



Surgical & Cosmetic Dermatology

www.surgicalcosmetic.org.br/

Atualização na avaliação da fibra capilar

Update on hair fiber assessment

DOI: <http://www.dx.doi.org/10.5935/scd1984-8773.2024160265>

RESUMO

Os danos causados por procedimentos químicos, físicos e térmicos podem alterar as características morfológicas naturais do cabelo e levar a uma má qualidade da fibra, fazendo com que os fios fiquem secos, sem brilho, fracos e quebradiços. O objetivo deste artigo é atualizar o dermatologista quanto às formas de avaliação disponíveis para compreensão dos danos da haste capilar. Foram apresentadas as principais metodologias diagnósticas laboratoriais (microscopia, tração à ruptura, avaliação estrutural, propriedades físicas e mecânicas) e ambulatoriais (provas diagnósticas e anamnese) para avaliação da qualidade da haste capilar.

Palavras-chave: Cabelo; Dermatologia; Queratinas.

ABSTRACT

Damage caused by chemical, physical, and thermal procedures can disrupt the natural morphological characteristics of the hair, causing the strands to become dry, dull, weak, and brittle. The objective of this article was to update dermatologists on the methods available for assessing hair shaft damage. The main laboratory (microscopy, tensile strength, structural assessment, physical and mechanical properties) and outpatient (diagnostic tests and patient history) diagnostic methods for evaluating the quality of the hair shaft are presented.

Keywords: Hair; Dermatology; Keratins.

Artigo de revisão

Autores:

Tércio Elyan Azevedo Martins^{1,2,3}
Andressa Costa de Oliveira²
Beatriz Regazzi de Gusmão⁴
Alexandre de Almeida Filippo⁴
Fabiane Mulinari-Brenner⁵

- ¹ Universidade Santo Amaro, Faculdade de Farmácia, São Paulo (SP), Brasil.
- ² Universidade de São Paulo, Departamento de Farmácia, Faculdade de Ciências Farmacêuticas, São Paulo (SP), Brasil.
- ³ Universidade Paulista, Farmácia e Estética/Cosmética, São Paulo (SP), Brasil.
- ⁴ AF Instituto Dermatológico, Centro de Estudos em Dermatologia, Rio de Janeiro (RJ), Brasil.
- ⁵ Hospital das Clínicas, Universidade Federal do Paraná, Departamento de Dermatologia, Curitiba (PR), Brasil.

Correspondência:

Fabiane Mulinari Brenner
E-mail: fmbrenner@ufpr.br/
terciomartins@yahoo.com.br

Fonte de financiamento: Nenhuma.

Conflito de interesses: Nenhum.

Data de Submissão: 01/06/2023

Decisão final: 18/01/2024

Como citar este artigo:

Martins TEA, Oliveira AC, Gusmão BR, Filippo AA, Brenner FM. Atualização na avaliação da fibra capilar. Surg Cosmet Dermatol. 2024;16:e20240265.



INTRODUÇÃO

O estudo dos cabelos foi uma das áreas de Dermatologia mais impactadas pelo avanço das técnicas diagnósticas nos últimos 20 anos. A compreensão das alterações do couro cabeludo e da haste capilar promoveu um grande desenvolvimento no diagnóstico e nas abordagens terapêuticas. Novas entidades foram reconhecidas e reclassificadas com a dermatoscopia e os novos cortes histológicos transversais aplicados ao couro cabeludo.¹ O cabelo possui múltiplas funções, principalmente proteção física, isolamento térmico, camuflagem, dispersão sebácea e percepção sensorial. Na sociedade humana atual, ele interfere na qualidade de vida, na atratividade e na autoestima.²

O objetivo desta revisão é atualizar o dermatologista quanto às metodologias diagnósticas laboratoriais e ambulatoriais da haste capilar. A avaliação das características microscópicas, dermatoscópicas, bioquímicas e moleculares da fibra capilar permite uma melhor compreensão dos processos biológicos relacionados ao processo de envelhecimento, distúrbios da queratinização da haste, dano externo por tratamentos químicos e capacidade de recuperação por tratamentos estéticos.³

Estrutura capilar

A fibra capilar é extremamente resistente e possui três constituintes morfológicos principais: cutícula, córtex e, em alguns casos, a medula (Figura 1). Estruturas planas sobrepostas, semelhantes a escamas, circundam o núcleo central da fibra, como uma camada protetora espessa e quimicamente resistente chamada cutícula. A cutícula possui a função de proteger o córtex de danos ambientais externos.⁴

A proteção da haste capilar contra danos ambientais e químicos inicia-se pela aderência e organização das células cuticulares. Uma camada protetora espessa e quimicamente resistente é responsável pelas características de brilho, resistência e penteabilidade da haste. A cutícula humana possui cerca de seis a oito camadas e é constituída especialmente de células queratinizadas (80%), lipídios estruturais e proteínas associadas à queratina com alto teor de enxofre.⁵ Quanto maior o alinhamento e integridade das cutículas, melhores serão as características de maciez, brilho e *frizz*. As camadas cuticulares são classificadas em epicutícula, mais externa e hidrofóbica, seguida pela exocutícula,

com a maior massa (55%), e a endocutícula, com capacidade de absorção da água.^{5,6}

O córtex é responsável pela maior parte da massa da fibra capilar (75%) e desempenha um papel significativo na determinação da força intrínseca e resistência mecânica da fibra. As alfa-hélices proteicas no córtex são mantidas por meio de ligações químicas como ligações iônicas, de hidrogênio, de Van der Waal e pontes de dissulfeto. Nessa região, estão os grânulos de melanina que conferem as características de cor do cabelo.⁷ O complexo de membrana cuticular (CMC), responsável pela coesão entre as células corticais e da medula, é rico em ácido 18-metil eicosanoico (18-MEA), conferindo hidrofobicidade ao cabelo e lubrificação com redução da fricção entre as fibras capilares.^{8,9} A redução deste lipídio está relacionada à degradação da fibra capilar e perda proteica.

Mais internamente, e nem sempre presente, encontra-se a medula, um vacúolo celular localizado na parte central da fibra capilar. Várias pesquisas correlacionam a presença da medula ao aumento do diâmetro capilar. Estruturalmente, as células medulares são células corticais juntamente com melanossomas.^{7,10}

Avaliação capilar

A fibra capilar é produzida pelo folículo piloso e qualquer alteração no folículo pode repercutir na sua estrutura e qualidade.¹¹ Na avaliação rotineira ambulatorial, as hastes capilares podem sofrer alterações externas e internas por diversos fatores (Tabela 1).

A fibra capilar pode ser avaliada por diversos métodos clínicos e laboratoriais. Os métodos clínicos têm finalidade diagnóstica no tratamento das alterações da haste, permitindo a avaliação dermatológica ambulatorial. Eles permitem avaliação das queixas de haste capilar por fatores internos e externos. São realizados no exame dermatológico rotineiro que inclui anamnese, exame físico (teste de tração), dermatoscopia e o teste rápido de perda proteica (também considerado teste laboratorial).¹²

Os métodos laboratoriais permitem a identificação de danos e da resposta a produtos cosméticos na fibra capilar e podem ser realizados tanto em fios de cabelo quanto em mechas padronizadas. Esses métodos são utilizados como parâmetros no

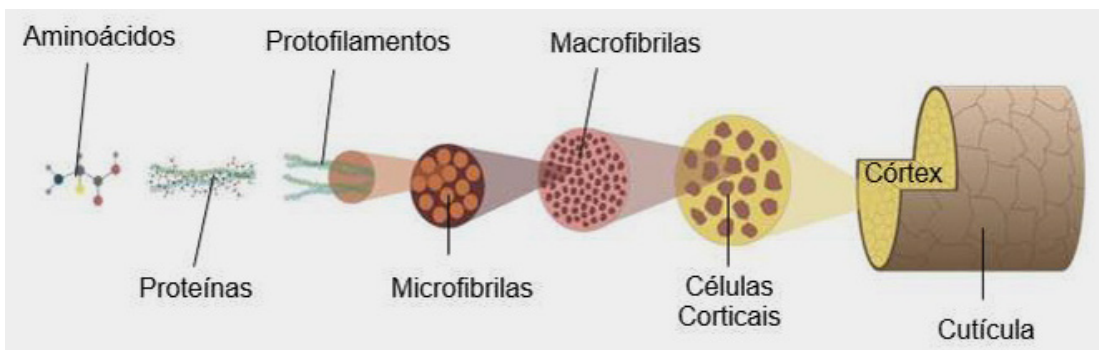


FIGURA 1: Estrutura folicular e seus componentes

TABELA 1: Fatores externos e internos indutores de alterações da haste

Externos	Internos
<ul style="list-style-type: none"> • Intemperismo: radiação ultravioleta, sal e imersão em água, exposição a produtos de limpeza, exposição à poluição e tabagismo. • Danos térmicos: secador, chapinha (piastra), <i>babyliss</i> e escova rotatória. • Danos físicos: pentear, tração de penteados especiais, escova rotativa. • Danos químicos: tinturas, descolorantes, permanentes e alisantes. 	<ul style="list-style-type: none"> • Doenças inflamatórias do couro cabeludo: psoríase e dermatite seborreica. Doenças do folículo piloso: <i>alopecia areata</i>, líquen plano pilar e foliculite decalvante. • Uso de medicamentos quimioterápicos: acitretina, valproato. • Doenças sistêmicas: metabólicas e carenciais. • Tabagismo. • Deficiências nutricionais: oligoelementos, proteínas e nutrientes.

desenvolvimento de produtos pela indústria cosmética, pois permitem avaliar características físicas e químicas da haste e graduar danos externos promovidos por agentes danos.^{13,14} Eles incluem as diversas formas de microscopia, aliadas à tomografia de coerência óptica, que avaliam visualmente a estrutura da haste. As técnicas de espectroscopia, avaliação da perda proteica e quantificação de triptofano que avaliam a haste do ponto de vista estrutural. A avaliação de cor e brilho, análises termogravimétricas, medição de resistência mecânica (tração), penteabilidade e elasticidade avaliam as propriedades físicas da haste.^{4,14,15}

Métodos ambulatoriais

Clinicamente, a haste capilar pode ser avaliada por meio da exploração das propriedades macroscópicas via exame clínico, desde a raiz até a extremidade distal. Quanto mais longo o fio, maiores as exposições aos danos externos. Uma série de fatores está envolvida no desenvolvimento das alterações de haste. O diagnóstico correto pode ser complexo e requer uma história clínica detalhada, especialmente focada nos cuidados rotineiros de higiene, tratamentos químicos, uso de fontes de calor para secagem e exposições ambientais diárias. Características epidemiológicas, como idade e sexo, devem ser consideradas nesta avaliação.

A anamnese deve abordar o início, a duração e a natureza da queixa; história pessoal e familiar, uso de cosméticos inadequados, medicamentos (quimioterápicos, retinoides, dentre outros) e restrições dietéticas. Durante o exame, deve-se avaliar outras áreas pilosas, como sobrancelhas e pelos corporais, que podem apresentar alterações nas doenças sistêmicas e tricodistrofias. O exame das unhas pode auxiliar no diagnóstico das distrofia neuroectodérmicas e das alopecias inflamatórias.¹⁶

Provas diagnósticas

Ao identificar a queda excessiva por meio da contagem dos cabelos desprendidos diariamente, os fios de cabelo coletados podem ser analisados por meio de microscópio e classificados de acordo com o diâmetro, indicando possíveis danos à fibra.^{11,17}

O teste de puxão do cabelo (TUG Test) é uma técnica simples, realizada para avaliar a fragilidade do cabelo. Um grupo

de fios de cabelo é preso e com a outra mão uma força de puxar deve ser executada a partir da extremidade da haste do cabelo. A quebra da haste capilar durante o teste indica cabelos frágeis e anormalidades na haste capilar.^{16,17}

Para melhor compreensão da velocidade de crescimento pode ser realizada raspagem de uma pequena área do couro cabeludo que funciona como uma janela de crescimento. O crescimento esperado é de cerca de 0,3cm em uma semana, ou seja, uma média de 1,0cm ao mês. As taxas de crescimento variam entre as raças: o cabelo afro tem a taxa de crescimento mais lenta (0,9cm/mês), o cabelo caucasiano cresce a uma taxa de cerca de 1,2cm por mês e o cabelo asiático supera os outros tipos, com uma taxa de crescimento de 1,3cm por mês.¹⁸

O uso da dermatoscopia no couro cabeludo foi incorporado na prática diária pela sua praticidade e potencial de minimizar a necessidade de exames invasivos. Ela é útil em diversas doenças, desde pediculose e anomalias da haste capilar até na diferenciação de alopecias cicatriciais e não cicatriciais. Pode ser realizada pelo dermatoscópio tradicional com luz polarizada, por videodermatoscópio com luz polarizada ou em associação à análise computadorizada do fio.^{18,19}

O dermatoscópio tradicional, de 10 aumentos, é usado na rotina dermatológica; entretanto, os achados nessa modalidade são limitados no estudo da haste. O exame dermatoscópico da haste capilar pode ser realizado com ou sem a aplicação de gel com aumentos de até 300x. A tricoscopia sem imersão tem se mostrado útil para analisar características distais como fraturas e outras desordens da haste, como a tricorrexe nodosa.^{18,19}

Alterações da haste capilar podem ser evidenciadas pelo tricograma. Esta técnica avalia com facilidade a proporção de fios velos e terminais e a densidade capilar, sendo útil para o seguimento e avaliação da resposta terapêutica dos pacientes.^{18,19}

É crucial detectar a primeira alteração na proteína para evitar mudanças mais drásticas nas propriedades do cabelo. Sugerir sua proteção possibilitaria também a

preservação das propriedades físicas do cabelo, como resistência e elasticidade, contra exposição prejudicial diária.²⁰

Uma nova metodologia disponível é o teste rápido de perda proteica que utiliza um reagente cromogênico para quan-

tificação da proteína total. Ela baseia-se numa conversão de íons que fornecem o resultado baseado em uma escala colorimétrica de acordo com a quantidade de proteínas extraídas do cabelo do paciente em apenas 25 minutos.^{21,22} Este teste vem sendo adotado como uma técnica por prática de avaliação da haste capilar, criando novas possibilidades ao médico, permitindo um diagnóstico adequado da haste capilar,^{21,22} e direcionando a tratamentos mais específicos.

Todas estas avaliações clínicas podem ser complementadas pelas avaliações ambulatoriais, estudo histopatológico das hastes capilares e pela biópsia de couro cabeludo para uma avaliação geral do sistema capilar do paciente.

Avaliação laboratorial

Atualmente, existem diversas técnicas laboratoriais que podem ser utilizadas para avaliar a qualidade e as condições da fibra capilar. A microscopia aliada à tomografia de coerência óptica permitem o estudo visual da estrutura da haste. A espectroscopia e os métodos de avaliação proteica avaliam a haste do ponto de vista estrutural. Estudos de cor, brilho, análises termogravimétricas e medição de resistência mecânica (tração à ruptura), penteabilidade e elasticidade permitem estabelecer uma correlação com as propriedades físicas da haste.^{5,14,15}

A rotina de danos externos da haste pode afetar suas propriedades mecânicas e estruturais promovendo o enfraquecimento da fibra capilar.⁵ A exposição cumulativa a estes fatores leva à desnaturação da queratina, à degradação dos componentes do córtex, ao rearranjo das ligações dissulfeto e à redução da resistência pela perda de proteína cortical resultando, assim, em

alterações dos testes laboratoriais.¹⁴

Os exames microscópicos e de tomografia apresentam avaliações subjetivas, no entanto apresentam vantagens como o uso de mechas de cabelo e padronização dos ensaios. A tabela 2 apresenta dados quanto às características e aos objetivos dos exames microscópicos disponíveis em ambiente laboratorial para avaliar a fibra dos cabelos e os seus danos relacionados.

Avaliação estrutural

A estrutura da haste capilar é composta principalmente de proteínas, fornecendo resistência à fibra. No córtex, elas compõem 80% da massa do fio de cabelo. Os métodos espectroscópicos e de avaliação da perda proteica permitem correlação estrutural com a haste capilar.^{5,15} Atualmente, diversos métodos são sugeridos com a finalidade de quantificar a proteína do cabelo; no entanto, não existe um método considerado universal. Os métodos espectroscópicos são baseados na absorção e na emissão de radiação eletromagnética das moléculas, que ocorre pelo movimento dos elétrons entre seus níveis de energia.²⁸ Os métodos espectrofotométricos estão descritos na tabela 3 e tem como objetivo principal avaliar danos da haste por tratamentos químicos e desgaste físico. Eles permitem determinar a redução da resistência à tração do cabelo humano após tratamentos químicos que modificam a forma do fio, as alterações cronológicas da queratina na fibra do cabelo virgem com os processos do envelhecimento; a influência de tratamentos químicos que promovem redução, aquecimento e oxidação na queratina do cabelo; e a estrutura da haste do cabelo branco (canice) virgem que foi submetido ao processo de alisamento permanente.^{5,7,29}

TABELA 2: Métodos microscópicos e tomografia utilizados na avaliação capilar

Método	Visualização	Fim
Microscopia convencional	Superficial de forma aumentada (20 a 70 vezes). Associada à luz polarizada, facilita visualização de alterações estruturais. ⁶	Danos de cutícula da fibra capilar. Permite avaliação da espessura da fibra e observação ocasional da medula. ⁶
Microscopia eletrônica de varredura (MEV)	Superficial da fibra por meio de varredura ampliada de 250 a 5.000 vezes com feixes de elétrons focalizados. ^{13,23}	Topografia e composição da superfície da amostra. Acúmulo de partículas em camadas externas da fibra e incorporação de ativos cosméticos. Alterações estruturais e morfológicas da fibra. ²³
Microscopia eletrônica de transmissão (TEM)	Transmissão de feixes de elétrons em amostra ultrafina. Interação dos constituintes da amostra à medida que passa por ela. ^{6,24}	Estruturas finas e de alterações morfológicas das fibras capilares. ²⁴
Microscopia de força atômica (MFA)	Varredura superficial da amostra com resolução atômica. ²⁵	Tensão da fibra e deposição de partículas, alterações estruturais e morfológicas da fibra. ^{11,25}
Tomografia de coerência óptica (TCO)	Alta resolução de estruturas internas por secção. ^{8,26,27}	Microestruturas internas da haste e mudanças na morfologia e estrutura da fibra danificada. ^{26,27}

Tabela 3: Métodos espectrofotométricos e suas características

Método	Características da técnica	Objetivos
Infravermelho (IR)	Absorção de radiação infravermelha (700 e 50.000nm) do espectro eletromagnético. ²⁸	Avaliar propriedades físicas e modificações na estrutura e morfologia da fibra do cabelo. ⁹
Raman	Técnica fotônica de alta resolução com medição direta da energia por meio da oscilação da emissão de fótons. ²⁸	Dados químicos e morfológicos da fibra. Avalia indiretamente resistência à tração do cabelo e perda da proteína da haste. ^{7,28,29}
Fotoluminescência	Absorção da iluminação por fotoexcitação. Elétrons em estados estruturais diferentes se excitam de formas variadas. ²⁹	Danos por fotodegradação. Degradação de estruturas internas do cabelo pela radiação solar e efeitos de cosméticos fotoprotetores. ³⁰
Reflexão difusa	Reflectância de energia e coeficiente de absorção e de espalhamento da amostra. ¹²	Avaliar brilho e cor da fibra capilar, virgem ou alterada por produtos capilares. ^{5,15,31}

TABELA 4: Métodos baseados na perda de proteínas e aminoácidos, suas características e limitações

Método	Características da técnica	Limitações aos resultados
Lowry ¹⁴	Reação de redução em uma proteína previamente tratada com cobre em meio alcalino. O cobre se liga aos aminoácidos liberados por cavitação formando uma solução azul.	Interferência de lipídios, tensoativos, sulfato de amônio e etanol. Tioglicolato de amônio e ácido tioglicólico, em meio alcalino, alteram a reação.
Bradford ¹⁵	Ligação entre a proteína de alto peso molecular e o corante Coomassie, liberado por aquecimento.	A qualidade do corante pode interferir na reação: absorvidade e grau de pureza do corante.
BCA ¹⁴	Redução dos aminoácidos liberados do cabelo por cavitação com o íon cobre formando uma reação colorimétrica.	Agentes redutores (resíduos no cabelo) podem gerar resultados inadequados.
Quantificação de triptofano ³¹	Digestão alcalina com degradação da estrutura proteica e liberação do aminoácido triptofano.	Teste útil para avaliação de desgaste da radiação ultravioleta, mas pouco sensível a outros desgastes.
Eletroforese de proteínas ³³	Frações de proteínas são isoladas pela migração no gel de acordo com carga elétrica e peso molecular.	Apesar do baixo custo de realização, dificuldades técnicas podem levar a resultados inespecíficos.

Pode ser aplicada em pesquisas capilares quando se deseja analisar propriedades físicas, como ação de hidratante, modificações na estrutura e na morfologia da fibra do cabelo promovidas por tratamentos como clareamento e a pigmentação de cabelo.¹⁴⁻¹⁶ Outra aplicação da técnica é o estudo dos efeitos da radiação solar na degradação das estruturas internas do cabelo ou ainda na eficiência do uso de cosméticos fotoprotetores capilares.^{29,30}

A exposição da fibra capilar a agressões físicas ou químicas a torna suscetível a uma grande quantidade de alterações estruturais, inclusive em sua composição proteica. Com a perda

de massa cortical, ocorrem alterações estéticas, como porosidade, frizz e redução de resistência. A perda proteica pode ser avaliada por diversos ensaios quantitativos de aminoácidos e proteínas extraídas do cabelo.^{15,32}

O sucesso ou fracasso na quantificação de proteínas depende da qualidade do processo analítico utilizado para a caracterização das amostras. A tabela 4 apresenta os principais métodos de quantificação de proteínas e aminoácidos da fibra capilar (Figura 2).

TABELA 5: Métodos de análise das propriedades físicas e mecânicas da fibra capilar

Métodos	Características da técnica	Objetivos
Análises térmicas	Avaliam as propriedades físicas da amostra em um programa controlado de temperatura e tempo em condições específicas. Os diferenciais podem ser obtidos por: termogravimetria, calorimetria exploratória ou termomecânica. ³⁴	Identificar a presença e quantificar benefícios dos protetores térmicos capilares. ^{35,36}
Difração de raios X	Identifica estruturas cristalinas presentes na amostra, podendo distinguir entre diversos componentes. ³⁴	Identificar alterações estruturais ocorridas nas fibras por desgaste. ³²
Penteabilidade e fricção	Avaliar a resistência das fibras frente ao atrito. ²⁵	Definir qualidade da fibra e organização das cutículas. Avalia maciez, brilho e frizz. ²⁵
Resistência à tensão	Quantificar as propriedades elásticas e plásticas da fibra, por meio de uma força de tensão exercida. ³⁶	Observar resistência das fibras capilares. Indica as condições das células cuticulares e corticais. ^{37,14,15}
Brilho	Observar o direcionamento da luz dissipada. ^{5,38}	Identifica a qualidade e organização das células cuticulares. ³⁸

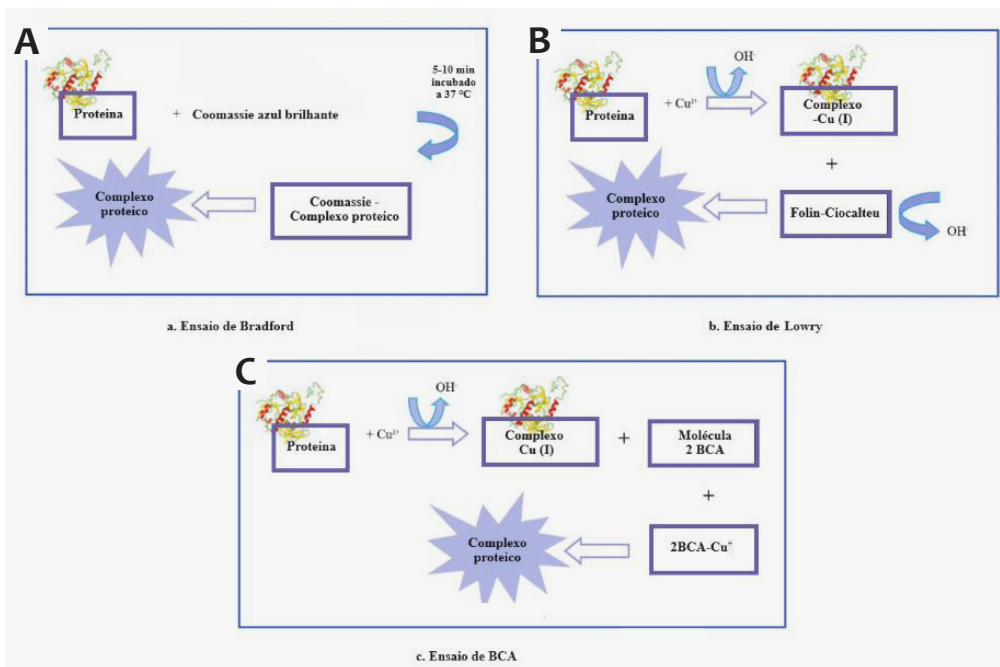


FIGURA 2: Características dos testes de perda proteica.
a) Bradford;
b) Lowry;
c) BCA

Propriedades físicas e mecânicas

A resistência mecânica da fibra capilar pode ser avaliada por meio de métodos baseados em suas propriedades elásticas e plásticas, utilizando uma força de tensão. A plasticidade da fibra capilar permite a extensão de cerca de 2% do seu comprimento original. Com a continuidade da carga exercida na fibra, tem-se início a fase plástica, e o cabelo estica aproximadamente 25 a 30% do comprimento antes de se romper.³⁴⁻³⁶ A tabela 5 resume os métodos de análise física da fibra capilar.

CONCLUSÃO

O artigo apresenta as principais técnicas de avaliação da fibra capilar utilizadas pela indústria cosmética e centros de pesquisa, ainda pouco acessíveis e conhecidas pela área dermatológica.

Atualmente, novas tecnologias têm se destacado na área dermatológica ambulatorial, complementando a avaliação e o diagnóstico da saúde dos fios, permitindo a melhor compreensão dos distúrbios e danos da haste capilar, direcionando a tratamentos mais específicos e eficazes. ●

REFERÊNCIAS:

- Schneider MR, Schmidt-Ullrich R, Paus R. The hair follicle is a dynamic miniorgan. *Curr Biol*. 2009;19(3):R132-R142.
- Hoover E, Alhaji M, Flores JM. *Physiology, Hair*. Treasure Island: StatPearls; 2022.
- Richena M. Efeitos da irradiação na morfologia e estrutura do cabelo. [Tese]. Campinas: Universidade Estadual de Campinas; 2015.
- Cruz CF, Costa C, Gomes AC, Matamá T, Cavaco-Paulo A. Human hair and the impact of cosmetic procedures: a review on cleansing and shape-modulating cosmetics. *Cosmet*. 2016;3(26):103390.
- Velasco MVR, Dias TCS, Freitas AZ, Júnior NDV, Pinto CASO, Kaneko TM, et al. Hair fiber characteristics and methods to evaluate hair physical and mechanical properties. *Braz J Pharm Sci*. 2009;45(1):153-62.
- Lee SY, Choi AR, Baek JH, Kim HO, Shin MK, Koh JS. Twelve-point scale grading system of scanning electron microscopic examination to investigate subtle changes in damaged hair surface. *Skin Res and Technol*. 2016;22(4):406-11.
- Wagner R, Joekes I. Hair medulla morphology and mechanical properties. *J Cosmet Sci*. 2007;58(4):359-68.
- Bhushan B. Nanoscale characterization of human hair and hair conditioners. *Prog Mat Sci*. 2008;53(4):585-710.
- Wei G, Bhushan B, Torgerson PM. Nanomechanical characterization of human hair using nanoindentation and SEM. *Ultramicroscopy*. 2005;105(1-4):248-66.
- Sakai M, Kikuchi K, Fujii M. Quaternary and secondary structural imaging of a human hair by a VSFG-detected IR super-resolution microscope. *Chem Phys*. 2013;419:261-5.
- Koch SL, Tridico SR, Bernard BA, Shriver MD, Jablonski NG. The biology of human hair: a multidisciplinary review. *Am J Hum Biol*. 2020;32(2):e23316.
- Camargo FB, Minami MM, Rossan MR, Magalhães WV, Ferreira VTP, Campos PM BGM. Prevention of chemically induced hair damage by means of treatment based on proteins and polysaccharides. *J Cosmet Dermatol*. 2022;21(2):827-35.
- Santos JD, Edwards H, Oliveira LD. Raman spectroscopy and electronic microscopy structural studies of Caucasian and Afro human hair. *Helvion*. 2019;5(5):e01582.
- Gama RM, Baby AR, Velasco MVR. In vitro methodologies to evaluate the effects of hair care products on hair fiber. *Cosmetics*. 2017;4(2):1-10.
- Sá-Dias TC, Baby AR, Kaneko TM, Velasco MVR. Protective effect of conditioning agents on Afro-ethnic hair chemically treated with thioglycolate-based straightening emulsion. *J Cosmet Dermatol*. 2008;7(2):120-6.
- Mubki T, Rudnicka L, Olszewska M, Shapiro J. Evaluation and diagnosis of the hair loss patient: Part I. History and clinical examination. *J Am Acad Dermatol*. 2014;71(3):415.e1-415.e15.
- Cheng AS, Bayliss SJ. The genetics of hair shaft disorders. *J Am Acad Dermatol*. 2008;59(1):1-22.
- Burgess C, Roberts W, Downie J, Kera M, Kogan S, Belpulsi D. A closer look at a multi-targeted approach to hair loss in African American women. *J Drugs Dermatol*. 2020;19(1):95-8.
- Kibar M. Trichoscopy and Trichogram. In: Kutlubay Z, Serdaroglu S, editors. *Hair and Scalp Disorders*. InTech; 2017. p.81-101.
- Tubia C, Fernández-Botello A, Dupont J, Gómez E, Desroches J, Attia J, et al. A new Ex Vivo model to evaluate the hair protective effect of a biomimetic Exopolysaccharide against water pollution. *Cosmet*. 2020;7(4):78.
- Martins TEA, Werner B, Filippo A, Regazzi B, Mulinari-Brenner FM. Proceedings of the 25th Congress on Dermatology and Aesthetic & Plastic; 2023 Jan 26-28; Paris, France. Rapid protein loss test as a guide to hair damage.
- Mulinari-Brenner F, Regazzi B, Filippo A, Martins T, editors. Proceedings of the 25th Congress on Dermatology and Aesthetic & Plastic; 2023; Paris, France. Analysis of protein loss as a marker of broad hair shaft damage: evaluation by Lowry and rapid (RPLT) tests.
- Duarte LC, Juchen PL, Pulz GM, Brum TM, Chodur N, Liccardo A, et al. Aplicações de microscopia eletrônica de varredura (MEV) e sistema de energia dispersiva (EDS) no estudo de gemas: exemplos brasileiros. *Pesquisas Geociências*. 2003;30(2):3-15.
- Sasaki K, Murata H, Kuroda K, Saka H. Conventional transmission electron microscope observation of electric and magnetic fields. In: Maaz K, editor. *The Transmission Electron Microscope*. Croatia: InTech Open; 2012. p.1-27.
- Latorre C, Bhushan B. Investigation of scale effects and directionality dependence on friction and adhesion of human hair using AFM and macroscale friction test apparatus. *Ultramicroscopy*. 2006;106(8):720-34.
- Freitas AZ, Amaral MM, Raelle MP. Optical coherence tomography: development and applications. In: Duarte FJ, editor. *Laser Pulse Phenomena and Applications*. Croatia: InTech Open; 2010. p. 409-32.
- Velasco MVR, Abreu SRP, Freitas AZ, Bedin V, Baby AR, Gama RM. Optical coherence tomography to evaluate the effects of oxidative hair dye on the fiber. *Skin Res Technol*. 2016;22(1):430-6.
- Rodrigues AG, Galzerani JC. Espectroscopias de infravermelho, raman e de fotoluminescência: potencialidades e complementaridades. *Rev Bras Ensino Fis*. 2012;34(1):1-9.
- Kuzuhara A. Internal structural changes in keratin fibres resulting from combined hair waving and stress relaxation treatments: A Raman spectroscopic investigation. *Int J Cosmet Sci*. 2016;(38):201-209.
- Miyamae Y, Yamakawa Y, Ozaki Y. Evaluation of physical properties of human hair by diffuse reflectance near-infrared spectroscopy. *Appl. Spectrosc*. 2007, 61, 212-7.
- Dario MF, Freire TB, Pinto CASO, Prado MAS, Baby AR, Velasco MVR. Tryptophan and kynurenine determination in human hair by liquid chromatography. *J Chrom B*. 2017;1066(2):59-62.
- França-Stefoni AS, Dari MF, Sá-Dias TC, Bedin V, Almeida AJ, Baby AR, et al. Protein loss in human hair from combination straightening and coloring treatments. *J Cosmet Dermatol*. 2015;14(1):204-8.
- Westermeier R, Gronau S, Becket P, et al. *Electrophoresis in Practice: A guide to methods and applications of DNA and protein separations*. Germany: Wiley; 2005. p.427
- Lima CRRC, Almeida MM, Velasco MVR, Matos JR. Thermoanalytical characterization study of hair from different ethnicities. *J Therm Anal Calorim*. 2016;123(1):2321-8.
- Dario MF, Pahl R, Castro JR, Lima FS, Kaneko TM, Pinto CASO, et al. Efficacy of *Punica granatum* L. hydroalcoholic extract on properties of dyed hair exposed to UVA radiation. *J Photochem Photobiol B Biol*. 2013;120(1):142-7.
- Velasco MVR, Balogh TS, Kagiya JW, Dario MF, Gama RM, Bedin V, et al. Influence of Brazilian vegetable oils on mechanical resistance of hair fiber. *Biomed Biopharm Res*. 2015; 12(1): 99-106.
- Robbins CR, Crawford RJ. Cuticle damage and the tensile properties of human hair. *J Soc Cosmet Chem*. 1991; 42(1):49-58.

CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES:

Tércio Elyan Azevedo Martins  ORCID 0000-0002-7111-1029

Aprovação da versão final do manuscrito; concepção e planejamento do estudo; elaboração e redação do manuscrito; revisão crítica da literatura.

Andressa Costa de Oliveira  ORCID 0000-0001-8859-5835

Aprovação da versão final do manuscrito; concepção e planejamento do estudo; elaboração e redação do manuscrito; revisão crítica da literatura; revisão crítica do manuscrito.

Beatriz Regazzi de Gusmão  ORCID 0000-0001-6390-9447

Elaboração e redação do manuscrito; obtenção, análise e interpretação dos dados.

Alexandre de Almeida Filippo  ORCID 0000-0001-9550-5156

Elaboração e redação do manuscrito; obtenção, análise e interpretação dos dados.

Fabiane Mulinari Brenner  ORCID 0000-0001-7970-522X

Aprovação da versão final do manuscrito; elaboração e redação do manuscrito; participação efetiva na orientação da pesquisa; revisão crítica da literatura; revisão crítica do manuscrito.