do comportamento reológico durante a aplicação assegura que propriedades como viscosidade e capacidade de espalhamento permaneçam constantes, evitando variações que poderiam comprometer a sensação na pele ou a eficácia do produto.

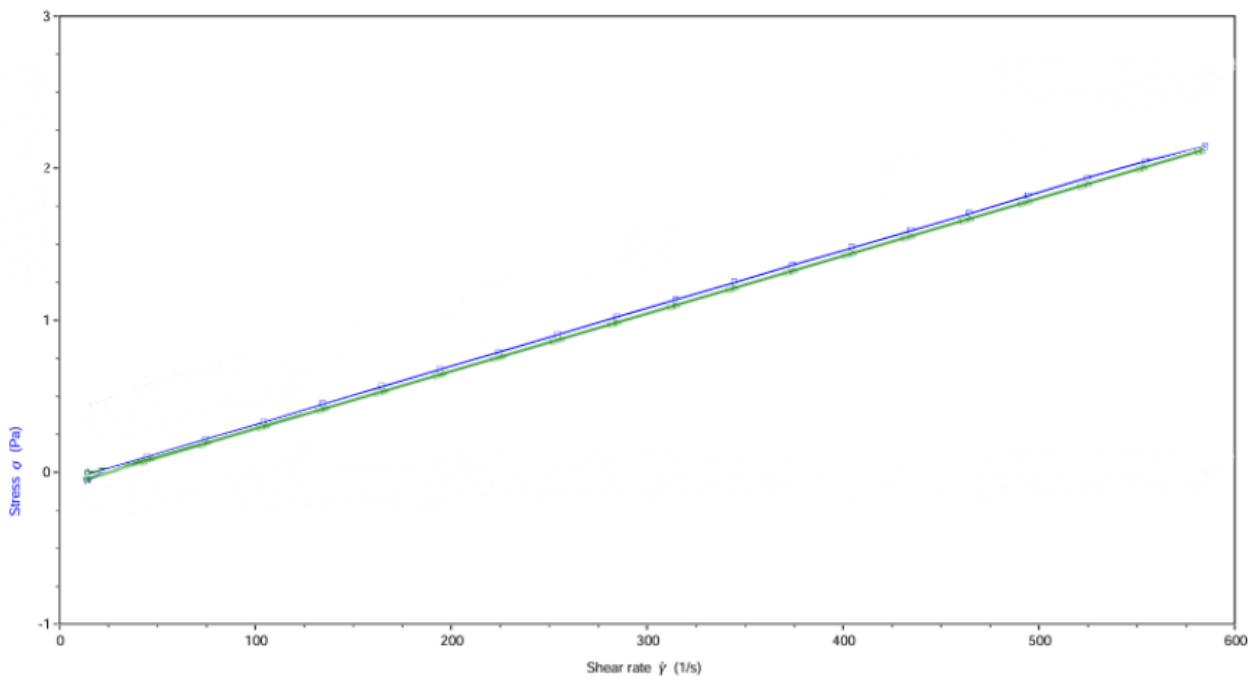
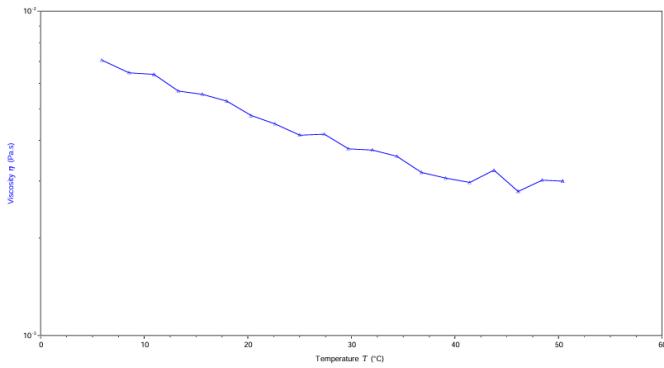


Figura 14: Curva de fluxo de tixotropia da amostra obtida através dos testes reológicos. A análise foi realizada por meio de dois ciclos de varredura, primeiro em sentido ascendente (0 a 600 s^{-1}) e depois descendente (600 a 0 s^{-1}), para avaliar a possível presença de tixotropia.

No que diz respeito à estabilidade térmica, os resultados confirmaram que a formulação apresentou uma diminuição de viscosidade com o aumento da temperatura (Figura 15) e um aumento de viscosidade com a redução da temperatura (Figura 16). Esse comportamento é ideal para cosméticos, pois garante que o produto mantenha suas

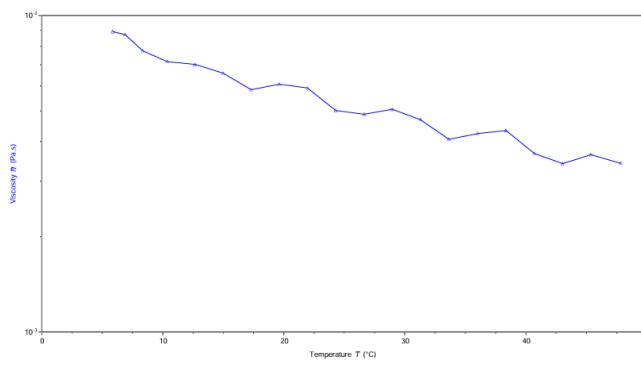
propriedades de aplicação, tanto em condições mais quentes (como durante o uso em climas mais quentes) quanto em temperaturas mais baixas. A ausência de desestabilização da amostra durante o ciclo térmico assegura que o fluido mantenha suas propriedades desejadas durante diferentes condições de armazenamento e uso. Para a indústria cosmética, isso é essencial para garantir que o produto seja estável e eficaz, independentemente das variações de temperatura durante o transporte, armazenamento e aplicação pelo consumidor.

É importante enfatizar que, na Figura 15, a viscosidade é representada a partir de 4 °C (ponto inicial) e diminui progressivamente até atingir 50 °C (ponto final). Por outro lado, na Figura 16, a viscosidade começa em 50 °C (ponto inicial) e aumenta gradualmente à medida que a temperatura diminui, até alcançar 4 °C (ponto final de crescimento).



	Viscosity η	Temperature °C
1	7.07185E-03	5.908
2	6.46704E-03	8.536
3	6.38761E-03	10.939
4	5.67661E-03	13.291
5	5.54805E-03	15.615
6	5.28915E-03	17.956
7	4.77133E-03	20.305
8	4.49770E-03	22.619
9	4.15089E-03	25.025
10	4.18236E-03	27.389
11	3.76651E-03	29.714
12	3.73423E-03	32.04
13	3.57093E-03	34.389
14	3.18799E-03	36.764
15	3.05376E-03	39.101
16	2.96417E-03	41.415
17	3.23655E-03	43.767
18	2.78395E-03	46.093
19	3.01892E-03	48.415
20	2.99642E-03	50.409

Figura 15: Gráfico de temperatura (C°) em função da viscosidade (η) da Jamâmina. Observa-se que a viscosidade diminui com o aumento da temperatura.



	Viscosity η	Temperature °C
1	3.41648E-03	47.840
2	3.63538E-03	45.373
3	3.40737E-03	43.037
4	3.67064E-03	40.695
5	4.33729E-03	38.361
6	4.24392E-03	36.027
7	4.06842E-03	33.639
8	4.68863E-03	31.306
9	5.05689E-03	28.957
10	4.88304E-03	26.628
11	5.01600E-03	24.290
12	5.90685E-03	21.952
13	6.07150E-03	19.620
14	5.82978E-03	17.292
15	6.57919E-03	14.986
16	7.00891E-03	12.666
17	7.16020E-03	10.380
18	7.74434E-03	8.342
19	8.70601E-03	6.877
20	8.90538E-03	5.853

Figura 16: Gráfico de temperatura (C°) em função da viscosidade (η) da Jamâmina. Observa-se que a viscosidade aumenta com a diminuição da temperatura.

Os testes de viscosidade confirmaram a natureza newtoniana da Jamâmina, evidenciando uma relação linear entre tensão e taxa de cisalhamento, sem desvios associados a pseudoplasticidade ou dilatância. Essa característica elimina a necessidade de ajustes matemáticos complexos em modelos preditivos, como os propostos por (GILBERT et al., 2013), permitindo mapear diretamente atributos sensoriais como espalhabilidade e sensação de absorção a partir de parâmetros reológicos estáticos. O teste de tixotropia, por sua vez, validou a ausência de histerese ou dependência temporal, descartando comportamentos tixotrópicos que poderiam comprometer a consistência do produto durante a aplicação ou sob variações de pressão manual, demonstrando que sua estrutura não sofre degradação ou recuperação gradual após cisalhamento prolongado. Essa propriedade é crítica para garantir que atributos como "toque seco" e "leveza" sejam reproduzíveis em condições reais de uso, mesmo em formulações submetidas a múltiplas interações mecânicas.

Além disso, os ciclos térmicos realizados comprovaram uma pequena alteração de viscosidade já prevista da Jamâmina à variações de temperatura, o que assegura desempenho estável em ambientes diversos — desde armazenamento refrigerado até exposição a temperaturas ambientes elevadas (KIM et al., 2024a).

7.2. Discussão

7.2.1. Textura sensorial

As composições de emulsões cosméticas desempenham um papel crucial no perfil sensorial de cada produto, com destaque para a importância de emolientes, modificadores reológicos e espessantes, que influenciam diretamente a viscosidade e a consistência de produtos tópicos. Por exemplo, produtos destinados ao rosto e à região dos olhos diferem daqueles utilizados no restante do corpo: os primeiros tendem a ser mais fluidos, menos viscosos e de fácil aplicação, enquanto os últimos são geralmente mais consistentes e espessos. (GORE; PICARD; SAVARY, 2018)

Os consumidores caracterizam os cosméticos por meio de diversos atributos sensoriais, como textura, cor, fragrância, entre outros (PENSÉ-LHÉRITIER, 2015). Em vista disso, a percepção sensorial é um fator importante que afeta significativamente a determinação das preferências dos consumidores, a satisfação e, consequentemente, o comportamento de compra (WORTEL; WIECHERS, 2000). Sendo assim, é essencial identificar e descrever com precisão as propriedades sensitivas de um produto, já que essas propriedades são importantes não apenas para influenciar as escolhas dos consumidores, mas

também para o desenvolvimento desses produtos (GILLECE et al., 2016).

Entre muitos atributos sensoriais, a textura sensorial foi identificada como um dos atributos mais importantes no uso de cosméticos (LEE et al., 2021). Como a aplicação de cosméticos envolve inevitavelmente o contato direto entre as mãos e a formulação, a textura torna-se uma experiência sensorial essencial durante o uso. Do ponto de vista físico, a textura pode ser definida como uma combinação de atributos mecânicos, geométricos e superficiais de um produto. Esses atributos são percebidos por meio de receptores tátteis e mecânicos, e, em alguns casos, também por receptores auditivos e visuais, conforme estabelecido pela norma ABNT-NBR-ISO 11036, de agosto de 2017 (NAKANO et al., 2013).

Normalmente, o processo de uso de cosméticos é dividido em quatro etapas: aparência (appearance), coleta (pick-up), espalhamento (rub-out) e sensação após o uso (after-feel), embora os nomes específicos das etapas possam variar (KIM et al., 2024). Na etapa de aparência, onde os consumidores têm o primeiro contato visual com os cosméticos, aspectos visuais, como a integridade da forma e o brilho, que são observados sem interação tátil direta, determinam a impressão inicial dos produtos. Na etapa de coleta, onde o toque tátil ocorre pela primeira vez, texturas como firmeza, pegajosidade, pico e coesão são consideradas texturas sensoriais importantes.

Seguindo para o processo de espalhamento, onde os cosméticos são aplicados rapidamente com as mãos, os cosméticos são submetidos a condições de fluxo intenso, com taxas de cisalhamento que podem chegar até $10^4/s$ (MITSUI; MOROSAWA; ÖTAKE, 1971). Durante o processo de esfregaço, uma variedade de texturas sensoriais, incluindo espalhabilidade, espessura, adesividade, suavidade, pegajosidade e umidade, se manifesta. Finalmente, quando a aplicação está concluída, texturas sensoriais como a quantidade de resíduo, escorregamento, pegajosidade e suavidade entram em cena.



Appearance	Pick-up	Rub-out	After feel
Brilho Integridade da forma . .	Firmeza Adesão Coesão .	Espalhabilidade Espessura Adesividade Maciez Pegajosidade Umidade/Umectação .	Pegajosidade Escorregamento Maciez Quantidade de resíduo .

Figura 17: Texturas sensoriais em cosméticos em quatro diferentes estágios de uso. Retirado de: (KIM et al., 2024a).

A textura sensorial das formulações cosméticas costuma ser analisada por meio de testes realizados com painéis sensoriais. Essa análise com métodos como a Análise Descritiva Quantitativa (QDA) e a Análise Descritiva de Espectro (SDA), continua sendo a metodologia quantitativa padrão para explorar as texturas sensoriais dos cosméticos (TUREK; KOWALSKA, 2024). Além dos métodos quantitativos, abordagens qualitativas, como o Perfil de Escolha Livre (FCP), desenvolvido na década de 1980, oferece uma alternativa mais ágil e econômica, pois dispensa o treinamento de painelistas, embora apresente algumas desvantagens, como o uso de termos e expressões específicas que não podem ser amplamente compreendidas (KIM et al., 2024).

Recentemente, o método Flash Profie (FP) foi sugerido como uma alternativa ao FCP. Geralmente, em análises com painéis, os participantes completam questionários para avaliar as texturas sensoriais de um produto cosmético. Embora esses métodos sejam eficazes para medir diretamente as respostas humanas à textura dos cosméticos, eles possuem desvantagens. A percepção tátil de substâncias é uma experiência fisiológica pessoal que varia de indivíduo para indivíduo, dependendo das estruturas sensoriais e nervosas locais de cada um, ou seja, são inherentemente subjetivas. Diferentes indivíduos podem perceber o mesmo estímulo de maneiras diferentes, o que complica os esforços para definir e quantificar consistentemente uma textura sensorial (NAKANO et al., 2010). Além disso, essas abordagens baseadas em painéis demandam uma quantidade significativa de tempo para execução do estudo, investimento financeiro e recursos humanos. Além disso, a suscetibilidade a fatores externos também pode comprometer sua objetividade (ZENG; RUAN; KOEHL, 2008).

Como alternativa, a análise de textura por meio de medições reológicas tem sido valorizada pela sua eficiência econômica, economia de tempo e objetividade (BEKKER; WEBBER; LOUW, 2013). Portanto, há uma vantagem significativa sobre os métodos tradicionais baseados em testes de painel. Sendo assim, essa medição instrumental tem se mostrado a ferramenta mais eficaz para investigar as texturas sensoriais de cosméticos (BEKKER; WEBBER; LOUW, 2013).

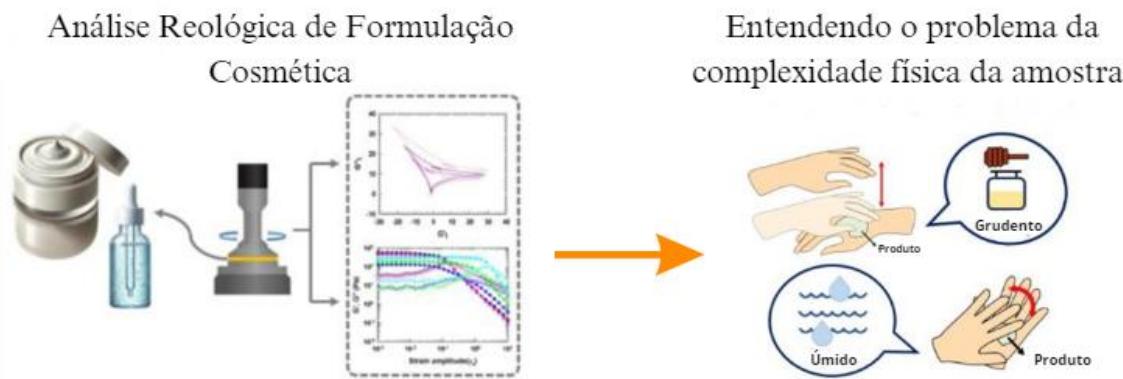


Figura 18: Integrando reologia e tecnologia para resolver problemas complexos na pesquisa cosmética. Retirado de: (KIM et al., 2024).

7.2.2. Correlação entre medições reológicas e percepção sensorial

Atualmente, a importância dos trabalhos de correlação entre as texturas sensoriais e as métricas reológicas, atribuída à natureza do processo de aplicação dos cosméticos, que envolve fluxo e deformação, foi reconhecida como uma ferramenta essencial para produzir formulações cosméticas de qualidade e alta aceitação pelo consumidor. Estudos mostram que a reologia e a análise de textura, quando utilizadas em conjunto, são ferramentas úteis e complementares para determinar o papel de um ingrediente específico nas formulações e prever a textura sensorial de emulsões cosméticas (BEKKER; WEBBER; LOUW, 2013; CALIXTO; MAIA CAMPOS, 2017; NAKANO et al., 2010; ZENG; RUAN; KOEHL, 2008).

Nesse contexto, pesquisas recentes têm aprofundado a compreensão dessa relação, destacando o potencial preditivo das medições instrumentais. Por exemplo (GILBERT et al., 2013) demonstraram que medições instrumentais, como fluxo, fluência e testes de oscilação, podem prever a textura sensorial (brilho, integridade da forma, força de penetração, entre outros) de emulsões cosméticas.

Eles desenvolveram modelos preditivos por meio de regressões lineares, os quais conseguiram prever a maioria dos atributos sensoriais, destacando a eficácia da análise reológica e de textura para avaliar e prever esses atributos. Da mesma forma, (CYRIAC et al., 2022) mostraram que é possível prever propriedades sensoriais utilizando métodos reológicos e tribológicos por meio da análise de componentes principais, com boas correlações entre parâmetros reológicos e dados sensoriais. Isso reforça a confiabilidade da análise reológica como ferramenta precisa no mapeamento sensorial de formulações tópicas.

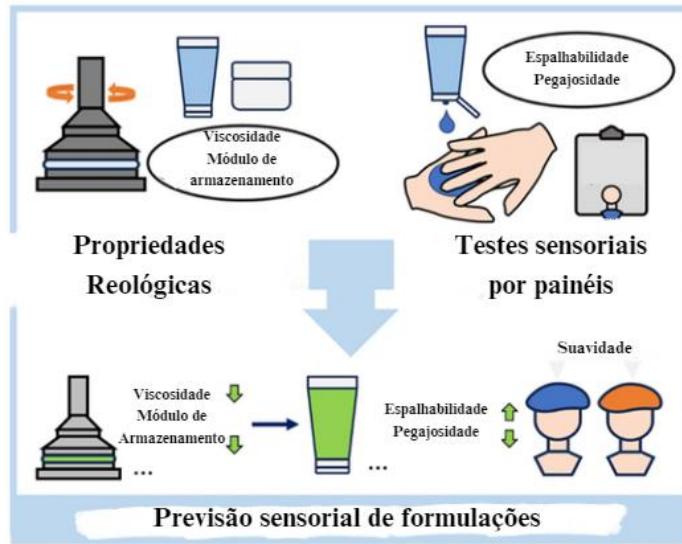


Figura 19: Princípios fundamentais do modelo de previsão de textura sensorial baseado em reologia.
Retirado de: (KIM et al., 2024a)

Em uma abordagem que se utiliza a análise reológica, é fundamental selecionar um protocolo de medição reológica e métricas que se relacionem diretamente com cada textura sensorial, imitando as condições reais de fluxo nas quais a textura de interesse se manifesta (TADROS, 1994). Com base nesse princípio, Brummer e Godersky dividiram as sensações na pele em dois tipos: sensação primária e secundária, cada uma relacionada com diferentes variáveis reológicas. Essa abordagem auxilia na otimização de novas formulações, reduzindo o tempo de desenvolvimento e permitindo que apenas os produtos mais promissores avancem para testes de campo abrangentes (BRUMMER; GODERSKY, 1999).

A sensação primária na pele refere-se às sensações experimentais no início da aplicação, associadas a tensão de cisalhamento no início do fluxo e à viscosidade dinâmica. Em contraste, a sensação secundária está relacionada às sensações no final da aplicação, quando o produto está quase totalmente absorvido, e se correlaciona com a viscosidade estacionária na taxa de cisalhamento prevalente nas etapas finais da aplicação (BRUMMER; GODERSKY, 1999). Embora estudos realizados tenham explorado extensivamente o comportamento reológico das formulações cosméticas e seu potencial para estimar qualitativamente as texturas sensoriais, eles revelam limitações na validação completa da correlação entre o comportamento reológico e a textura sensorial. Entretanto, é necessário ressaltar que (GORE; PICARD; SAVARY, 2018) revelou uma forte correlação entre a espalhabilidade das emulsões e sua viscosidade.

A Jamâmina, classificada como um fluido newtoniano, apresenta resultados notáveis

na experiência sensorial durante sua aplicação na pele. Sua viscosidade constante, independente da taxa de cisalhamento, impacta diretamente tanto a sensação primária quanto a secundária. Durante a fase inicial, a viscosidade dinâmica invariável da Jamâmina garante uma aplicação suave e previsível, sem variações abruptas na resistência ao fluxo. Isso elimina a percepção de tensões desequilibradas, como "picos" de atrito, e proporciona uma textura uniforme e confortável desde o primeiro contato.

Além disso, por não exibir comportamento tixotrópico — comum em géis ou emulsões —, o produto requer menos ajustes de pressão durante o espalhamento, simplificando a aplicação e favorecendo uma distribuição homogênea. Se comportamento pode ser comparado à água, que também apresenta um comportamento de fluido newtoniano, com uma viscosidade constante em diferentes taxas de cisalhamento, garantindo uma aplicação suave e controlada.

Diferentemente de fluidos não newtonianos, cuja viscosidade tende a diminuir sob cisalhamento prolongado, a Jamâmina mantém sua viscosidade estacionária inalterada, mesmo nas etapas finais. Isso resulta em uma absorção controlada e gradual, evitando a sensação de resíduos pegajosos ou secagem repentina, que podem comprometer a percepção de hidratação. A consistência na textura ao longo de todo o processo assegura que a pele permaneça com uma sensação de suavidade prolongada, sem adstringência ou aspereza após a aplicação.

A fluidez característica da Jamâmina, associada à sua baixa viscosidade, é uma vantagem para produtos que priorizam espalhabilidade rápida e leveza. No entanto, essa mesma característica pode representar um desafio em contextos que demandam maior controle tátil, como em formulações para áreas sensíveis ou de aplicação precisa (ex.: contorno dos olhos). Para equilibrar esses aspectos, ajustes na formulação — como a incorporação de polímeros leves ou modificadores reológicos — podem ser explorados, visando aumentar ligeiramente a viscosidade sem comprometer a estabilidade newtoniana.

Em síntese, a Jamâmina oferece uma experiência sensorial coesa e previsível, com transição suave entre as fases de aplicação e absorção. Sua natureza newtoniana a torna particularmente adequada para cosméticos que valorizam consistência e conforto, embora a formulação final deva considerar a fluidez intrínseca do produto para alinhar espalhabilidade e controle. Esses resultados reforçam a importância de correlacionar propriedades reológicas com objetivos sensoriais específicos, posicionando a Jamâmina como uma base promissora

para inovações em cosméticos que buscam simplicidade e uniformidade na percepção do usuário. Do ponto de vista prático, a previsibilidade intrínseca da Jamâmina acelera o desenvolvimento de formulações cosméticas. Ao reduzir a necessidade de testes sensoriais repetitivos, permite que esforços sejam direcionados para otimizar outros aspectos, como estabilidade química ou bioatividade.

7.2.3. Design quantitativo e controle das texturas sensoriais utilizando análise reológica

Wittern, Brummer e Godersky definiram uma “janela ideal de valores medidos” a partir de um teste de rampa de tensão de cisalhamento onde a ordenada representa a viscosidade máxima e a abscissa representa a tensão de cisalhamento correspondente (chamado de tensão de cisalhamento no início do fluxo). Essa janela incluiu limites específicos de viscosidade e tensão de cisalhamento e é utilizada para mapear as sensações primária e secundária na pele por meio da análise da viscosidade dinâmica. Tal janela auxilia na otimização de novas formulações, reduzindo o tempo de desenvolvimento e permitindo que apenas os produtos mais promissores avancem para testes de campo abrangentes(WITTERN; BRUMMER; GODERSKY, 2001).

A partir dessa análise, (WITTERN; BRUMMER; GODERSKY, 2001) descobriraram que atingir níveis específicos de viscosidade em altas taxas de cisalhamento é essencial para que um produto seja percebido como agradável pelos consumidores, que está mais relacionado a fluidos não newtonianos, como cremes ou loções que podem sofrer mudanças na viscosidade em função da taxa de cisalhamento. Produtos fora desses limites geralmente receberam classificações mais baixas nas sensações de pele do painel. Assim, confirma-se que a integração de medições reológicas com a análise por painel pode ser empregada de maneira eficaz na construção de um modelo preditivo de textura sensorial(CALIXTO; MAIA CAMPOS, 2017).

Embora a "janela ideal de valores medidos" proposta por Wittern, Brummer e Godersky não seja diretamente aplicável à Jamâmina — já que seu perfil reológico não se enquadra nas variações típicas de fluidos não newtonianos —, a estabilidade intrínseca do produto compensa essa limitação. A previsibilidade de sua viscosidade em diferentes condições de cisalhamento simplifica o controle de qualidade e a formulação, reduzindo a necessidade de ajustes complexos para atingir parâmetros sensoriais específicos. Isso é particularmente vantajoso em produtos que priorizam experiências sensoriais lineares e

confiáveis, como hidratantes leves ou séruns, nos quais a fluidez constante facilita a distribuição uniforme.

Dessa forma, a Jamâmina demonstra que a estabilidade reológica pode ser uma alternativa eficaz à dependência de "janelas ideais de valores medidos". Enquanto fluidos não newtonianos exigem ajustes finos para permanecerem dentro de limites sensoriais aceitáveis, a Jamâmina oferece consistência inata, garantindo sensações primária e secundária uniformes e agradáveis. Essa característica a posiciona como uma opção vantajosa para formulações que valorizam simplicidade, confiabilidade e redução de variáveis críticas no processo de desenvolvimento, ainda que sua aplicação demande atenção à fluidez intrínseca para equilibrar espalhabilidade e controle tátil.

8. CONCLUSÃO

O presente estudo destacou o papel fundamental da Jamâmina como fluido newtoniano na previsão e otimização de atributos sensoriais em formulações cosméticas, com base em análises reológicas abrangentes, incluindo testes de viscosidade, varredura de taxa de cisalhamento, avaliação de tixotropia e ciclo térmico. Os resultados obtidos reforçam a singularidade dessa substância, cujo comportamento reológico linear e invariável simplifica a correlação entre dados instrumentais e percepções humanas, oferecendo vantagens estratégicas para o desenvolvimento de produtos.

Do ponto de vista prático, a combinação desses resultados posiciona a Jamâmina como um ingrediente-chave para formulações cosméticas que demandam transparência sensorial e reproduzibilidade industrial. Sua previsibilidade intrínseca reduz a necessidade de testes sensoriais extensivos, acelerando o ciclo de desenvolvimento e permitindo focar em otimizações complementares, como bioatividade ou compatibilidade com ativos termolábeis. Além disso, a ausência de modificadores reológicos complexos torna-a ideal para produtos minimalistas, alinhando-se às tendências de mercado que valorizam composições enxutas e experiências táteis confiáveis.

Portanto, estudos futuros podem explorar a Jamâmina em sua utilização como ativo funcional ou a adaptação de modelos preditivos para sistemas multifásicos, ampliando seu potencial em formulações avançadas.. A Jamâmina, portanto, emerge não apenas como uma solução técnica, mas como um paradigma de como a simplicidade reológica pode traduzir-se em excelência sensorial.

9. REFERÊNCIAS

- AULTON, M. **Delineamento de Formas Farmacêuticas.** , 23 mar. 2005.
- BEKKER, M.; WEBBER, G. V.; LOUW, N. R. Relating rheological measurements to primary and secondary skin feeling when mineral-based and Fischer-Tropsch wax-based cosmetic emulsions and jellies are applied to the skin. **International Journal of Cosmetic Science**, v. 35, n. 4, p. 354–361, ago. 2013.
- BENER, M. et al. Optimization of Microwave-Assisted Extraction of Curcumin from Curcuma longa L. (Turmeric) and Evaluation of Antioxidant Activity in Multi-Test Systems. **RECORDS OF NATURAL PRODUCTS**, p. 542–554, 2016.
- BRANDT, F. S.; CAZZANIGA, A.; HANN, M. **Cosmeceuticals: Current Trends and Market Analysis. Seminars in Cutaneous Medicine and Surgery**, set. 2011.
- BRETAS, R.; SCURACCHIO, C. Técnicas de Caracterização de Polímeros: Reometria de placas paralelas e cone-placa. 2000.
- BRUMMER, R. rheology-essentials-of-cosmetic-and-food-emulsions. 2005.
- BRUMMER, R.; GODERSKY, S. Rheological studies to objectify sensations occurring when cosmetic emulsions are applied to the skin. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, v. 152, n. 1–2, p. 89–94, jul. 1999.
- CALIXTO, L. S.; MAIA CAMPOS, P. M. B. G. Physical–Mechanical characterization of cosmetic formulations and correlation between instrumental measurements and sensorial properties. **International Journal of Cosmetic Science**, v. 39, n. 5, p. 527–534, 1 out. 2017.
- CARDOSO, M.; GARCIA, L. Jamâmina: Nanocarreador Inovador de Curcumina em Sérum para o Tratamento de Doenças Inflamatórias de Pele. 1997.
- CAVALLO, P. et al. **The first cosmetic treatise of history. A female point of view. International Journal of Cosmetic Science**, abr. 2008.
- CYRIAC, F. et al. Tactile friction and rheological studies to objectify sensory properties of topical formulations. **Journal of Rheology**, v. 66, n. 2, p. 305–326, 1 mar. 2022.
- DRENO, B. et al. **The science of dermocosmetics and its role in dermatology. Journal of the European Academy of Dermatology and Venereology**Blackwell Publishing Ltd, , 1 nov. 2014.
- DUBEY, S.; SARVAIYA, J. N.; SESHAHADRI, B. Temperature Dependent Photovoltaic (PV) Efficiency and Its Effect on PV Production in the World – A Review. **Energy Procedia**, v. 33, p. 311–321, 2013.
- FARHOOD, B. et al. Curcumin as an anti-inflammatory agent: Implications to radiotherapy and chemotherapy. **Journal of Cellular Physiology**, v. 234, n. 5, p. 5728–5740, 14 maio 2019.
- CONSELHO FEDERAL DE FARMÁCIA. Guia prático do farmacêutico magistral. . out. 2017.
- FRANZOL, A.; REZENDE, M. C. Estabilidade de emulsões: um estudo de caso envolvendo emulsionantes aniônico, catiônico e não-iônico. **Polímeros**, v. 25, p. 1–9, 1 dez. 2015.
- GALEMBECK, F.; CSORDAS, Y. **Cosméticos: a química da beleza.** [s.l: s.n]. Disponível em: <<http://creativecommons.org.brhttp://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/br/legalcode>>.

- GILBERT, L. et al. Predicting sensory texture properties of cosmetic emulsions by physical measurements. **Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems**, v. 124, p. 21–31, 5 maio 2013.
- GILLECE, T. et al. Probing the textures of composite skin care formulations using large amplitude oscillatory shear. **Journal of cosmetic science**, v. 67, n. 3, p. 121–59, 2016.
- GORE, E.; PICARD, C.; SAVARY, G. Spreading behavior of cosmetic emulsions: Impact of the oil phase. **Biotribology**, v. 16, p. 17–24, 1 dez. 2018.
- HAMER, G.; BRUMMER, R. Rheologische Messmethoden zur Charakterisierung kosmetischer Produkte / Rheological Methods to characterize Cosmetics. **Applied Rheology**, v. 7, n. 1, p. 19–24, 1 fev. 1997.
- HELENA, M.; GOMES, R. **Mecânica dos Fluidos APOSTILA DE MECÂNICA DOS FLUIDOS**. [s.l: s.n.].
- JOHN WILEY. **Mechanical Engineers' Handbook**., 2015.
- JOSÉ SOARES, E.; PAGOTO DEOCLECIO, L. H. **Introdução à Reologia: Escoamento e Caracterização de Materiais Complexos**. , abr. 2024.
- KAGANYUK, M.; MOHRAZ, A. Role of particles in the rheology of solid-stabilized high internal phase emulsions. **Journal of Colloid and Interface Science**, v. 540, p. 197–206, 22 mar. 2019.
- KIM, H. S.; MASON, T. G. **Advances and challenges in the rheology of concentrated emulsions and nanoemulsions**. **Advances in Colloid and Interface Science**Elsevier B.V., , 1 set. 2017.
- KIM, J. et al. **The role of rheology in cosmetics research: a review****Korea Australia Rheology Journal**. [s.l.] Korean Society of Rheology, Australian Society of Rheology, 2024a.
- KIM, J. et al. **The role of rheology in cosmetics research: a review**. **Korea Australia Rheology Journal**Korean Society of Rheology, Australian Society of Rheology, , 2024b.
- KIM, K. M.; OH, H. M.; LEE, J. H. Controlling the emulsion stability of cosmetics through shear mixing process. **Korea Australia Rheology Journal**, v. 32, n. 4, p. 243–249, 1 nov. 2020.
- KWAK, M. S.; AHN, H. J.; SONG, K. W. Rheological investigation of body cream and body lotion in actual application conditions. **Korea Australia Rheology Journal**, v. 27, n. 3, p. 241–251, 1 ago. 2015.
- LABA, D. **Rheological Proper ties of Cosmetics and Toiletrie**. New York/Basel: Marcel Dekker, Inc., 2017.
- LEE, J. et al. Prediction of Tactile Sensory Attributes of Facial Moisturizers by Rheology and Tribology. **Biotribology**, v. 28, 1 dez. 2021.
- LUKIC, M. et al. A combined approach in characterization of an effective w/o hand cream: The influence of emollient on textural, sensorial and in vivo skin performance. **International Journal of Cosmetic Science**, v. 34, n. 2, p. 140–149, abr. 2012.
- MARIN, G. **Oscillatory Rheometry**., 1993.
- MCMULLEN, R. L.; DELL'ACQUA, G. **History of Natural Ingredients in Cosmetics**. **Cosmetics**MDPI, , 1 jun. 2023.
- MEHNERT, W.; MÄDER, K. **Solid lipid nanoparticles: Production, characterization and**

- applications.** Advanced Drug Delivery Reviews, dez. 2012.
- MITSUI, T.; MOROSAWA, K.; ÖTAKE, C. ESTIMATION OF THE RATE OF SHEAR ENCOUNTERED IN TOPICAL APPLICATION OF COSMETICS. **Journal of Texture Studies**, v. 2, n. 3, p. 339–347, 30 set. 1971.
- MOREIRA COSTA, C. CARACTERIZAÇÃO REOLÓGICA DE FLUIDOS COMPLEXOS. , 2017.
- NAEINI, M. B. et al. Antitumor effects of curcumin: A lipid perspective. **Journal of cellular physiology**, v. 234, n. 9, p. 14743–14758, set. 2019.
- NAKANO, K. et al. A neural network approach to predict tactile comfort of applying cosmetic foundation. **Tribology International**, v. 43, n. 11, p. 1978–1990, nov. 2010.
- NAKANO, K. et al. **Tribological method to objectify similarity of vague tactile sensations experienced during application of liquid cosmetic foundations.** Tribology International. Anais...Elsevier Ltd, 2013.
- NEWBURGER, A. E. Cosmeceuticals: myths and misconceptions. **Clinics in Dermatology**, v. 27, n. 5, p. 446–452, set. 2009.
- PAULO A. NETZ, G. G. O. **Fundamentos de Físico-Química: Uma abordagem conceitual para as ciências farmacêuticas.** [s.l.] ARTMED, 2002.
- PEIXOTO ARAUJO, N. M. et al. Functional and nutritional properties of selected Amazon fruits: A review. **Food research international (Ottawa, Ont.)**, v. 147, p. 110520, set. 2021.
- PENSÉ-LHÉRITIER, A. M. **Recent developments in the sensorial assessment of cosmetic products: A review.** International Journal of Cosmetic ScienceBlackwell Publishing Ltd, , 1 out. 2015.
- SCHRAMM, G. **Reologia e reometria : fundamentos teóricos e práticos.** , 2006.
- SOARES, E.; DEOCLECIO, L. **INTRODUÇÃO À REOLOGIA: Escoamento e caracterização de materiais complexos.** 1º ed. [s.l]: s.n.], v. 1
- STEFFE, J. FREEMAN. **Rheological methods in food process engineering.** Freeman Press, , 1996.
- TADROS, T. Application of rheology for assessment and prediction of the long-term physical stability of emulsions. **Advances in Colloid and Interface Science**, v. 108–109, p. 227–258, 20 maio 2004.
- TADROS, T. **Rheology of Dispersions: Principles and Applications.** , 2011.
- TADROS, TH. F. Fundamental principles of emulsion rheology and their applications. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, v. 91, p. 39–55, nov. 1994.
- TAMJIDI, F. et al. **Nanostructured lipid carriers (NLC): A potential delivery system for bioactive food molecules.** Innovative Food Science and Emerging Technologies, jul. 2013.
- VOLLONO, L. et al. Potential of Curcumin in Skin Disorders. **Nutrients**, v. 11, n. 9, 10 set. 2019.
- WISSING, S. A.; KAYSER, O.; MÜLLER, R. H. Solid lipid nanoparticles for parenteral drug delivery. **Advanced Drug Delivery Reviews**, v. 56, n. 9, p. 1257–1272, 7 maio 2004.
- WITTERN, K.-P.; BRUMMER, R.; GODERSKY, S. **Rheology Studies to Investigate Sensorial**

Aspects of Emulsions., 2001. Disponível em:
<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S016729910182259X>. Acesso em: 23 fev. 2025

WORTEL, V. A. L.; WIECHERS, J. W. Skin sensory performance of individual personal care ingredients and marketed personal care products. **Food Quality and Preference**, v. 11, n. 1–2, p. 121–127, jan. 2000.

ZENG, X.; RUAN, D.; KOEHL, L. Intelligent sensory evaluation: Concepts, implementations, and applications. **Mathematics and Computers in Simulation**, v. 77, n. 5–6, p. 443–452, 1 maio 2008.