

Development and evaluation of hair mask formulations containing vegetable oils from Brazilian biodiversity for curly hair

Desenvolvimento e avaliação de formulações de máscaras capilares contendo óleos vegetais da biodiversidade brasileira para cabelos cacheados

Sarah Daniele Matos Lima , Letícia Kakuda , & Patrícia Maria Berardo Gonçalves Maia Campos  

Keywords: Curly hair, mechanical properties, pequi oil, buriti oil, vegetable oils

Palavras-chave: Cabelo cacheado, propriedades mecânicas, óleo de pequi, óleo de buriti, óleo vegetal

To Cite:

Matos Lima, S. D., Kakuda, L., Maia Campos, P. M. B. G. (2026) Development and evaluation of hair mask formulations containing vegetable oils from Brazilian biodiversity for curly hair. *BBR: Pharmacology & Technology*, 22(2), 1-25.

 <https://doi.org/10.19277/bbr.pht.23.373>

School of Pharmaceutical Sciences of Ribeirão Preto, University of São Paulo, Avenida do Café, Monte Alegre, Ribeirão Preto, SP, Brazil.

Correspondence to / Correspondência a: pmcampos@usp.br

Received / Recebido: 16/12/2025
Accepted / Aceite: 06/03/2026

Journal correspondence / Correspondência dos jornais: bbr@alies.pt

Abstract

Considering that Brazilian biodiversity stands out as a source of vegetable oils rich in bioactive compounds, the aim of this study was to develop hair mask formulations for curly hair containing pequi (*Caryocar brasiliense*) and buriti (*Mauritia flexuosa*) oils and evaluate their physico-mechanical properties and efficacy. For this, formulations included or not (vehicle - F1) 5% of buriti oil (F2), pequi oil (F3) and these oils in combination - 2.5% each (F4). The formulations were characterized in terms of texture profile and spreadability (Texturometer TA.XT Plus[®]), and rheological behavior (Brookfield RVDV3T). Their efficacy was evaluated in standardized curly hair tresses, in terms of gloss, tensile strength and hair fiber diameter. The results showed an improvement in texture properties in the tresses treated with the formulations containing oils and a significant increase in hair gloss ($p < 0.05$). Tensile strength increased significantly ($p < 0.05$) only in hair samples treated with pequi oil. Finally, the oils showed potential to improve the physical-mechanical properties of curly hair, supporting their use in conditioning products to address the specific needs of the curly hair.

Resumo

Considerando que a Biodiversidade Brasileira se destaca como uma rica fonte de óleos vegetais ricos em compostos bioativos, o objetivo deste estudo foi desenvolver e avaliar as propriedades físico-mecânicas e a eficácia de uma formulação de máscara capilar para cabelos cacheados contendo óleos de pequi (*Caryocar brasiliense*) e buriti (*Mauritia flexuosa*). Para isso, foi desenvolvida uma formulação de máscara capilar para cabelos cacheados contendo ou não (veículo - F1), 5% de óleo de buriti (F2), óleo de pequi (F3) e a combinação desses óleos - 2,5% de cada (F4). As formulações foram caracterizadas quanto ao perfil de textura e espalhabilidade (Texturometer TA.XT Plus[®]) e ao comportamento reológico (Brookfield RVDV3T). A eficácia foi avaliada em mechas de cabelo cacheado padronizadas, em termos de brilho, resistência à tração e diâmetro da fibra capilar. Os resultados mostraram melhora nas propriedades de textura dos fios tratados com as formulações contendo os óleos e um aumento significativo no brilho ($p < 0.05$). A resistência à tração aumentou significativamente ($p < 0.05$) apenas nas amostras de cabelo tratadas com óleo de pequi. Por fim, os óleos demonstraram potencial para melhorar as propriedades físico-mecânicas dos cabelos cacheados, o que justifica seu uso em produtos condicionadores para atender às necessidades específicas desse tipo de cabelo.

Introduction

Hair represents a key element in the construction of personal and collective identity. It reflects not only individual expression but also the social, historical, and cultural environments that shape a person's self affirmation efforts. These multiple factors emphasize that hair aesthetics are not only physical attributes but are closely tied to context, movement, and social narratives (1,2).

Within this perspective, curly hair has long been subjected to social marginalization due to prevailing beauty standards that favored straight textures. These external pressures have influenced both cultural representation and scientific exploration of curly hair, often minimizing its unique biological structure and care needs (3).

Curly hair exhibits distinctive morphological and biomechanical characteristics. Its curl pattern is defined by follicular shape, cellular arrangement, and fiber geometry. These traits directly influence hair appearance, manageability, and daily care routines (4). The helicoidal structure of curly hair includes uneven bends, spirals, and twists, which generate regions of tension and mechanical vulnerability. These areas tend to accumulate more stress and are more prone to damage compared to straight hair (5,6).

Understanding these features not only validates the biological complexity of curly hair but also reinforces its legitimacy as an aesthetic and cultural identity. This perspective challenges the notion that such hair must be altered to meet external expectations and instead promotes targeted cosmetic strategies that respect its natural structure (7,8).

The spiral shape of curly hair also presents functional challenges. Its geometry hinders the uniform distribution of sebum along the hair shaft, increasing its tendency to dryness and frizz (7,9,10). These structural constraints highlight the importance of formulating products that can support moisture retention, reduce breakage, and strengthen the fiber against physical stress.

In response to these needs, recent advances in cosmetic science have focused on designing specialized formulations for curly hair. The demand for

Introdução

O cabelo representa um elemento fundamental na construção da identidade pessoal e coletiva. Ele reflete não somente na expressão individual, mas também no ambiente social, histórico e cultural que moldam o esforço de autoafirmação de uma pessoa. Esses múltiplos fatores enfatizam que a estética capilar não se resume apenas a atributos físicos, estando intimamente ligada ao contexto, ao movimento e às narrativas sociais (1,2)

Nessa perspectiva, o cabelo cacheado tem sido submetido há muito tempo à marginalização social devido aos padrões de beleza predominantes que favoreciam as texturas lisas. Essas pressões externas influenciaram tanto a representação cultural quanto a exploração científica do cabelo cacheado, muitas vezes minimizando sua estrutura biológica única e suas necessidades de cuidado (3).

O cabelo cacheado apresenta características morfológicas e biomecânicas distintas. Seu padrão de ondulação é definido pela forma do folículo, arranjo celular e geometria da fibra. Essas características influenciam diretamente na aparência, maleabilidade e nas rotinas diárias de cuidados com o cabelo (4). A estrutura helicoidal do cabelo cacheado inclui curvas, espirais e torções irregulares, que geram regiões de tensão e vulnerabilidade mecânica. Essas áreas tendem a acumular mais estresse e são mais propensas a danos em comparação com o cabelo liso (5,6).

O entendimento dessas características não só valida a complexidade biológica do cabelo cacheado, como também reforça a sua legitimidade enquanto identidade estética e cultural. Esta perspectiva desafia a noção de que esse tipo de cabelo deve ser alterado para atender às expectativas externas e, em vez disso, promove estratégias cosméticas direcionadas que respeitam a sua estrutura natural (7,8). O formato espiral do cabelo cacheado também apresenta desafios funcionais. Sua geometria dificulta a distribuição uniforme do sebo ao longo da haste capilar, aumentando sua tendência ao ressecamento e ao frizz (7,9,10). Essas limitações estruturais ressaltam a importância de formular produtos que possam auxiliar na retenção da umidade, reduzir a quebra e fortalecer a fibra contra o estresse físico.

Em resposta a essas necessidades, os avanços recentes na ciência cosmética vem se concentrando no desenvolvimento de formulações especializadas

personalized, high-performance products has grown substantially, encouraging the search for innovative, sustainable, and naturally derived ingredients capable of addressing these specific challenges (11,12). Among these products, hair masks stand out for containing a higher concentration of active ingredients with emollient properties, such as proteins and oils, when compared to conventional conditioners, thereby promoting a greater conditioning effect (13). Brazil, recognized as one of the most biodiverse countries in the world, offers an expansive and largely untapped reservoir of bioactive plant materials. Within this vast natural wealth, vegetable oils emerge as promising agents in cosmetic science, due to their rich chemical profiles composed of fatty acids, antioxidants, vitamins, and secondary metabolites (14-16).

Despite the increasing visibility of textured hair in consumer markets, curly hair remains underrepresented in scientific literature, especially regarding ingredient functionality and formulation composition. This gap highlights the need for targeted research focused on native bio-resources and their cosmetic applications.

Among Brazil's native species, pequi and buriti oils have gained attention due to their rich bioactive composition. Pequi oil, extracted from the pulp of *Caryocar brasiliense* Cambess, a species native to the Cerrado biome, is rich in oleic and palmitic acids, as well as antioxidants and essential vitamins. It also contains phenolic compounds, tocopherols, phytosterols, lycopene, and beta-carotene, which contribute to its antioxidant and anti-inflammatory effects (17-19).

Buriti oil, obtained from the pulp of *Mauritia flexuosa*, primarily found in the Amazon region, is similarly rich in palmitic and oleic acids. It also contains high concentrations of carotenoids and tocopherols, which provide antioxidant protection and help prevent oxidative degradation (20,21).

Both oils exhibit emollient, film-forming, and protective properties that are highly beneficial for curly hair. These biofunctional attributes support hydration, fiber flexibility, and protection against external stressors, aligning with the structural and functional needs of curly hair types.

para cabelos cacheados. A demanda por produtos personalizados e de alto desempenho cresceu substancialmente, incentivando a busca por ingredientes inovadores, sustentáveis e de origem natural, capazes de atender a esses desafios específicos (11,12). Entre esses produtos, as máscaras capilares se destacam por apresentarem uma maior concentração de ingredientes ativos com propriedades emolientes, como as proteínas e óleos quando comparadas aos condicionadores convencionais, favorecendo assim um maior efeito condicionador (13). O Brasil, reconhecido como um dos países com maior biodiversidade do mundo, oferece um vasto e, em grande parte, inexplorado reservatório de materiais vegetais bioativos. Dentro dessa riqueza natural, os óleos vegetais emergem como agentes promissores na ciência cosmética, devido aos seus ricos perfis químicos compostos por ácidos graxos, antioxidantes, vitaminas e metabólitos secundários (14-16).

Apesar da crescente visibilidade dos cabelos texturizados nos mercados consumidores, os cabelos cacheados permanecem sub-representados na literatura científica, especialmente no que diz respeito à funcionalidade dos ingredientes e à composição das formulações. Essa lacuna destaca a necessidade de pesquisas direcionadas, focadas em biorrecursos nativos e suas aplicações cosméticas.

Entre as espécies nativas do Brasil, os óleos de pequi e buriti têm ganhado destaque devido à sua rica composição bioativa. O óleo de pequi, extraído da polpa de *Caryocar brasiliense* Cambess, espécie nativa do bioma Cerrado, é rico em ácidos oleico e palmítico, além de antioxidantes e vitaminas essenciais. Contém também compostos fenólicos, tocoferóis, fitosteróis, licopeno e beta-caroteno, que contribuem para seus efeitos antioxidantes e anti-inflamatórios (17-19).

O óleo de buriti, obtido da polpa de *Mauritia flexuosa*, encontrada principalmente na região amazônica, é igualmente rico em ácidos palmítico e oleico. Também contém altas concentrações de carotenóides e tocoferóis, que fornecem proteção antioxidante e ajudam a prevenir a degradação oxidativa (20,21).

Ambos os óleos apresentam propriedades emolientes, formadoras de filme e protetoras, altamente benéficas para cabelos cacheados. Esses atributos biofuncionais promovem hidratação, flexibilidade da fibra capilar e proteção contra agressores externos, atendendo às necessidades estruturais e funcionais dos cabelos cacheados.

In this context, the objective of this study was to develop a hair mask formulation for curly hair containing pequi (*Caryocar brasiliense*) and buriti (*Mauritia flexuosa*) oils, and to evaluate its physico-mechanical properties and efficacy using standardized hair tresses.

Materials and Methods

Vegetable Oils

The study analyzed two oils from Brazilian biodiversity. These oils are primarily composed of oleic and palmitic acids, with minor fractions of other fatty acids, including linolenic, linoleic, stearic, myristic acids, and antioxidants (22-25). The pequi oil (*Caryocar brasiliense*, Amazon Rainforest, Brazil) and buriti oil (*Mauritia flexuosa*, Amazon Rainforest, Brazil) used in this study were acquired from Amazon Oil, and the oils were obtained by cold extraction. Both are naturally free of preservatives and extraction solvent, such that these oils can be applied for cosmetic purposes (26,27).

Studied Formulations

The ingredients used to develop the formulations were listed according to the International Nomenclature of Cosmetic Ingredients (INCI) name and company name, as described in Table 1.

Four hair mask formulations for curly hair were prepared and were based on glycerin, behentrimonium methosulfate, cetrimonium chloride, disodium EDTA, BHT, cetostearyl alcohol, cetyl alcohol, caprylic/capric triglyceride, chemical additives, emollient oils and water.

The ingredients were divided into two phases, the aqueous phase (W) composed of water and water-soluble components, and the oily phase (O), formed of oils and esters. The aqueous phase was prepared by adding water, glycerin, behentrimonium methosulfate, cetrimonium chloride, and disodium EDTA to a glass beaker. This mixture was heated to 70°C and stirred at 800 rpm until the components were completely homogenized. The components of the oil phase - butylhydroxytoluene, cetearyl alcohol, cetyl alcohol, and caprylic/capric triglyceride - were added to another beaker and also heated to 70 °C until completely dissolved. The temperature of the hot emulsification process does not interfere with the stability of the vegetable oils under study (19,28).

Neste contexto, o objetivo deste estudo foi desenvolver uma formulação de máscara capilar para cabelos cacheados contendo óleos de pequi (*Caryocar brasiliense*) e buriti (*Mauritia flexuosa*), e avaliar suas propriedades físico-mecânicas e eficácia utilizando mechas de cabelo padronizadas.

Materiais e Métodos

Óleos Vegetais

O estudo analisou dois óleos da biodiversidade brasileira. Esses óleos são compostos principalmente por ácidos oleico e palmítico, com frações menores de outros ácidos graxos, incluindo ácidos linolênico, linoléico, esteárico, mirístico e compostos antioxidantes (22-25). O óleo de pequi (*Caryocar brasiliense*, Floresta Amazônica, Brasil) e o óleo de buriti (*Mauritia flexuosa*, Floresta Amazônica, Brasil) utilizados neste estudo foram adquiridos da Amazon Oil e obtidos por extração a frio. Ambos são naturalmente isentos de conservantes e extração por solventes, o que significa que esses óleos podem ser aplicados para fins cosméticos (26,27).

Formulações Estudadas

Os ingredientes utilizados para desenvolver as formulações foram listados de acordo com a Nomenclatura Internacional de Ingredientes Cosméticos (INCI) e o nome da empresa, conforme descrito na Tabela 1.

Foram preparadas quatro formulações de máscaras capilares para cabelos cacheados, à base de glicerina, metossulfato de berentrimônio, cloreto de cetrimônio, EDTA dissódico, BHT, álcool cetosteárico, álcool cetílico, triglicerídeo caprílico/cáprico, aditivos químicos, óleos emolientes e água.

Os ingredientes foram divididos em duas fases: a fase aquosa (W), composta por água e componentes hidrossolúveis, e a fase oleosa (O), formada por óleos e ésteres. A fase aquosa foi preparada adicionando água, glicerina, metossulfato de behentrimônio, cloreto de cetrimônio e EDTA dissódico a um béquer de vidro. Essa mistura foi aquecida a 70 °C e agitada a 800 rpm até a completa homogeneização dos componentes. Simultaneamente, os componentes da fase oleosa, butil-hidroxitolueno, álcool cetosteárico, álcool cetílico e triglicerídeo caprílico/cáprico, foram adicionados a outro béquer e também aquecidos a 70°C até a completa dissolução. A temperatura do processo de emulsificação a quente não interfere na estabilidade dos óleos vegetais (19,28). Ambas

Table 1 - Composition of the formulations (w/w %).
Tabela 1 - Composição das formulações (em % p/p).

INCI ¹ Name (Manufacturer) / Nomenclatura INCI ¹ (Nome da empresa)	Phase / Fase	w/w %			
		F1	F2	F3	F4
Water	W	q.s.	q.s.	q.s.	q.s.
Glycerin (Buckminster, Macatuba, SP, Brazil)	W	3	3	3	3
Behentrimonium Methosulfate (Croda, Campinas, SP, Brazil)	O	1	1	1	1
Cetrimonium Chloride (Evonik, São Paulo, SP, Brazil)	O	2	2	2	2
Disodium EDTA (BASF, São Paulo, SP, Brazil)	W	0.05	0.05	0.05	0.05
Butylhydroxytoluene (Sigma-Aldrich, São Paulo, SP, Brazil)	O	0.03	0.03	0.03	0.03
Cetearyl Alcohol (BASF, São Paulo, SP, Brazil)	O	3	3	3	3
Cetyl alcohol (Sigma-Aldrich, Cajamar, SP, Brazil)	O	1	1	1	1
Caprylic/Capric Triglyceride (Croda, Campinas, SP, Brazil)	W	1	1	1	1
Buriti Oil (<i>Mauritia flexuosa</i>) (Amazon Oil, Ananindeua, Pará, Brazil)	O	-	5	-	2.5
Pequi Oil (<i>Caryocar brasiliense</i>) (Amazon Oil, Ananindeua, Pará, Brazil)	O	-	-	5	2.5
Phenoxyethanol (Chemyunion, Sorocaba, SP, Brazil)		0.3	0.3	0.3	0.3
Propylene Glycol (Labsynth, Diadema, SP, Brazil)		0.8	0.8	0.8	0.8

¹International Nomenclature of Cosmetic Ingredients / ¹Nomenclatura Internacional de Ingredientes Cosméticos

Both phases stabilized at the same temperature, and the aqueous phase was slowly added to the oil phase to form the emulsion. Finally, the preservative (phenoxyethanol) was solubilized in propylene glycol and added to the formulation. This was the vehicle formulation, referred to as F1. For the other formulations enriched with vegetable oils, F2 was enriched with 5% buriti oil, F3 with 5% pequi oil, and F4 with a mixture of the two oils (2.5% of each). In these formulations, the oils were added to the oil phase. After the formulations were developed, stability tests were performed. The stability of the formulations was evaluated 24 hours after preparation in three cycles of 30 minutes each, with centrifugation at 3000 rpm. These tests also evaluated organoleptic characteristics and pH over a period of 28 days. In addition, all formulations were characterized by texture, spreadability tests, rheological behavior, and mechanical properties.

Characterization and Stability Evaluation of the Formulations

In order to assess both the initial characterization and the stability of the developed formulations, a set of physicochemical and organoleptic analyses were performed. These analyses were structured in two distinct phases: (i) initial characterization, which

as fases estabilizaram-se à mesma temperatura, e a fase aquosa foi adicionada lentamente à fase oleosa para formar a emulsão. Finalmente, o conservante (fenoxietanol) foi solubilizado em propilenoglicol e adicionado à formulação. Essa foi a formulação do veículo, denominada F1. Para as demais formulações enriquecidas com óleos vegetais, a F2 foi enriquecida com 5% de óleo de buriti, a F3 com 5% de óleo de pequi e a F4 com uma mistura dos dois óleos (2,5% de cada). Nessas formulações, os óleos foram adicionados à fase oleosa. Após o desenvolvimento das formulações, foram realizados testes de estabilidade. A estabilidade das formulações foi avaliada 24 horas após o preparo, em três ciclos de 30 minutos cada, com centrifugação a 3000 rpm. Esses testes também avaliaram as características organolépticas e a análise de pH ao longo de um período de 28 dias. Além disso, todas as formulações foram caracterizadas quanto à textura, espalhabilidade, comportamento reológico e propriedades mecânicas.

Caracterização e Avaliação da Estabilidade das Formulações

Para avaliar tanto a caracterização inicial quanto a estabilidade das formulações desenvolvidas, foram realizadas análises físico-químicas e organolépticas. Essas análises foram estruturadas em duas fases distintas: (i) caracterização inicial, que incluiu a

included evaluation of texture, spreadability, pH, and organoleptic attributes under ambient conditions, and (ii) stability studies, in which the formulations were subjected to thermal stress conditions at controlled temperatures over 28 days to simulate accelerated potential instabilities.

All formulations were stored in neutral, transparent, hermetically sealed glass containers and kept under controlled conditions at room temperature (approximately 25 °C), refrigerated temperature (5 °C), and elevated temperature (37 °C), in accordance with the guidelines established by the Brazilian Health Regulatory Agency (ANVISA) - the regulatory body for cosmetics, medicines, and health products in Brazil.

Centrifugation Test

To assess initial physical stability, formulations were centrifuged at 3000 rpm for 30 minutes (80-2B-DM, Daiki, Brazil). Samples were then inspected for phase separation or other signs of instability.

Organoleptic Characteristics

The formulations were visually inspected for appearance, color, odor, and homogeneity at baseline and during storage under different temperatures. Any changes were recorded as potential indicators of physical instability (30).

pH Analysis

The pH values of each formulation were determined using a 10% (w/w) aqueous dispersion in deionized water, measured with a digital pH meter (R-TEC-7/2-MP, Tecnal, Brazil). Measurements were performed at room temperature for the initial characterization, and at 5 °C, 25 °C, and 37 °C as part of the stability assessment. Evaluations were conducted at the following time points: 24 hours (T0), 7, 14, 21, and 28 days after preparation (19).

Texture Profile and Spreadability Analysis

Texture Profile and Spreadability analyses were performed using the TA.XT Plus[®] texturometer (Stable Microsystems, Godalming, UK) with Exponent software. The method involves the insertion of an analytical probe into the sample at a controlled speed and depth (31). Spreadability was assessed using the TTC HDP/SR probe, while texture parameters were obtained with the 30 mm Back Extrusion rig

avaliação da textura, espalhabilidade, pH e atributos organolépticos em condições ambientais, e (ii) estudos de estabilidade, nos quais as formulações foram submetidas a condições de estresse térmico em temperaturas controladas para simular instabilidades potenciais aceleradas ao longo de 28 dias.

Todas as formulações foram armazenadas em recipientes de vidro neutros, transparentes e hermeticamente fechados, e mantidas sob condições controladas à temperatura ambiente (aproximadamente 25 °C), temperatura refrigerada (5 °C) e temperatura elevada (37 °C), de acordo com as diretrizes estabelecidas pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) - órgão regulatório de cosméticos, medicamentos e produtos de saúde no Brasil.

Teste de Centrifugação

Para avaliar a estabilidade física inicial, as formulações foram centrifugadas a 3000 rpm por 30 minutos (80-2B-DM, Daiki, Brasil). As amostras foram então inspecionadas quanto à separação de fases ou outros sinais de instabilidade.

Características Organolépticas

As formulações foram inspecionadas visualmente quanto à aparência, cor, odor e homogeneidade, tanto no início do experimento quanto durante o armazenamento em diferentes temperaturas. Quaisquer alterações foram registradas como potenciais indicadores de instabilidade física (30).

Análise de pH

Os valores de pH de cada formulação foram determinados utilizando uma dispersão aquosa a 10% (m/m) em água deionizada, medida com um pHmetro digital (R-TEC-7/2-MP, Tecnal, Brasil). As medições foram realizadas à temperatura ambiente para a caracterização inicial e a 5 °C, 25 °C e 37 °C como parte da avaliação de estabilidade. As avaliações foram conduzidas nos seguintes pontos de tempo: 24 horas (T0), 7, 14, 21 e 28 dias após o preparo (19).

Análise do Perfil de Textura e Espalhabilidade

Ambas as análises foram realizadas utilizando o texturômetro TA.XT Plus[®] (Stable Microsystems, Godalming, Reino Unido) com o software Exponent. O método envolve a inserção de uma sonda analítica na amostra a uma velocidade e profundidade controladas (31). A espalhabilidade foi avaliada utilizando a sonda TTC HDP/SR, enquanto os parâmetros de textura foram obtidos com a sonda Back Extrusion rig (A/BE)

probe (A/BE). Tests were carried out in triplicate, and consistency, firmness, viscosity index, and spreadability parameters were extracted from the force (N) versus time (t) curve (30,32).

Rheological Behavior Analysis

The formulations were evaluated for rheological behavior using a Brookfield DV3T rheometer (Brookfield, Stoughton, MA, USA), equipped with the CP-52 spindle coupled to RheocalcT[®] Version V1.2.19 software. For the test, a progressive increase in the initial rotation speed from 0 to 100 rpm was established at 5-second intervals, producing an ascending curve composed of 10 points on the “shear rate” versus “shear stress” axes. The descending curve was obtained with gradually decreasing speeds (100 to 0 rpm). For the analysis, the samples (0.5 g) were kept at room temperature (25 °C) and subjected to thermal stress at 37 °C and 5 °C under controlled humidity (70% RH). The measurements were taken at T0 (24 h), T7, and T28 days. All tests were carried out in triplicate (30,32,33).

Hair Treatment Protocol

Virgin natural dark brown curly hair tresses (type III – André Walker Hair Typing System) were used in this study. Each tress weighed 15 g and measured 10 cm in width and 20 cm in length. Prior to treatment, the hair was washed with a 3% sodium lauryl ether sulfate solution (0.4 g/g of hair) for 1 min, rinsed for 1 min, and dried with a hair dryer for 2 min and 50 s.

Four tresses were allocated to each experimental group, which included treatments with Brazilian vegetable oils or without (vehicle), and a control group with no treatment. The experimental groups are detailed in Table 2.

The standardized tress T1 was only washed with a 3% sodium lauryl ether sulfate solution, while T2, T3, T4, and T5 were washed with a 3% sodium lauryl ether sulfate solution, shampoo and treated with the hair mask. The hair tresses were subjected to washing with shampoo (0.4 g/g of hair), rinsing for 1 min, application of the hair mask (0.6 g/g of hair) for 5 min, followed by rinsing for 1 min and drying with warm air using a blow-dryer for 2 min and 50 s. This treatment process was performed three times, according to the protocol of Zito *et al.*, 2026 (34).

de 30 mm. Os testes foram realizados em triplicata e os seguintes parâmetros foram extraídos da curva força (N) versus tempo (t): consistência, firmeza, índice de viscosidade e espalhabilidade (30,32).

Análise do Comportamento Reológico

As formulações foram avaliadas quanto ao comportamento reológico utilizando um reômetro Brookfield DV3T (Brookfield, Stoughton, MA, EUA), equipado com o fuso CP-52 acoplado ao software RheocalcT[®] versão V1.2.19. Para o teste, estabeleceu-se um aumento progressivo na velocidade de rotação inicial de 0 a 100 rpm em intervalos de 5 segundos, produzindo uma curva ascendente composta por 10 pontos nos eixos “taxa de cisalhamento” em relação à “tensão de cisalhamento”. A curva descendente foi obtida com velocidades gradualmente decrescentes (100 a 0 rpm). Para a análise, as amostras (0,5 g) foram mantidas à temperatura ambiente (25 °C) e submetidas a estresse térmico a 37 °C e 5°C sob umidade controlada (70% UR). As medições foram realizadas nos tempos T0 (24 h), T7 e T28. Todos os testes foram realizados em triplicata (30,32,33).

Protocolo de Tratamento Capilar

Neste estudo, foram utilizadas mechas de cabelo cacheado virgem natural castanho escuro (tipo III – Sistema de Tipagem Capilar André Walker). Cada mecha pesava 15 g e media 10 cm de largura e 20 cm de comprimento. Antes do tratamento, o cabelo foi lavado com uma solução de lauril éter sulfato de sódio a 3% (0,4 g/g de cabelo) durante 1 minuto, enxaguado durante 1 minuto e seco com secador de cabelo durante 2 minutos e 50 segundos.

Quatro mechas foram alocadas a cada grupo experimental, que incluiu tratamentos com ou sem óleos vegetais brasileiros (veículo) e um grupo controle sem tratamento. Os grupos experimentais estão detalhados na Tabela 2.

A mecha padronizada T1 foi lavada somente com uma solução de lauril éter sulfato de sódio a 3%, enquanto as mechas T2, T3, T4 e T5 foram lavadas com uma solução de lauril éter sulfato de sódio a 3%, xampu e tratadas com a máscara capilar. As mechas foram submetidas a lavagem com xampu (0,4 g/g de cabelo), enxágue por 1 min, aplicação da máscara capilar (0,6 g/g de cabelo) por 5 min, seguida de enxágue por 1 min e secagem com ar morno utilizando um secador de cabelo por 2 min e 50 s. Este processo de tratamento foi realizado três vezes, de acordo com o protocolo de Zito *et al.*, 2026 (34).

Table 2 - Hair tress codes and corresponding treatment conditions.**Tabela 2** - Códigos de mechas de cabelo e respectivas condições de tratamento.

Hair Tress Code / Código da Mecha	Condition / Condição
T1	Virgin hair tress (untreated control) / Cabelo virgem (controle não tratado)
T2	Treated with vehicle formulation (F1) / Tratado com a formulação do veículo (F1)
T3	Treated with hair mask containing 5% of buriti oil (F2) / Tratado com máscara capilar contendo 5% de óleo de buriti (F2)
T4	Treated with a hair mask containing 5% of pequi oil (F3) / Tratado com máscara capilar contendo 5% de óleo de pequi (F3)
T5	Treated with hair mask containing a blend of buriti and pequi oils (2.5% each) (F4) / Tratado com máscara capilar contendo uma mistura de óleos de buriti e pequi (2,5% cada) (F4)

Instrumental Measurements

Hair Gloss Analysis

Hair gloss was evaluated using a Skin Glossometer GL200 (Courage & Khazaka, Cologne, Germany), which measures surface gloss based on light reflectance. The analyses were performed at a temperature of 20-22 °C, 50-60% relative humidity (RH), and in the absence of light to minimize interference. The readings were taken from the middle region of each hair tress, and the analysis was conducted in sextuplicate (35,36).

Mechanical Properties

Mechanical properties were assessed through a tensile test using a TA.XT Plus Texture Analyzer (Stable Microsystems, Surrey, UK). This method evaluates the average maximum force required to break individual hair fibers. The analysis was performed at a temperature of 20-22 °C, 50-60% RH. For each sample, twenty fibers were tested individually, using a test distance of 55 mm, a load of 10 N, and a constant speed of 300 mm/min (37,38).

Hair Fiber Diameter

The diameter of hair fibers was evaluated using the Visioscan® VC 20plus (Courage & Khazaka, Cologne, Germany), a high-resolution UVA-light (390-395 nm) video imaging system designed for surface analysis. The device is equipped with a 1/2" black-and-white CMOS sensor (1.3 megapixels; 1280 × 1024 pixels) and captures images of approximately 10 × 8 mm in size. The objective has a focal length of 20 mm with an aperture of 2.8 mm and a calculated depth of focus of ± 0.05 mm (Courage & Khazaka, 2025).

Medidas Instrumentais

Análise de Brilho Capilar

O brilho do cabelo foi avaliado utilizando Skin Glossometer GL200 (Courage & Khazaka, Colônia, Alemanha), que mede o brilho da superfície com base na refletância da luz. Para minimizar interferências, o teste foi realizado em ambiente escuro. As análises foram realizadas a uma temperatura de 20–22 °C, 50–60% de umidade relativa (UR) e na ausência de iluminação para evitar interferências. As leituras foram feitas na região central de cada mecha de cabelo e a análise foi conduzida em sextuplicata (35,36).

Propriedades Mecânicas

As propriedades mecânicas foram avaliadas por meio de um teste de tração utilizando um analisador de textura TA.XT Plus (Stable Microsystems, Surrey, Reino Unido). Este método avalia a força máxima média necessária para romper fibras capilares individuais. A análise foi realizada a uma temperatura de 20–22 °C e umidade relativa de 50–60%. Para cada amostra, vinte fibras foram testadas individualmente, utilizando uma distância de teste de 55 mm, uma carga de 10 N e uma velocidade constante de 300 mm/min (37,38).

Diâmetro da Fibra Capilar

O diâmetro das fibras capilares foi avaliado utilizando o Visioscan® VC 20plus (Courage & Khazaka, Colônia, Alemanha), um sistema de imagem de vídeo de alta resolução com luz UVA (390–395 nm) projetado para análise de superfície. O dispositivo está equipado com um sensor CMOS preto e branco de 1/2" (1,3 megapixels; 1280 × 1024 píxeis) e capta imagens de aproximadamente 10 × 8 mm. A objetiva possui uma distância focal de 20 mm com uma abertura de 2,8 mm e uma profundidade de foco calculada de ± 0,05 mm (Courage & Khazaka, 2025).

For each experimental group, individual hair fibers were selected, and three analyses were performed, each including the acquisition of ten diameter measurements per fiber in the mid-shaft region (40).

Sensory Properties Analysis

The sensory properties analysis was conducted following approval from the Research Ethics Committee for Human Studies (CEP 85811224.5.0000.5403). A total of ten female participants, aged between 18 and 35 years and with naturally curly hair, were enrolled in the study. The sensory evaluation was conducted under blinded conditions. The tresses were identified by codes so that the participants were unaware of the specific formulations applied to each tress of hair.

Participants evaluated the treated and untreated hair tresses by touch and visual inspection. The following parameters were assessed: frizz, gloss, softness, emollience, combability, and curl definition. Each parameter was rated on a four-point scale: poor, fair, good, or very good. The scores were subsequently converted into frequency data for statistical analysis. The sensory evaluation process is illustrated in Figure 1.

Statistical Analysis

Statistical analysis was conducted using GraphPad Prism version 9.0.0 (GraphPad Software, San Diego, USA). Data normality was assessed using the Shapiro–Wilk test. For normally distributed data, one-way ANOVA followed by Tukey’s post hoc test was applied. For non-normally distributed data, the Kruskal–Wallis test was used, followed by Dunn’s post hoc test. A significance level of $p < 0.05$ was adopted for all comparisons.

Para cada grupo experimental, fibras capilares individuais foram selecionadas e três análises foram realizadas, cada uma incluindo a aquisição de dez medições de diâmetro por fibra na região média da haste (40).

Análise das Propriedades Sensoriais

A análise das propriedades sensoriais foi realizada após aprovação do Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos (CEP 85811224.5.0000.5403). Um total de dez participantes do sexo feminino, com idades entre 18 e 35 anos e com cabelos naturalmente cacheados, foram incluídas no estudo. As mechas foram identificadas por códigos, de modo que as participantes não tivessem conhecimento sobre as formulações específicas aplicadas em cada mecha de cabelo.

As participantes avaliaram as mechas de cabelo tratadas e não tratadas por meio do toque e da inspeção visual. Os seguintes parâmetros foram avaliados: frizz, brilho, maciez, emoliência, penteabilidade e definição dos cachos. Cada parâmetro foi classificado em uma escala de quatro pontos: ruim, regular, bom ou muito bom. As pontuações foram posteriormente convertidas em dados de frequência para análise estatística. O processo de avaliação sensorial está ilustrado na Figura 1.

Análise Estatística

A análise estatística foi realizada utilizando o GraphPad Prism versão 9.0.0 (GraphPad Software, San Diego, EUA). A normalidade dos dados foi avaliada pelo teste de Shapiro–Wilk. Para dados com distribuição normal, foi aplicada a one way ANOVA, seguido pelo pós-teste de Tukey. Para dados sem distribuição normal, foi utilizado o teste de Kruskal–Wallis, seguido pelo pós-teste de Dunn. Um nível de significância de $p < 0,05$ foi adotado para todas as comparações.

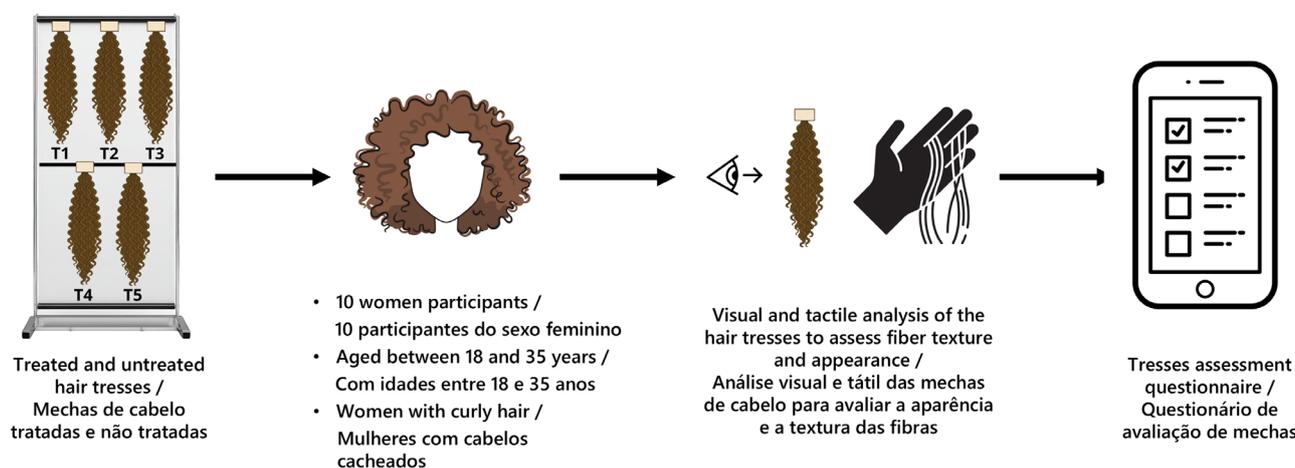


Figure 1- Schematic representation of the sensory evaluation process.

Figura 1- Representação esquemática do processo de avaliação sensorial.

Table 3 - Organoleptic parameters of the formulations.**Tabela 3** - Parâmetros organolépticos das formulações.

Formulations/ Formulações	Características visuais/ Visual characteristics	Color / Coloração	Odor / Odor	Appearance / Aparência
F1	Homogeneous / Homogêneo	White / Branco	Odorless / Sem odor	
F2	Homogeneous / Homogêneo	Orange / Aranjado	Slight odor, characteristic of vegetable oils / Leve odor, característico de óleos vegetais	
F3	Homogeneous / Homogêneo	Yellow / Amarelo	Slight odor, characteristic of vegetable oils / Leve odor, característico de óleos vegetais	
F4	Homogeneous / Homogêneo	Light orange / Aranjado claro	Slight odor, characteristic of vegetable oils / Leve odor, característico de óleos vegetais	

Results

After the development phase, all hair mask formulations remained physically stable 24 hours after preparation, with no evidence of phase separation following centrifugation. The samples maintained a uniform and homogeneous appearance, with visible color differences between them. The formulations presented pH values between 4.0 to 4.5, values compatible with the pH of the hair fiber.

Table 3 summarizes the organoleptic characteristics of each formulation, including appearance, color, and odor. All formulations were homogeneous in texture. F1 was odorless, while F2, F3, and F4 presented a slight characteristic odor attributed to the vegetable oils under study.

The developed formulations maintained rheological stability throughout the study period, with no significant ($p > 0.05$) changes observed in the rheograms under any of the storage conditions. All formulations exhibited a flow behavior index (n) lower than 1, indicating non-Newtonian, pseudoplastic behavior, characterized by a reduction in viscosity under shear and subsequent viscosity recovery once the shear force was removed (Figure 2).

Resultados

Após a fase de desenvolvimento, todas as formulações de máscaras capilares permaneceram fisicamente estáveis 24 horas após o preparo, sem evidências de separação de fases após a centrifugação. As amostras mantiveram uma aparência uniforme e homogênea, com diferenças de cor visíveis entre elas. As formulações apresentaram valores de pH entre 4,0 e 4,5, valores compatíveis com o pH da fibra capilar.

A Tabela 3 resume as características organolépticas de cada formulação, incluindo aparência, cor e odor. Todas as formulações apresentaram textura homogênea. A formulação F1 era inodora, enquanto as formulações F2, F3 e F4 apresentaram um leve odor característico atribuído aos óleos vegetais em estudo.

As formulações desenvolvidas mantiveram a estabilidade reológica durante todo o período do estudo, sem alterações significativas ($p > 0,05$) observadas nos reogramas em nenhuma das condições de armazenamento. Todas as formulações apresentaram um índice de comportamento de fluxo (n) inferior a 1, indicando comportamento não newtoniano, pseudoplástico, caracterizado por uma redução na viscosidade sob cisalhamento e subsequente recuperação da viscosidade após a remoção da força de cisalhamento (Figura 2).

Regarding the texture profile, the addition of vegetable oils influenced the mechanical properties of the hair masks, as shown in Figure 3. Formulation F2 presented the highest values for consistency, firmness, viscosity index, and work of shear, with statistically significant differences compared to the other formulations ($p < 0.05$). Improvements in these parameters were also shown by formulations F3 and F4 when compared to F1, although to a lesser extent than F2.

Overall, the presence of vegetable oils improved the texture properties of the hair masks, with formulation F2 demonstrating the most consistent enhancement across the analyzed parameters.

As shown in Figure 4, there were no significant ($p > 0.05$) changes in gloss values for tresses T1 and T2 before and after treatment. In contrast, tresses treated with formulations containing vegetable oils exhibited

Em relação ao perfil de textura, a adição de óleos vegetais influenciou as propriedades mecânicas das máscaras capilares, conforme mostrado na Figura 3. A formulação F2 apresentou os maiores valores de consistência, firmeza, índice de viscosidade e trabalho de cisalhamento, com diferenças estatisticamente significativas em comparação às demais formulações ($p < 0,05$). Melhorias nesses parâmetros também foram observadas nas formulações F3 e F4 quando comparadas à F1, embora em menor grau do que na F2.

De forma geral, a presença de óleos vegetais melhorou as propriedades de textura das máscaras capilares, sendo que a formulação F2 demonstrou a melhoria mais consistente em todos os parâmetros analisados.

Conforme mostrado na Figura 4, não houve alterações significativas ($p > 0,05$) nos valores de brilho das mechas T1 e T2 antes e depois do tratamento. Em contraste, as mechas tratadas com formulações

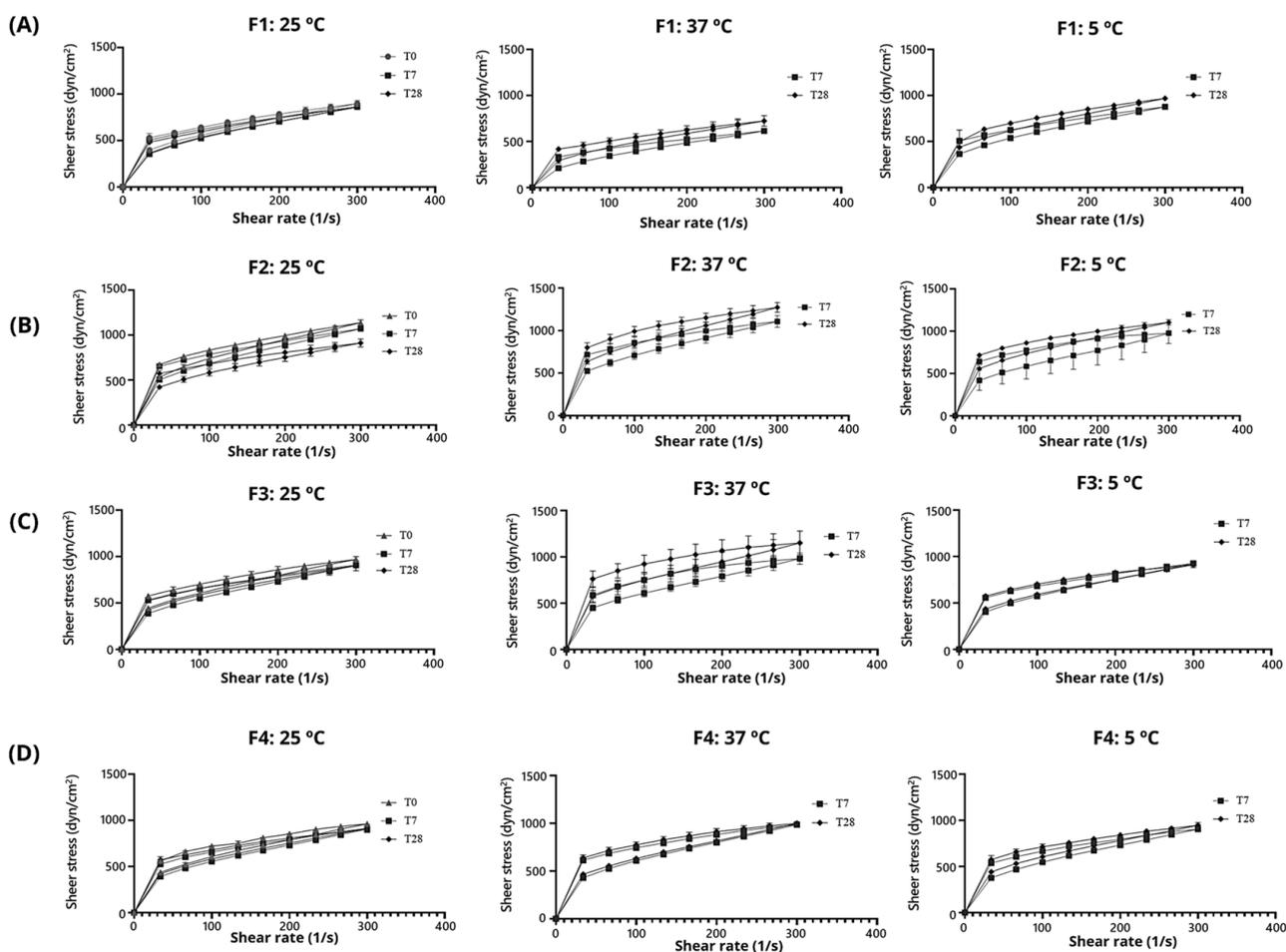


Figure 2 - Rheograms of hair mask without vegetable oils (F1) (A), hair mask containing 5% buriti oil (F2) (B), hair mask containing 5% pequi oil (F3) (C) and hair mask containing blend of the oils 2.5% each (F4) (D), at times T0 (initial), T7 and T28 (final) and temperatures (25, 37 and 5 °C).

Figura 2 - Reogramas de máscara capilar sem óleos vegetais (F1) (A), máscara capilar contendo 5% de óleo de buriti (F2) (B), máscara capilar contendo 5% de óleo de pequi (F3) (C) e máscara capilar contendo mistura dos óleos a 2,5% cada (F4) (D), nos tempos T0 (inicial), T7 e T28 (final) e temperaturas (25, 37 e 5 °C).

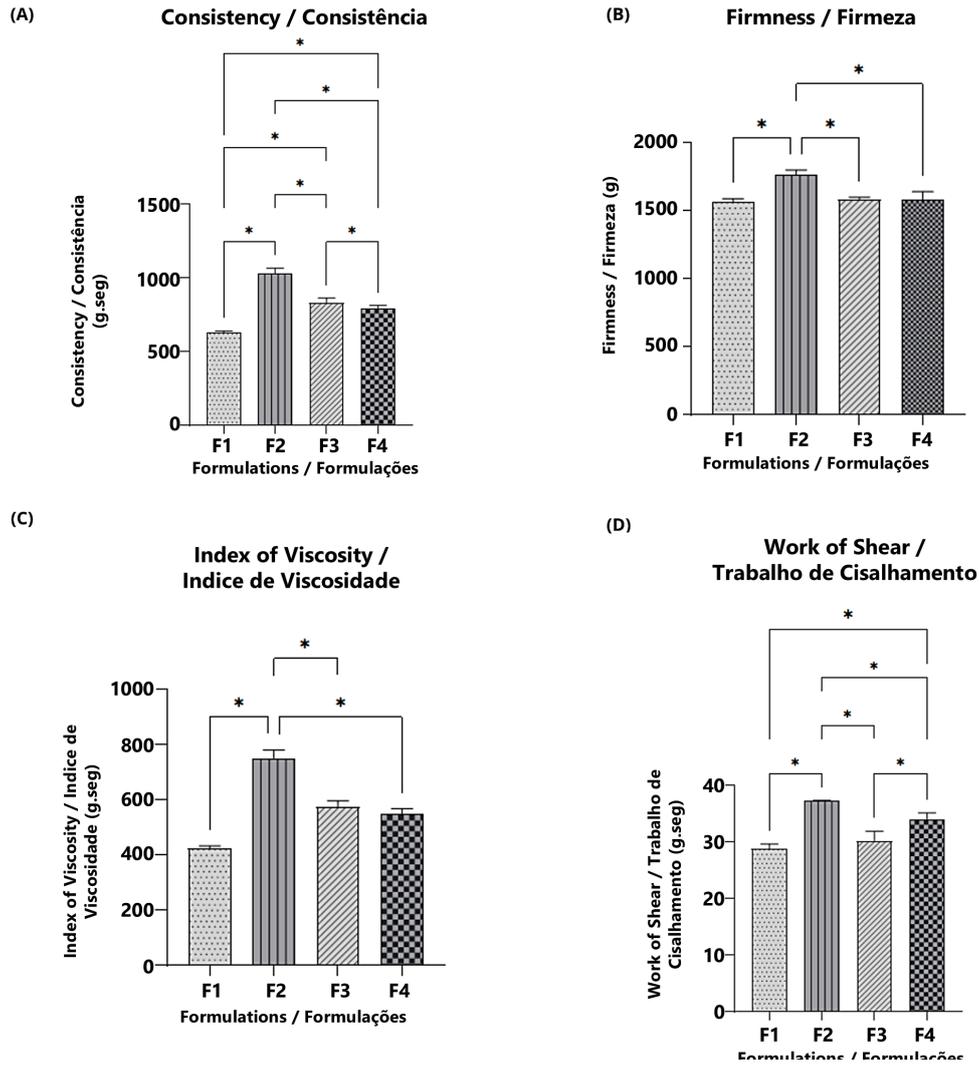


Figure 2 - Texture parameters of hair mask formulations: (A) consistency, (B) firmness, (C) viscosity index, and (D) spreadability (work of shear). *Significant differences between formulations ($p < 0.05$).

Figura 2 - Parâmetros de textura das formulações de máscara capilar: (A) consistência, (B) firmeza, (C) índice de viscosidade e (D) espalhabilidade (trabalho de cisalhamento). *Diferenças significativas entre as formulações ($p < 0,05$).

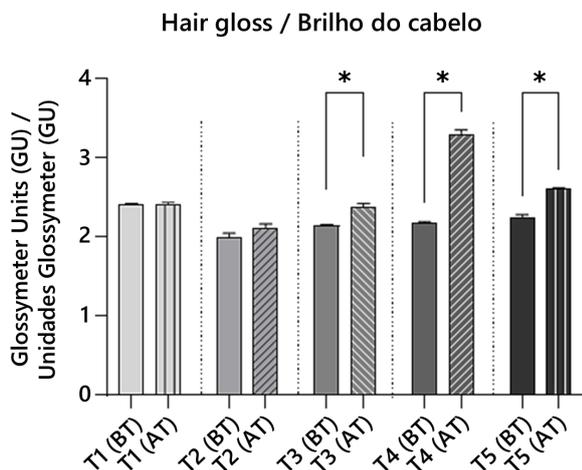


Figure 3 - Hair gloss analysis of the hair samples before (BT) and after (AT) treatment tresses *Significant differences between formulations ($p < 0.05$).

Figura 3 - Análise do brilho capilar das amostras de cabelo antes (BT) e depois (AT) do tratamento. *Diferenças significativas entre as formulações ($p < 0,05$).

a significant increase in gloss after treatment ($p < 0.05$). Among these, T4 showed the most pronounced enhancement, indicating a stronger effect of the formulation containing pequi oil on improving surface reflectivity.

The tensile strength results showed that tress T4 exhibited a significant ($p < 0.05$) increase in tensile strength after treatment. Tresses T3 and T5 also showed a slight increase in break force values compared to their baseline (BT) measurements, but the differences were not significant ($p > 0.05$). No changes were observed for T1 and T2, confirming that the improvement in mechanical resistance was associated with the presence of specific active ingredients in the formulations (Figure 5).

The evaluation of hair fiber diameter showed a significant ($p < 0.05$) increase in tress T5 after treatment (Figure 6). Although a slight increase was also observed for tress T4, the change was not statistically significant ($p > 0.05$). Tresses T1, T2,

contendo óleos vegetais apresentaram um aumento significativo no brilho após o tratamento ($p < 0,05$). Dentre essas, a mecha T4 apresentou o aumento mais pronunciado, indicando um efeito mais forte da formulação contendo óleo de pequi na melhoria da refletividade da superfície.

Os resultados de resistência à tração mostraram que a mecha T4 apresentou um aumento significativo ($p < 0,05$) na resistência à tração após o tratamento. As mechas T3 e T5 também apresentaram um leve aumento nos valores de força de ruptura em comparação com as medidas basais (BT), mas as diferenças não foram significativas ($p > 0,05$). Nenhuma alteração foi observada para T1 e T2, confirmando que a melhora na resistência mecânica estava associada à presença de ingredientes ativos específicos nas formulações (Figura 5).

A avaliação do diâmetro da fibra capilar mostrou um aumento significativo ($p < 0,05$) na mecha T5 após o tratamento (Figura 6). Embora um ligeiro aumento também tenha sido observado na mecha T4, a alteração não foi estatisticamente significativa ($p > 0,05$). As mechas T1, T2 e T3 mantiveram valores de

Figure 5 - Tensile Strength analysis of the hair samples before (BT) and after (AT) treatment tresses.

*Significant differences between formulations ($p < 0.05$).

Figura 5 - Análise da resistência à tração das amostras de cabelo antes (BT) e depois (AT) do tratamento.

*Diferenças significativas entre as formulações ($p < 0,05$).

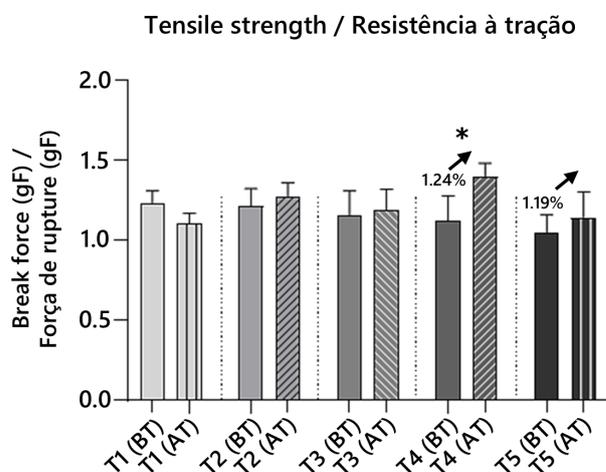
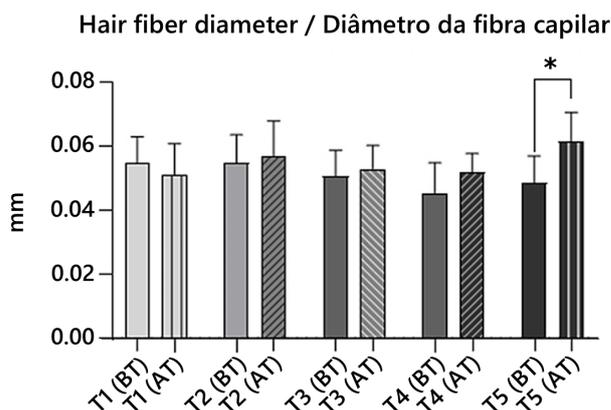


Figure 6 - Diameter analysis of the hair samples before (BT) and after (AT) treatment tresses.

*Significant differences between formulations ($p < 0.05$).

Figura 6 - Análise do diâmetro das amostras de cabelo antes (BT) e depois (AT) do tratamento.

*Diferenças significativas entre as formulações ($p < 0,05$).



and T3 maintained similar diameter values before and after treatment, suggesting no major structural alterations.

To complement the quantitative findings, Figure 7 provides representative microscopic images of the hair fibers. An additional visual comparison of the full tresses is presented in Figure 8, highlighting the changes in overall appearance before and

diâmetro semelhantes antes e depois do tratamento, sugerindo que não houve alterações estruturais importantes.

Para complementar os resultados quantitativos, a Figura 7 apresenta imagens microscópicas representativas das fibras capilares. Uma comparação visual adicional das mechas inteiras é apresentada na Figura 8, destacando as mudanças na aparência geral antes e depois do tratamento. As mechas tratadas

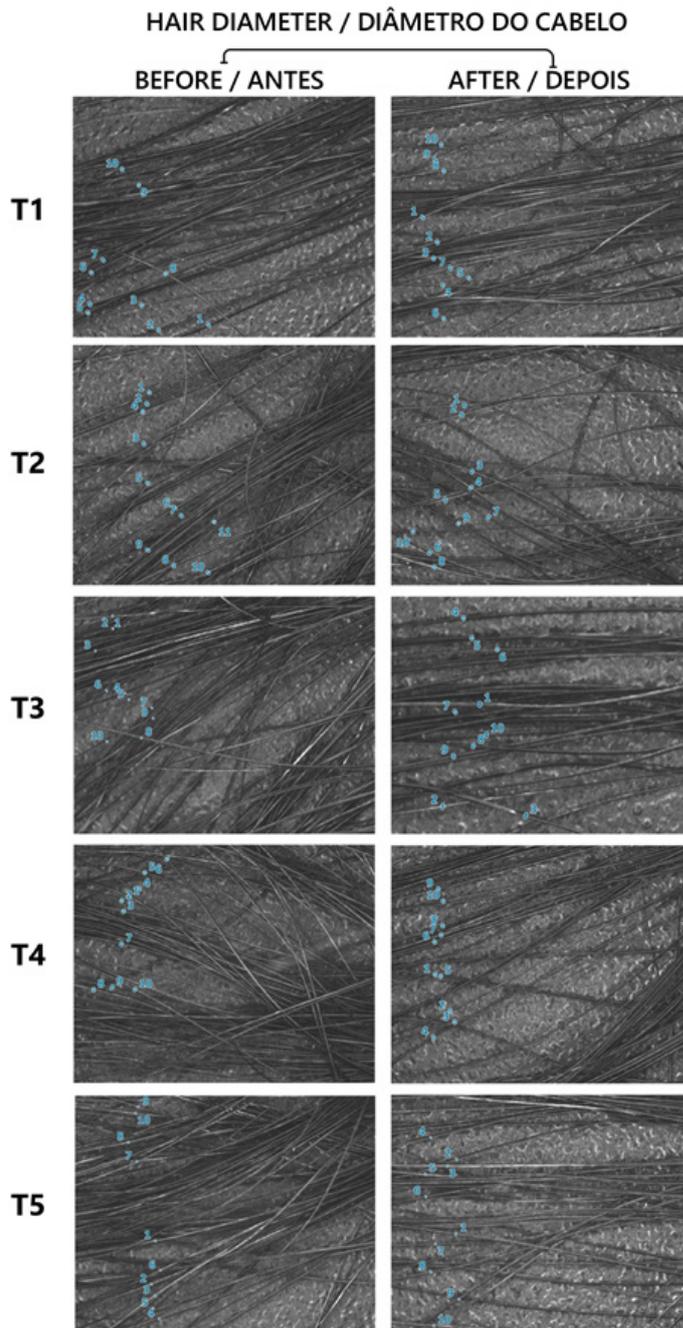


Figure 7 - Representative images of hair fiber diameter before (BT) and after (AT) treatment tresses.

Figura 7 - Imagens representativas do diâmetro da fibra capilar antes (BT) e depois (AT) do tratamento das mechas.

after treatment. Tresses treated with oil-based formulations, especially T4 and T5, showed significant improvements in curl definition, reduced frizz, and better alignment compared to untreated hair or hair treated with F1.

The hair tresses were also evaluated through a sensory perception panel, in which the participants assessed the study samples. The tresses that received the best evaluations with the highest scores (good and very good) were those treated with hair masks containing vegetable oils.

com formulações à base de óleo, especialmente T4 e T5, apresentaram melhorias significativas na definição dos cachos, redução do frizz e melhor alinhamento em comparação com os cabelos não tratados ou tratados com F1.

Os fios de cabelo também foram avaliados por meio de um painel de percepção sensorial, no qual os participantes avaliaram as amostras do estudo. Os fios que receberam as melhores avaliações, com as pontuações mais altas (bom e muito bom), foram aqueles tratados com máscaras capilares contendo óleos vegetais.

VISUAL ASSESSMENT OF THE HAIR TRESSES/ AVALIAÇÃO VISUAL DAS MECHAS DE CABELO



Figure 8 - Representative images of visual assessment before (BT) and after (AT) treatment tresses.

Figura 8 - Imagens representativas da avaliação visual dos cabelos antes (BT) e depois (AT) do tratamento.

As shown in Figure 9, the participants identified tress T4 treated with pequi oil as the one that showed the best performance of all the tresses.

Discussion

The formulations studied proved to be stable, with no phase separation and homogeneous. The pH values of formulation F1 initially fell outside the required range, with the pH being adjusted using citric acid until reaching 4.5, a substance employed to stabilize the ideal pH of the developed formulation (41). Formulations F2, F3, and F4 exhibited pH values between 4.0 and 4.5, consistent with the pH range for hair masks, which should be between 3.5 and 4.5 (42). The pH value must be compatible with the natural pH of the hair fiber, taking the isoelectric point of keratin as a reference. This point corresponds to the pH at which the protein's electrical charge is neutral, ensuring greater structural stability and better performance of hair treatments (36,42). Thus, the formulations enriched with vegetable oils from Brazilian biodiversity presented pH values compatible with hair fiber pH.

Rheological parameters are essential to functionality and can affect some aspects of the formulation, such as the mechanism of spreading on desired surfaces and sensory aspects (43). According to the results obtained, the formulations developed showed pseudoplastic behavior, which is associated with the recovery of viscosity after shear reduction (30,44).

Conforme ilustrado na Figura 9, de todas as mechas avaliadas, a mecha T4 tratada com óleo de pequi foi identificada pelas participantes como aquela que apresentou o melhor desempenho na análise.

Discussão

As formulações estudadas mostraram-se estáveis, sem separação de fases e homogêneas. Os valores de pH da formulação F1 inicialmente apresentaram valores fora da faixa requerida, sendo o pH ajustado com ácido cítrico até atingir 4,5, substância utilizada para estabilizar o pH ideal da formulação desenvolvida (41). As formulações F2, F3 e F4 apresentaram valores de pH entre 4,0 e 4,5, compatíveis com o pH para máscaras capilares, que devem estar entre 3,5 e 4,5 (42). O valor de pH deve ser compatível com o pH natural da fibra capilar, tomando como referência o ponto isoelétrico da queratina. Esse ponto corresponde ao pH no qual a carga elétrica da proteína se encontra neutra, garantindo maior estabilidade estrutural e melhor desempenho dos tratamentos capilares (36,42). Assim, as formulações enriquecidas com óleos vegetais da biodiversidade brasileira apresentaram valores de pH compatíveis com o pH da fibra capilar.

Os parâmetros reológicos são essenciais para a funcionalidade e podem afetar alguns aspectos da formulação, como o mecanismo de espalhamento nas superfícies desejadas e os aspectos sensoriais (43). De acordo com os resultados obtidos, as formulações desenvolvidas apresentaram comportamento pseudoplástico, que está associado à recuperação da viscosidade após a redução do cisalhamento (30,44).

Participants' preferred hair tresses /
Mechas de cabelo preferidas pelas participantes

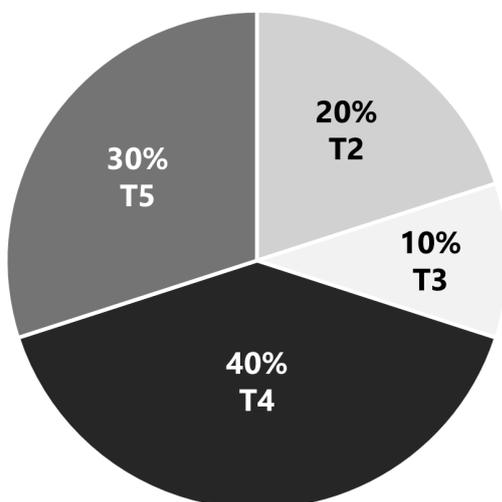


Figure 9 - Distribution of participants' preferred hair tresses.

Figura 9 - Distribuição das mechas de cabelo preferidas pelas participantes.

This study also demonstrated that formulations containing vegetable oils exhibited greater stability, contributing to emulsion stabilization. These emollients can increase the cohesion of the oil phase and the apparent viscosity of the emulsion, favoring greater formulation stability and a reduced occurrence of physical instabilities. In addition, vegetable oils can help in the formation of lamellar structures and viscoelastic networks through interactions with the emulsifying system, promoting more efficient resistance to flow and better stability at rest. Thus, the oils contributed to a balance between the consistency of emulsifying agents and emollients, which favored the stability of the emulsion studied (45). Therefore, the application of vegetable oils can also influence the rheology of cosmetic emulsions (46,47).

In addition to evaluating the behavior of the formulation, it is important to analyze the texture and spreadability parameters, which are associated with sensory and physical properties perceived by touch, allowing for a more comprehensive interpretation of the characteristics of the developed formulations. The texture and spreadability profiles are defined using physical mechanical parameters, which assist in evaluating the internal structure of formulations and the influence of active ingredients on characteristics such as work of shear, firmness, index of viscosity, consistency (31). The work of shear directly relates to the spreadability of formulations, and studies have shown that the less force required to spread the product, the better the sensory perception of the formulation's spreadability. (30,32). In this study, results showed that the addition of active substances changed the shear of work for some formulations, especially for F2, a formulation containing buriti oil. F2 presented higher shear of work, implying that more energy was required to spread the product. The parameters of firmness, consistency, and viscosity are connected to the resistance of the formula when applied to a surface, and therefore, correlate with spreadability and stickiness of the formulations (30,48). In this study, there were notable changes in the formulations containing Buriti and Pequi oils, which demonstrated their influence on improving texture properties. This factor can be associated with the presence of fatty acids in the oils. In particular, studies have shown that vegetable oils with higher

Este estudo também demonstrou que as formulações contendo óleos vegetais resultaram em maior estabilidade da formulação, contribuindo para a estabilização da emulsão com a incorporação desses emolientes. Esses emolientes podem aumentar a coesão da fase oleosa e a viscosidade aparente da emulsão, favorecendo para uma maior estabilização da formulação e menor ocorrência de instabilidades físicas. Os óleos vegetais nesse processo podem auxiliar também na formação de estruturas lamelares e redes viscoelásticas por meio de interações com o sistema emulsificante, promovendo uma resistência mais eficiente ao escoamento e melhor estabilidade em repouso. Deste modo, os óleos colaboraram para um equilíbrio entre os agentes emulsificantes de consistência e emolientes, o que favoreceu a estabilidade da emulsão estudada (45). Portanto, a aplicação de óleos vegetais também pode influenciar a reologia de emulsões cosméticas (46,47).

Além de avaliar o comportamento da formulação, é importante analisar os parâmetros de textura e espalhabilidade, que estão associados às propriedades sensoriais e físicas percebidas pelo toque, permitindo uma interpretação mais abrangente das características das formulações desenvolvidas. O perfil de textura e espalhabilidade é definido utilizando parâmetros físico-mecânicos, que auxiliam na avaliação da estrutura interna das formulações e da influência dos ingredientes ativos em características como trabalho de cisalhamento, firmeza, índice de viscosidade e consistência (31). O trabalho de cisalhamento está diretamente relacionado à espalhabilidade das formulações, os estudos mostraram que quanto menor for a força necessária para espalhar o produto, melhor a percepção sensorial da espalhabilidade da formulação (30,32). Quanto aos parâmetros de firmeza, consistência e viscosidade, estes estão relacionados à resistência da fórmula quando aplicada a uma superfície e, portanto, correlacionam-se com a espalhabilidade e a aderência das formulações (30,48). Em relação ao trabalho de cisalhamento, os resultados mostraram que a adição de substâncias ativas alterou o trabalho de cisalhamento de algumas formulações, especialmente da F2, a formulação contendo óleo de buriti, que apresentou maior trabalho de cisalhamento, implicando que mais energia foi necessária para espalhar o produto. Em relação aos parâmetros de firmeza, índice de viscosidade e consistência, houve alterações notáveis nas formulações contendo óleos de buriti e pequi, o que demonstrou sua influência na melhoria das propriedades de textura. Esse fator pode ser associado à presença de ácidos graxos nos óleos. Em particular, estudos mostram que óleos vegetais com maiores

amounts of monounsaturated fatty acids have higher viscosities, a characteristic influenced from their molecular structure, as they have only one twist in each chain, which contributes to the linearity of these sites, allowing for more effective intermolecular interactions. This means that monounsaturated fatty acids have the potential to contribute to flow resistance, helping to increase viscosity (49,50). The buriti oil has an even higher amount of monounsaturated fatty acids, particularly oleic acid, which represents more than 70% of its composition (21,24). This factor expressed in buriti oil explains the more significant increase in the firmness, consistency, index viscosity and work of shear parameters of the hair mask expressed in formulation F2. Therefore, these results can be related to the physico-mechanical properties of this oil, which imply an increase in density and molecular fluidity (51,52). Considering that a slight increase was also observed in these analytical parameters, this effect can also be attributed to the rich composition of saturated and monounsaturated fatty acids present in the pequi oil, since together they form a large part of the lipid structure, with oleic acid and palmitic acid standing out, respectively (23,53).

Beyond the study of the behavior and properties of the formulations, it is essential to assess whether they are effective for their intended application. Because this study focuses on hair care products designed for curly hair, the primary properties evaluated are the physical and mechanical factors, including hair gloss, tensile strength, and fiber diameter. Hair gloss is a surface-dependent optical property related to the way the hair fiber reflects and scatters incident light. It is directly influenced by the structure and integrity of the hair cuticle, which forms the outermost layer of the fiber (37,54). Several intrinsic and extrinsic factors can compromise this property, including cleansing habits, chemical treatments, sebum distribution, residual cosmetic products, and environmental pollutants, each of which can contribute to surface degradation (55,56). Mechanical strength is an important parameter that reflects the hair fiber's ability to resist breakage when subjected to tensile force. The higher the force required to rupture the fiber, the better the structural integrity of its cortex is preserved (38,57). The final parameter evaluated, hair fiber diameter, refers to the cross-sectional thickness

quantidades de ácidos graxos monoinsaturados apresentam viscosidades mais elevadas, uma característica influenciada por sua estrutura molecular, uma vez que possuem somente uma torção em cada cadeia, contribuindo para a linearidade desses sítios, permitindo interações intermoleculares mais eficazes. Isso significa que os ácidos graxos monoinsaturados têm o potencial de contribuir para a resistência ao fluxo, auxiliando no aumento da viscosidade (49,50). O óleo de buriti possui uma quantidade ainda maior de ácidos graxos monoinsaturados, particularmente o ácido oleico, que representa mais de 70% da composição (21,24). Esse fator presente no óleo de buriti explica o aumento mais significativo na firmeza, consistência, índice de viscosidade e parâmetros de trabalho de cisalhamento da máscara capilar expressa na formulação F2. Portanto, esses resultados podem ser relacionados às propriedades físico-mecânicas desse óleo, que implicam um aumento na densidade e fluidez molecular (51,52). Considerando que um leve aumento também foi observado nesses parâmetros analíticos, esse efeito pode ser atribuído à rica composição de ácidos graxos saturados e monoinsaturados presentes no óleo de pequi, uma vez que juntos formam grande parte da estrutura lipídica, com destaque para o ácido oleico e o ácido palmítico, respectivamente (23,53).

Além do estudo do comportamento e das propriedades da formulação, é essencial avaliar se essas formulações são eficazes para a aplicação pretendida. Como este estudo se concentra em produtos para o cuidado capilar desenvolvidos para cabelos cacheados, as principais propriedades avaliadas são os fatores físicos e mecânicos, incluindo brilho, resistência à tração e diâmetro da fibra capilar. O brilho capilar é uma propriedade óptica dependente da superfície, relacionada à forma como a fibra capilar reflete e dispersa a luz incidente. É diretamente influenciado pela estrutura e integridade da cutícula capilar, que forma a camada mais externa da fibra (37,54). Diversos fatores intrínsecos e extrínsecos podem comprometer essa propriedade, incluindo hábitos de limpeza, tratamentos químicos, distribuição de sebo, resíduos de produtos cosméticos e poluentes ambientais, cada um dos quais pode contribuir para a degradação da superfície (55,56). Em relação à resistência mecânica, trata-se de um parâmetro importante que reflete a capacidade da fibra capilar de resistir à quebra quando submetida a força de tração. Quanto maior for a força necessária para romper a fibra, melhor preservada é a integridade estrutural do seu córtex (38,57). Em relação ao último parâmetro avaliado, temos o diâmetro da fibra capilar. Este parâmetro

of the hair shaft and is commonly used to characterize its structural attributes. The diameter influences many cosmetic properties, such as perceived volume, the overall aesthetic behavior of the hair, and the mechanical strength of the fibers (37,58).

The superior results related to the physical and mechanical properties of hair observed with pequi oil and buriti oil treated tresses may be attributed to the bioactive compositions of the oils, including natural antioxidants, as well as their favorable fatty acid profile (59). These components are known to counteract free radicals and oxidative stress, which can compromise both the scalp and the hair shaft. The thickening effect may be attributed to the deposition of a protective lipid film coat around the fibers, a result of the fatty acids present in the oils (60,61).

Therefore, the improvement among the treated groups is likely related to the lipid film formed by pequi oil and buriti oil may act more efficiently as an agent of deposition on the hair surface (62-64). These properties were achieved not only through the effect of the oils, but also through the choice of formulation, with the oil being an efficient precursor agent to enhance these results. The choice of hair masks as a precursor system to oils was due to their widespread use as conditioning treatments capable of improving fiber appearance through the presence of emollients in the formulation. These formulations act at the cuticle level by reducing electrostatic charges and increasing surface lubrication through the deposition of cationic agents. This interaction minimizes fiber hydrophilicity, promoting better alignment and smoother cuticle surfaces (65,66). It is generally understood that hair masks typically contain agents that function as both anti-static and lubricating agents. Among the agents, oils are noteworthy because of their properties, thereby offering distinct advantages directly related with the improvements observed in the analyzed properties.

In terms of gloss, mechanical strength and hair fiber diameter, the improvement in this property may be linked to the deposition of oils in the surface layers of the hair fiber, as a result of the lubricating action distributed in the external areas of the cortex and cuticles (64,67). In addition, the cuticle of curly hair is compromised due to its structure, which can facilitate the penetration of compounds such as medium or long

refere-se à espessura da seção transversal da haste capilar e é comumente utilizado para caracterizar seus atributos estruturais. O diâmetro influencia diversas propriedades cosméticas, como o volume percebido, o comportamento estético geral do cabelo e também a resistência mecânica das fibras (37,58).

Os melhores resultados do estudo relacionados às propriedades físicas e mecânicas do cabelo foram observados nos fios tratados com óleo de pequi e óleo de buriti, o que pode ser atribuído à sua composição bioativa, incluindo antioxidantes naturais, bem como ao seu perfil favorável de ácidos graxos (59). Sabe-se que esses componentes neutralizam os radicais livres e o stress oxidativo, que podem comprometer tanto o couro cabeludo quanto a haste capilar. O efeito espessante pode ser atribuído à deposição de uma camada protetora de lípidos ao redor das fibras, resultado dos ácidos gordos presentes nos óleos (60,61).

Portanto, a melhoria observada nos grupos tratados provavelmente está relacionada ao filme lipídico formado pelo óleo de pequi e pelo óleo de buriti, que podem atuar de forma mais eficiente como agentes de deposição na superfície do cabelo (62-64). Essas propriedades foram alcançadas não somente pelo efeito dos óleos, mas também pela escolha da formulação, sendo o óleo um eficiente agente precursor para potencializar esses resultados. A escolha de máscaras capilares como sistema precursor para óleos se deu por seu amplo uso como tratamentos condicionadores capazes de melhorar a aparência da fibra capilar, devido à presença de emolientes na formulação. Essas formulações atuam na cutícula, reduzindo as cargas eletrostáticas e aumentando a lubrificação superficial por meio da deposição de agentes catiônicos. Essa interação minimiza a hidrofiliabilidade da fibra, promovendo melhor alinhamento e superfícies cuticulares mais lisas (65,66). É geralmente aceito que as máscaras capilares normalmente contêm agentes que funcionam tanto como antiestáticos quanto lubrificantes. Dentre os agentes, os óleos se destacam por suas propriedades, oferecendo vantagens distintas, aspectos diretamente relacionados às melhorias observadas nas propriedades analisadas.

Em termos de brilho, resistência mecânica e diâmetro da fibra capilar, a melhoria destas propriedades pode estar ligada à deposição de óleos nas camadas superficiais da fibra capilar, como resultado da ação lubrificante distribuída no córtex e nas cutículas, nas áreas externas dessas estruturas (64,67). Isso também pode estar relacionado à penetração desses compostos, como ácidos graxos, no córtex, sejam

chain fatty acids into the cortex. In the case of curly hair, there are additional structural characteristics that may inherently reduce gloss and mechanical strength, beyond those caused by environmental or mechanical stressors. In fact, the best results for these properties were found with pequi oil, which may be due to its fatty acid profile. This gives it lower viscosity and makes the formulation more spreadable, such that its composition leads to better lipid replacement in the hair fiber. Recent studies have highlighted that the presence of antioxidant compounds in vegetable oils can offer multiple benefits in hair care, including the reduction of oxidative damage, the protection of proteins and lipids, and the preservation of melanin, which may also be associated with the enhancement of mechanical strength (68,69,70). To truly assess these results, it is necessary to understand the specific needs of curly hair in order to validate the applicability of the developed product. Studies have highlighted that curly hair tends to be more porous than straight or wavy hair types, and porosity levels can vary depending on both physical and chemical influences (9,71). This increased porosity is often associated with the spiral shape of the fiber, which may hinder the uniform distribution of natural sebum along the hair shaft. As a result, curly hair typically exhibits greater dryness and reduced light reflection, which contributes to a duller appearance. However, despite observational consensus, the scientific data confirming this gloss-reducing mechanism in curly hair remains limited (10,72). Furthermore, curly hair is considered more fragile than straight hair, with varying thicknesses along the shaft. These localized weaknesses increase its susceptibility to breakage (4,73,74). In light of this, it is possible to explore the multiple benefits that vegetable oils can bring to this type of hair. Although many studies have already highlighted the differences in the composition and structure of curly hair, they have not addressed the action of compounds on this hair fiber. Therefore, further studies are needed to investigate in detail the interaction of oils with hair (74,75,76).

Accordingly, considering the attributes of vegetable oils as potential sources for the physical and mechanical properties of curly hair, the hair masks enriched with vegetable oils from Brazilian biodiversity developed with their application showed specific improvements

eles de cadeia média ou longa, visto que a cutícula do cabelo cacheado acaba sendo mais comprometida devido à estrutura desse fio, o que pode facilitar a penetração desses compostos. No caso do cabelo cacheado, existem características estruturais adicionais que podem reduzir inerentemente o brilho e a resistência mecânica, além daquelas causadas por estresses ambientais ou mecânicos. Na verdade, os melhores resultados para essas propriedades foram encontrados com o óleo de pequi, o que pode ser devido ao seu perfil de ácidos graxos. Isso lhe confere menor viscosidade e torna a formulação mais espalhável, o que significa que sua composição leva a uma melhor reposição lipídica na fibra capilar. Estudos recentes destacaram que a presença de antioxidantes em óleos vegetais pode oferecer múltiplos benefícios no cuidado capilar, incluindo a redução do dano oxidativo, a proteção de proteínas e lipídios e a preservação da melanina, o que também pode estar associado ao aumento da resistência mecânica (68,69,70). Para avaliar verdadeiramente esses resultados, é necessário compreender as necessidades específicas dos cabelos cacheados a fim de validar a aplicabilidade do produto desenvolvido. Estudos destacam que os cabelos cacheados tendem a ser mais porosos do que os cabelos lisos ou ondulados, e os níveis de porosidade podem variar dependendo de influências físicas e químicas (9,71). Essa porosidade aumentada está frequentemente associada ao formato espiral da fibra, o que pode dificultar a distribuição uniforme do sebo natural ao longo da haste capilar. Como resultado, os cabelos cacheados tipicamente apresentam maior ressecamento e menor reflexão da luz, contribuindo para uma aparência mais opaca. No entanto, apesar do consenso observacional, os dados científicos que confirmam esse mecanismo de redução do brilho em cabelos cacheados ainda são limitados (10,72). Além disso, o cabelo cacheado é considerado mais frágil do que o cabelo liso, apresentando espessuras variáveis ao longo da haste. Essas fragilidades localizadas aumentam sua suscetibilidade à quebra (4,73,74). Diante disso, é possível explorar os múltiplos benefícios que os óleos vegetais podem trazer para esse tipo de cabelo. Embora muitos estudos já tenham destacado as diferenças na composição e estrutura do cabelo cacheado, eles não abordam a ação de compostos nessa fibra capilar. Portanto, são necessários mais estudos para investigar detalhadamente a interação dos óleos com o cabelo (74,75,76).

Assim, considerando os atributos dos óleos vegetais como fontes potenciais para as propriedades físicas e mecânicas dos cabelos cacheados, as máscaras capilares enriquecidas com óleos vegetais da biodiversidade brasileira, desenvolvidas com sua

in these areas. The improvement in these parameters may be associated with the chemical properties of oils in the formulations (77). This finding highlights the potential of these formulations to enhance hair fiber integrity. In cosmetic formulations, they play a crucial role by lubricating the hair shaft, minimizing fiber wear and abrasive damage, and contributing to structural protection and restoration (63,64,77,78).

In summary, this study contributes to a better understanding of curly hair properties. However, additional studies are needed to investigate in detail the molecular interactions between vegetable oils and hair fiber, considering all types of hair, since each one has specific characteristics. In addition, the developed formulations showed results in improving the physical-mechanical properties of curly hair in the short term. Therefore, more studies are needed to evaluate the potential benefits of the formulations in improving these hair properties in the long term. Finally, studies that integrate consumer perceptions are important for a more detailed approach to their perspectives on cosmetic products available in the market, examining their expectations and unmet demands regarding existing formulations, active ingredients, and their hair type.

Conclusion

The results of hair characterization showed differences in the behavior of curly hair, demonstrating its specific needs. The proposed formulations with added vegetable oils showed favorable physicochemical and organoleptic properties, maintaining their performance after stability tests. In addition, they showed improvements in mechanical tests, reinforcing their potential for development to cater to the specific needs of curly hair.

This study highlights the importance of developing specific formulations for curly hair with innovative and sustainable active ingredients that are still under-researched. Their diverse composition of fatty

aplicação, apresentaram melhorias específicas nessas áreas. A melhora nestes parâmetros pode estar associada às propriedades químicas dos óleos nas formulações (77). Esse achado destaca o potencial dessas formulações para melhorar a integridade da fibra capilar. Em formulações cosméticas, elas desempenham um papel crucial, lubrificando a haste capilar, minimizando o desgaste e os danos abrasivos da fibra e contribuindo para a proteção e restauração estrutural (63,64,77,78).

Em síntese, este estudo contribui para um melhor entendimento das propriedades dos cabelos cacheados. No entanto, são necessários estudos adicionais para investigar em detalhe as interações moleculares entre os óleos vegetais e a fibra capilar, considerando todos os tipos de cabelo, uma vez que cada um possui características específicas. Além disso, as formulações desenvolvidas apresentaram resultados na melhora nas propriedades físico-mecânicas do cabelo cacheado em curto prazo. Dessa forma, mais estudos são necessários para avaliar potenciais benefícios das formulações na melhoria dessas propriedades dos cabelos em longo prazo. Por fim, estudos que integrem as percepções dos consumidores são importantes para uma abordagem mais detalhada de suas perspectivas em relação aos produtos cosméticos disponíveis no mercado, quais são suas expectativas e demandas não atendidas em relação às formulações existentes, os ingredientes ativos e ao seu tipo de cabelo.

Conclusão

Os resultados da caracterização dos cabelos mostraram diferenças no comportamento dos cabelos cacheados, demonstrado nas suas necessidades específicas. As formulações propostas, adicionadas com os óleos vegetais, apresentaram propriedades físico-químicas e organolépticas favoráveis, mantendo seu desempenho após os testes de estabilidade. Além disso, mostraram melhorias nos testes mecânicos, reforçando seu potencial para desenvolvimento visando atender às necessidades específicas dos cabelos cacheados.

Este estudo destaca a importância do desenvolvimento de formulações específicas para cabelos cacheados com ingredientes ativos inovadores e sustentáveis, ainda pouco explorados

acids and natural antioxidants can bring multiple benefits aimed at meeting the particularities of curly hair. Future developments will seek to evaluate these formulations on different hair types for comparative study.

Funding

The authors thank the Unified Scholarship Program of the University of São Paulo for financial support of the research (Project number: 2024-4930).

SISGEN

The activity of accessing the Genetic Heritage/CTA, under the terms below, was registered at SisGen (registration number A15D96E for using Brazilian pequi oil - *Caryocar brasiliense*) and (registration number A09ECFF for using Brazilian buriti oil - *Mauritia flexuosa*), following the provisions of Law 13.123/2015 and its regulations.

Conflict of Interest

The authors declare no conflict of interest. The editor involved in this manuscript's authorship had no participation in the review or decision process.

Authors Contributions Statement

Sarah Daniele Matos Lima contributed to data curation formal analysis, investigation, writing - original draft, Leticia Kakuda contributed to conceptualization, data curation, formal analysis, , writing - original draft and Patrícia Maria Berardo Gonçalves Maia Campos contributed to conceptualization, funding acquisition, formal analysis, project administration, supervision, validation, visualization, writing - review and editing.

em pesquisas, com sua composição diversificada de ácidos graxos e antioxidantes naturais que podem trazer múltiplos benefícios para atender às particularidades dos cabelos cacheados. Desenvolvimentos futuros buscarão avaliar essas formulações em diferentes tipos de cabelo para um estudo comparativo.

Financiamento

Os autores agradecem ao Programa de Bolsas Unificadas da Universidade de São Paulo pelo apoio financeiro à pesquisa (Projeto: 2024-4930).

SISGEN

A atividade de acesso ao Patrimônio Genético/CTA, nos termos abaixo, foi registrada no SisGen (número de registro A15D96E para uso de óleo de pequi brasileiro - *Caryocar brasiliense*) e (número de registro A09ECFF para uso de óleo de buriti brasileiro - *Mauritia flexuosa*), seguindo as disposições da Lei 13.123/2015 e seu regulamento.

Conflito de interesses

As autoras declaram não haver conflito de interesses. A editora envolvida na autoria deste manuscrito não participou no processo de revisão ou decisão.

Declaração de Contribuições das Autoras

Sarah Daniele Matos Lima contribuiu para a curadoria de dados, análise formal, investigação e redação do rascunho original, Leticia Kakuda contribuiu para a conceitualização, curadoria de dados, análise formal e redação do rascunho original, e Patrícia Maria Berardo Gonçalves Maia Campos contribuiu para a conceitualização, obtenção de financiamento, análise formal, administração do projeto, supervisão, validação, visualização e revisão e edição do texto.

References / Referências

1. Lukate, J. M., & Foster, J. L. (2023). Depending on where I am...Hair, travelling and the performance of identity among Black and mixed-race women. *British Journal of Social Psychology*, 62(1), 342-358. <https://doi.org/10.1111/bjso.12584>
2. Daniels, G., & Heitmayer, M. (2024). Taxonomy for the assessment of the subjective experience of curly hair manageability. *International Journal of Cosmetic Science*, 46(6), 1074-1087. <https://doi.org/10.1111/ics.13008>
3. Elliott, T. A., Martz, D. M., Bazzini, D. G., & Selani, S. M. (2025). She wears it? Perceived racism and colorism relate to hair texture dissatisfaction in Black women. *Psi Chi Journal of Psychological Research*, 30(3). <https://doi.org/10.24839/2325-7342.jn30.3.251>
4. Cloete, E., Khumalo, N. P., & Ngoepe, M. N. (2020). Understanding curly hair mechanics: fiber strength. *Journal of Investigative Dermatology*, 140(1), 113-120. <https://doi.org/10.1016/j.jid.2019.06.141>
5. Gaines, M. K., Page, I. Y., Miller, N. A., Greenvall, B. R., Medina, J. J., Irschick, D. J., ... & Crosby, A. J. (2023). Reimagining hair science: a new approach to classify curly hair phenotypes via new quantitative geometric and structural mechanical parameters. *Accounts of chemical research*, 56(11), 1330-1339. <https://doi.org/10.1021/acs.accounts.2c00740>
6. Berg, C. V. D., Khumalo, N. P., & Ngoepe, M. N. (2025). Quantifying whole human hair scalp fibres of varying curl: A micro-computed tomographic study. *Journal of Microscopy*, 297(2), 227-251. <https://doi.org/10.1111/jmi.13365>
7. Cloete, E., Khumalo, N. P., & Ngoepe, M. N. (2019). The what, why and how of curly hair: a review. *Proceedings of the Royal Society A*, 475(2231), 20190516. <https://doi.org/10.1098/rspa.2019.0516>
8. Oladele, D. B., Markiewicz, E., & Idowu, O. C. (2024). The genomic variation in textured hair: Implications in developing a holistic hair care routine. *Cosmetics*, 11(6), 183. <https://doi.org/10.3390/cosmetics11060183>
9. Mkentane, K., Van Wyk, J. C., Sishi, N., Gumede, F., Ngoepe, M., Davids, L. M., & Khumalo, N. P. (2017). Geometric classification of scalp hair for valid drug testing, more reliable than hair curl groups. *PLoS One*, 12(6), e0172834. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0172834>
10. de Sá Dias, T. C., Baby, A. R., Kaneko, T. M., & Robles Velasco, M. V. (2007). Relaxing/straightening of Afro-ethnic hair: historical overview. *Journal of cosmetic dermatology*, 6(1), 2-5. <https://doi.org/10.1111/j.1473-2165.2007.00294.x>
11. Ustymenko, R. (2023). Trends and innovations in cosmetic marketing. *Economics & Education*, 8(3), 12-17. <https://doi.org/10.30525/2500-946X/2023-3-2>
12. Morganti, P., Morganti, G., & Coltelli, M. B. (2021). Smart and sustainable hair products based on chitin-derived compounds. *Cosmetics*, 8(1), 20. <https://doi.org/10.3390/cosmetics8010020>
13. Fernandes, C., Medronho, B., Alves, L., & Rasteiro, M. G. (2023). On hair care physicochemistry: from structure and degradation to novel biobased conditioning agents. *Polymers*, 15(3), 608. <https://doi.org/10.3390/polym15030608>
14. da Silva, P. M., da Rocha, L. P. B., de Arruda, L. G., da Silva, B. V. S., da Silva, T. F., Costa, W. K., ... & dos Santos Correia, M. T. (2022). Natural products from the Brazilian Caatinga as a sustainable source of phytocosmetics: a review. *Research, Society and Development*, 11(17), e167111736940-e167111736940. <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i17.36940>
15. Ojha, P. K., Poudel, D. K., Rokaya, A., Maharjan, S., Timsina, S., Poudel, A., ... & Setzer, W. N. (2024). Chemical compositions and essential fatty acid analysis of selected vegetable oils and fats. *Compounds*, 4(1), 37-70. <https://doi.org/10.3390/compounds4010003>
16. Ellwanger, J. H., Nobre, C. A., & Chies, J. A. B. (2022). Brazilian biodiversity as a source of power and sustainable development: a neglected opportunity. *Sustainability*, 15(1), 482. <https://doi.org/10.3390/su15010482>
17. Miranda-Vilela, A. L., Grisolia, C. K., Longo, J. P. F., Peixoto, R. C., de Almeida, M. C., Barbosa, L. C. P., ... & Lacava, Z. G. (2014). Oil rich in carotenoids instead of vitamins C and E as a better option to reduce doxorubicin-induced damage to normal cells of Ehrlich tumor-bearing mice: hematological, toxicological and histopathological evaluations. *The Journal of nutritional biochemistry*, 25(11), 1161-1176. <https://doi.org/10.1016/j.jnutbio.2014.06.005>
18. Carneiro, C. R., Alhaji, A. M., da Silva, C. A. S., de Sousa, R. D. C. S., Monteiro, S., & Coimbra, J. S. D. R. (2023). Potential challenges of the extraction of carotenoids and fatty acids from pequi (*Caryocar brasiliense*) oil. *Foods*, 12(9), 1907. <https://doi.org/10.3390/foods12091907>
19. Kakuda, L., Maia Campos, P. M., & Oliveira, W. P. (2024). Development and efficacy evaluation of innovative cosmetic formulations with *Caryocar brasiliense* fruit pulp oil encapsulated in freeze-dried liposomes. *Pharmaceutics*, 16(5), 595. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics16050595>
20. da Silveira, P. H. P. M., Cardoso, B. F. d. A. F., Marchi, B. Z., & Monteiro, S. N. (2024). Amazon Natural Fibers for Application in Engineering Composites and Sustainable Actions: A Review. *Eng*, 5(1), 133-179. <https://doi.org/10.3390/eng5010009>
21. Barboza, N. L., dos Anjos Cruz, J. M., Corrêa, R. F., Lamarão, C. V., Lima, A. R., Inada, N. M., ... & Campelo, P. H. (2022). Buriti (*Mauritia flexuosa* L. f.): An Amazonian fruit with potential health benefits. *Food Research International*, 159, 111654. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111654>
22. Speranza, P., de Oliveira Falcao, A., Macedo, J. A., Da Silva, L. H. M., Rodrigues, A. D. C., & Macedo, G. A. (2016). Amazonian buriti oil: chemical characterization and antioxidant potential. *Grasas y Aceites*, 67(2), e135-e135. <https://doi.org/10.3989/gya.0622152>
23. Pegorin, G. S. A., Marques, M. O. M., Mayer, C. R. M., & Santos, L. (2020). Development of a phytocosmetic enriched with pequi (*Caryocar brasiliense* Cambess) oil. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 63, e20190478. <https://doi.org/10.1590/1678-4324-2020190478>
24. Marcelino, G., Hiane, P. A., Pott, A., de Oliveira Filiú, W. F., Caires, A. R., Michels, F. S., ... & de Cassia Avellaneda Guimaraes, R. (2022). Characterization of buriti (*Mauritia flexuosa*) pulp oil and the effect of its supplementation in an in vivo experimental model. *Nutrients*, 14(12), 2547. <https://doi.org/10.3390/nu14122547>
25. Pereira, T. F., Borchardt, H., Wanderley, W. F., Vasconcelos, U., & Leite, I. F. (2025). Pequi pulp (*Caryocar brasiliense*) oil-loaded emulsions as cosmetic products for topical use. *Polymers*, 17(2), 226. <https://doi.org/10.3390/polym17020226>
26. Amazon Oil. (2021). Specification of virgin pequi oil (*Caryocar brasiliense*). Amazon Oil. Retrieved November 17, 2025, from <https://amazonoil.com.br/produtos-da-floresta/pequi-cariocar-brasiliensis/>.
27. Amazon Oil. (2020). Specification of virgin buriti oil (*Mauritia flexuosa*). Amazon Oil. Retrieved November 17, 2025, from <https://amazonoil.com.br/produtos-da-floresta/buriti-mauritia-flexuosa/>.
28. Faria, E. A. D., Leles, M. I. G., Ionashiro, M., Zuppa, T. D. O., & Antoniosi Filho, N. R. (2002). Thermal stability of vegetal oils and fats by TG/DTG and DTA. *Eclética Química*, 27. <https://doi.org/10.1590/S0100-46702002000100010>

29. ANVISA. (2004) *Guia de estabilidade de produtos cosméticos* (v.1) Brazilian Health Regulatory Agency. <https://www.gov.br/anvisa/pt-br/centraisdeconteudo/publicacoes/cosmeticos/manuais-e-guias>.
30. Calixto, L. S., & Maia Campos, P. M. B. G. (2017). Physical–mechanical characterization of cosmetic formulations and correlation between instrumental measurements and sensorial properties. *International journal of cosmetic science*, 39(5), 527-534. <https://doi.org/10.1111/ics.12406>
31. Calixto, L. S., Infante, V. H. P., & Maia Campos, P. M. (2018). Design and characterization of topical formulations: correlations between instrumental and sensorial measurements. *Aaps Pharmscitech*, 19(4), 1512-1519. <https://doi.org/10.1208/s12249-018-0960-0>
32. Kakuda, L., Campos, P. M. B. G. M., Zanin, R. B., & Favaro, L. N. (2023). Development of multifunctional sunscreens: Evaluation of physico-mechanical and film-forming properties. *International Journal of Pharmaceutics*, 635, 122705. <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2023.122705>
33. Delsin, S. D., & Campos, P. M. M. (2015). Hair care formulations containing argan oil: development, stability and texture profile. *Biomedical and Biopharmaceutical Research*. <https://doi.org/10.19277/bbr.12.2.120>
34. Zito, R. A., Zanin, R. B., Kakuda, L., & Maia Campos, P. M. (2026). Tara and Red Algae Biopolymer as a Film-Forming Substance for Hair Protection. *ACS Omega*. <https://doi.org/10.1021/acsomega.5c08778>
35. Leite, M. G. A., & Maia Campos, P. M. (2018). Photoprotective effects of a multifunctional hair care formulation containing botanical extracts, vitamins, and UV filters. *Photochemistry and photobiology*, 94(5), 1010-1016. <https://doi.org/10.1111/php.12932>
36. Isnard, M. D., Costa, G. M. D. A., & Campos, P. M. B. G. M. (2019). Development of hair care formulations based on natural ingredients. *International Journal of Phytocosmetics and Natural Ingredients*, 6(1), 9. <https://doi.org/10.15171/ijpni.2019.09>
37. Velasco, M. V. R., Dias, T. C. D. S., Freitas, A. Z. D., Júnior, N. D. V., Pinto, C. A. S. D. O., Kaneko, T. M., & Baby, A. R. (2009). Hair fiber characteristics and methods to evaluate hair physical and mechanical properties. *Brazilian Journal of pharmaceutical sciences*, 45, 153-162. <https://doi.org/10.1590/S1984-82502009000100019>
38. Leite, M. G. A., & Maia Campos, P. M. B. G. (2018). Development and efficacy evaluation of hair care formulations containing vegetable oils and silicone. *IJPNI*, 5(1): 9-9. <https://doi.org/10.15171/ijpni.2018.09>
39. Courage & Khazaka electronic GmbH. (2025). Visioscan® VC 20plus: Instructions Manual. Retrieved November 18, 2025, from <https://www.courage-khazaka.com/en/scientific-products/visioscan-vc-20plus>.
40. Fossa Shirata, M. M., & Campos, P. M. (2017). Influence of UV filters on the texture profile and efficacy of a cosmetic formulation. *International journal of cosmetic science*, 39(6), 622-628. <https://doi.org/10.1111/ics.12424>
41. Lambros, M., Tran, T., Fei, Q., & Nicolaou, M. (2022). Citric acid: A multifunctional pharmaceutical excipient. *Pharmaceutics*, 14(5), 972. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics14050972>
42. Dias, M. F. R. G., de Almeida, A. M., Cecato, P. M. R., Adriano, A. R., & Pichler, J. (2014). The shampoo pH can affect the hair: myth or reality? *International journal of trichology*, 6(3), 95-99. <https://doi.org/10.4103/0974-7753.139078>
43. Derkach S. R. (2009). Rheology of emulsions. *Advances in colloid and interface science*, 151(1-2), 1–23. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2009.07.001>
44. Zhao, C., & Yang, C. (2013). Electrokinetics of non-Newtonian fluids: a review. *Advances in colloid and interface science*, 201, 94-108. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2013.09.001>
45. Santos, O. D., Morais, J. M., Andrade, F. F., Aguiar, T. A., & Rocha Filho, P. A. (2011). Development of vegetable oil emulsions with lamellar liquid-crystalline structures. *Journal of dispersion science and technology*, 32(3), 433-438. <https://doi.org/10.1080/01932691003662464>
46. Terescenco, D., Picard, C., Clemenceau, F., Grisel, M., & Savary, G. (2018). Influence of the emollient structure on the properties of cosmetic emulsion containing lamellar liquid crystals. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 536, 10-19. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2017.08.017>
47. César, F. C., & Maia Campos, P. M. (2020). Influence of vegetable oils in the rheology, texture profile and sensory properties of cosmetic formulations based on organogel. *International Journal of Cosmetic Science*, 42(5), 494-500. <https://doi.org/10.1111/ics.12654>
48. Tafuro, G., Costantini, A., Baratto, G., Busata, L., & Semenzato, A. (2019). Rheological and textural characterization of acrylic polymer water dispersions for cosmetic use. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 58(51), 23549-23558. <https://doi.org/10.1021/acs.iecr.9b05319>
49. Kaneko, F., Yano, J., & Sato, K. (1998). Diversity in the fatty-acid conformation and chain packing of cis-unsaturated lipids. *Current opinion in structural biology*, 8(4), 417-425. [https://doi.org/10.1016/S0959-440X\(98\)80117-6](https://doi.org/10.1016/S0959-440X(98)80117-6)
50. Yalcin, H., Toker, O. S., & Dogan, M. (2012). Effect of oil type and fatty acid composition on dynamic and steady shear rheology of vegetable oils. *Journal of oleo science*, 61(4), 181-187. <https://doi.org/10.5650/jos.61.181>
51. Freitas, M. L. F., Chisté, R. C., Polachini, T. C., Sardella, L. A. C. Z., Aranha, C. P. M., Ribeiro, A. P. B., & Nicoletti, V. R. (2017). Quality characteristics and thermal behavior of buriti (*Mauritia flexuosa* L.) oil. *Grasas y aceites*, 68(4), e220-e220. <https://doi.org/10.3989/gya.0557171>
52. Silva, D. S., Arrudas, S. R., Morais-Costa, F., Nunes, Y. R. F., Rodrigues, M. T. O. S., Lacerda, G. A., ... & Fidêncio, P. H. (2022). Influence of refining on the properties of buriti oil (*Mauritia flexuosa* Lf). *Research, Society and Development*, 11(16), e195111637009-e195111637009. <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i16.37009>
53. Torres, L. R. O., Santana, F. C., Shinagawa, F. B., & Mancini-Filho, J. (2018). Bioactive compounds and functional potential of pequi (*Caryocar* spp.), a native Brazilian fruit: a review. *Grasas y Aceites*, 69(2), e257-e257. <https://doi.org/10.3989/gya.1222172>
54. Jiang, Y., Xu, Z., Qiu, Y., & Zheng, X. (2023). Comparative study of instrumental measurement and sensory evaluation methods for the repairing effect of mildly damaged hair bundles. *Skin Research and Technology*, 29(7), e13394. <https://doi.org/10.1111/srt.13394>
55. Tokunaga, S., Tanamachi, H., & Ishikawa, K. Degradation of hair surface: importance of 18-MEA and epicuticle. *Cosmetics*. 2019; 6 (2): 31. <https://doi.org/10.3390/cosmetics6020031>
56. Puccetti, G., & Kulcsar, L. (2020). Hair surface quality: Laser scattering as a tool for characterizing the surface condition and deposits from shampoos and conditioners. *International Journal of Cosmetic Science*, 42(1), 89-98. <https://doi.org/10.1111/ics.12590>
57. Yu, Y., Yang, W., Wang, B., & Meyers, M. A. (2017). Structure and mechanical behavior of human hair. *Materials Science and Engineering: C*, 73, 152-163. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2016.12.008>
58. Erik, B., Havtcioglu, H., Aktan, S., & Karakus, N. (2008). Biomechanical properties of human hair with different parameters. *Skin research and Technology*, 14(2), 147-151. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0846.2007.00268.x>

59. Fernández, E., Martínez-Teipel, B., Armengol, R., Barba, C., & Coderch, L. (2012). Efficacy of antioxidants in human hair. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 117, 146-156. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2012.09.009>
60. Sureka, P., Agrawal, T., Majumder, S., & Ritambhara, K. (2022). A method to measure oil penetration into hair and correlation to tensile strength. *International Journal of Trichology*, 14(4), 128-134. https://doi.org/10.4103/ijt.ijt_122_20
61. Csuka, D. A., Csuka, E. A., Juhász, M. L., Sharma, A. N., & Mesinkovska, N. A. (2023). A systematic review on the lipid composition of human hair. *International Journal of Dermatology*, 62(3), 404-415. <https://doi.org/10.1111/ijd.16109>
62. Ferreira, B. S., De Almeida, C. G., Faza, L. P., De Almeida, A., Diniz, C. G., da Silva, V. L., ... & Le Hyaric, M. (2011). Comparative properties of amazonian oils obtained by different extraction methods. *Molecules*, 16(7), 5875-5885. <https://doi.org/10.3390/molecules16075875>
63. Fregonesi, A., Scanavez, C., Santos, L., De Oliveira, A., Roesler, R., Escudeiro, C., ... & Gesztesi, J. L. (2010). Brazilian oils and butters: The effect of different fatty acid chain composition on human hair physiochemical properties. *International Journal of Cosmetic Science*, 32(2), 160-160. https://doi.org/10.1111/j.1468-2494.2010.00534_16.x
64. Lourenço, C. B., Gasparin, R. M., Thomaz, F. M., Grimaldi, R., Paiva-Santos, A. C., & Mazzola, P. G. (2024). Penetration of vegetable oils into textured hair fibers: integrating molecular matrix assisted laser desorption ionization time-of-flight mass spectrometry (MALDI TOF/TOF MS) analysis with mechanical measurements. *Cosmetics*, 11(6), 212. <https://doi.org/10.3390/cosmetics1106021>
65. Robbins, C.R. (2012). *Chemical and Physical Behavior of Human Hair* (5th ed.) Springer.
66. Dias, M. F. R. G. (2015). Hair cosmetics: an overview. *International journal of trichology*, 7(1), 2-15. <https://doi.org/10.4103/0974-7753.153450>
67. Lourenço, C. B., Gasparin, R. M., Thomaz, F. M., da Silva, G. C., Martin, A. A., Paiva-Santos, A. C., & Mazzola, P. G. (2024). Impact of hair damage on the penetration profile of coconut, avocado, and argan oils into Caucasian hair fibers. *Cosmetics*, 11(2), 64. <https://doi.org/10.3390/cosmetics11020064>
68. Davis, M. G., Piliang, M. P., Bergfeld, W. F., Caterino, T. L., Fisher, B. K., Sacha, J. P., ... & Schwartz, J. R. (2021). Scalp application of antioxidants improves scalp condition and reduces hair shedding in a 24-week randomized, double-blind, placebo-controlled clinical trial. *International Journal of Cosmetic Science*, 43, S14-S25. <https://doi.org/10.1111/ics.12734>
69. Xu, C., Dai, J., Du, W., & Ji, H. (2024). Antioxidant Properties of Platycladus orientalis Flavonoids for Treating UV-Induced Damage in Androgenetic Alopecia Hair. *Molecules*, 29(12), 2876. <https://doi.org/10.3390/molecules29122876>
70. Choi, H. Y., Lee, Y. J., Kim, C. M., & Lee, Y. M. (2024). Revolutionizing cosmetic ingredients: harnessing the power of antioxidants, probiotics, plant extracts, and peptides in personal and skin care products. *Cosmetics*, 11(5), 157. <https://doi.org/10.3390/cosmetics11050157>
71. Mantuan Gasparin, R., Botelho Lourenço, C., & Ricci Leonardi, G. (2025). Porosity and resistance of textured hair: Assessing chemical and physical damage under consumer-relevant conditions. *Cosmetics*, 12(3), 93. <https://doi.org/10.3390/cosmetics12030093>
72. Cruz, C. F., Costa, C., Gomes, A. C., Matamá, T., & Cavaco-Paulo, A. (2016). Human hair and the impact of cosmetic procedures: A review on cleansing and shape-modulating cosmetics. *Cosmetics*, 3(3), 26. <https://doi.org/10.3390/cosmetics3030026>
73. Evans, T. A. (2010). Fatigue testing of hair—A statistical approach to hair breakage. *International Journal of Cosmetic Science*, 32(4), 313-313. https://doi.org/10.1111/j.1468-2494.2010.00580_2.x
74. Aguh, C.; Okoye, G.A. (2017) *Fundamentals of Ethnic Hair, the Dermatologist's Perspective*; Springer International Publishing.
75. Thibaut, S., Barbarat, P., Leroy, F., & Bernard, B. A. (2007). Human hair keratin network and curvature. *International journal of dermatology*, 46, 7-10. <https://doi.org/10.1111/j.1365-4632.2007.03454.x>
76. Seshadri, I. P., & Bhushan, B. (2008). Effect of ethnicity and treatments on in situ tensile response and morphological changes of human hair characterized by atomic force microscopy. *Acta materialia*, 56(14), 3585-3597. <https://doi.org/10.1016/j.actamat.2008.03.039>
77. Funasaki, M., Barroso, H. D. S., Fernandes, V. L. A., & Menezes, I. S. (2016). Amazon rainforest cosmetics: chemical approach for quality control. *Química Nova*, 39(2), 194-209. <https://doi.org/10.5935/0100-4042.20160008>
78. Grassi, L. T., Grassi, V. M. T., Neto, L. P. M., de Almeida, R. M., da Silva, G. C., Zepeda, C. A. T., ... & Martin, A. A. (2024). Unveiling the potential of confocal raman spectroscopy in the analysis of oil permeation in human hair fibers. *Research on Biomedical Engineering*, 40(3), 781-792. <https://doi.org/10.1007/s42600-024-00379-y>