

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE QUÍMICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM QUÍMICA

Ana Carolina Longoni de Castro Vicente

**ESTUDO DE CASO: QUÍMICA CAPILAR, AVALIAÇÃO POR MICROSCOPIA
ÓPTICA E INFRAVERMELHO EM PROCEDIMENTOS DE DESCOLORAÇÃO**

Porto Alegre, Dezembro de 2023.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE QUÍMICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM QUÍMICA

Ana Carolina Longoni de Castro Vicente

**ESTUDO DE CASO: QUÍMICA CAPILAR, AVALIAÇÃO POR MICROSCOPIA
ÓPTICA E INFRAVERMELHO EM PROCEDIMENTOS DE DESCOLORAÇÃO**

Dissertação apresentada como requisito parcial para
a obtenção do grau de Mestre em Química.

Orientador: Prof. Dr. Aloir Antonio Merlo

Porto Alegre, Dezembro de 2023.

Dedico este trabalho a todos os profissionais da área da beleza.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, e aos meus guias espirituais por todos os ensinamentos que tive ao longo deste trabalho. Este trabalho contribui para minha evolução pessoal, profissional e com toda certeza para minha evolução e maturidade espiritual.

Ao meu marido Guilherme Moura Henrique, que me apoiou a retomar os estudos, me dando apoio incondicional nos momentos difíceis que passamos ao longo desse projeto, com toda certeza foram esses momentos que demonstraram o quão forte é o nosso relacionamento e o quão bom é termos um ao outro de abrigo.

À minha mãe Andrea por estar sempre me apoiando e me ajudando nos momentos em que achei que não fosse conseguir, tu és um exemplo de mulher, força e amorosidade.

À minha amada vó por todos os puxões de orelhas e súplicas ao meu retorno aos estudos e ao meio acadêmico, obrigada.

Ao meu pai que mesmo estando distante esteve sempre em oração por mim, me ajudando sempre nos momentos em que precisei.

Aos meus amigos Lucas Medeiros e Ivana Christ por me proporcionarem momentos de risadas, conversas aleatórias, e incentivo ao término do meu trabalho. Se me resta alguma sanidade mental é graças a esses momentos.

Ao meu amigo Eduardo Vasconcelos por toda sua ajuda a este trabalho como aquisição de softwares, ajuda em editais, conversas e conselhos sobre o trabalho.

À professora Irene Garcia por ter sido grande incentivadora para o término do mestrado, e principalmente por me incentivar a esta área de pesquisa.

Ao meu orientador Aloir pela oportunidade de ser aluna, me direcionado quanto ao projeto e por toda sua paciência.

Ao PPGQ-UFRGS pela estrutura, ao LAMAT e ao servidor Júlio por ter me auxiliado nas análises e incentivado. As agências de fomento à pesquisa.

Agradeço a todos que contribuíram para este trabalho de forma direta ou indireta.

RESUMO

Nesta dissertação, investigamos a estrutura química e morfologia dos fios de cabelo antes e após tratamentos comuns em salões de beleza, especialmente em processos de descoloração. Analisamos diversos fios expostos a diferentes oxidantes e ao uso de protetores químicos, conhecidos como plex. A pesquisa teve como foco compreender a influência do poder oxidante e do uso desses protetores nos processos de descoloração. Utilizamos técnicas experimentais, incluindo inspeção visual, microscopia de luz polarizada e espectroscopia de infravermelho. Os resultados revelaram lacunas na exploração dessa vasta área da química capilar, destacando a escassez de estudos recentes. Notavelmente, a micrografia de luz polarizada emergiu como uma ferramenta valiosa, evidenciando danos nas camadas cuticulares e a redução da birrefringência com desnaturação da fibra capilar. Este trabalho contribui para preencher uma lacuna significativa no entendimento dos efeitos desses tratamentos químicos nos fios de cabelo.

Palavras chaves: Química capilar, Descoloração capilar, Estrutura dos fios de cabelo, Morfologia capilar, Oxidantes, Protetores químicos (plex), Micrografia de luz polarizada, Espectroscopia de infravermelho, Tratamentos de rotina em salões de beleza, Danos capilares.

ABSTRACT

This dissertation investigates the chemical structure and morphology of hair strands before and after common salon treatments, focusing on the process of hair bleaching. Various hair strands were analyzed after exposure to different oxidizing agents and the application of chemical protectors known as "plex." The research aimed to understand the influence of oxidative power and the use of these chemical protectors in bleaching processes. Experimental techniques, including visual inspection, polarized light microscopy, and infrared spectroscopy, were employed. The results revealed gaps in the exploration of this extensive field of hair chemistry, emphasizing a scarcity of recent studies. Significantly, polarized light microscopy emerged as a valuable tool, demonstrating damage to cuticular layers and a decrease in birefringence due to fiber denaturation. This work contributes to filling a significant gap in understanding the effects of these chemical treatments on hair strands.

Keywords: Hair chemistry, Hair bleaching, Hair structure, Hair morphology, Oxidizing agents, Chemical protectors (plex), Polarized light microscopy, Infrared spectroscopy, Salon routine treatments, Hair damage.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Diagrama esquemático de uma seção transversal de um ser humano fibra capilar.	15
Figura 2: Fibras capilares de diferentes espécies de mamíferos. No canto superior esquerdo, temos uma MEV (Microscopia Eletrônica de Varredura) de um bigode de gato (1510 X). No canto superior direito, uma MEV de uma fibra de cabelo humano (1000 X). No canto inferior esquerdo, uma MEV de uma fibra de lã (2000 X). No canto inferior direito, uma MEV de seções de uma fibra da cauda de cavalo (400 X).16	
Fonte: Robbins, 2012.....	16
Figura 4: Estrutura molecular dos principais aminoácidos presentes nos cabelos com heterociclos em sua estrutura.....	19
Fonte: Confeccionada pela autora.	19
Figura 6: Ligação de dissulfeto entre os aminoácidos dos cabelos:	21
Figura 8: Ligação Inônica entre aminoácidos dos cabelos:	22
Figura 10: Cabelo natural, com a camada cuticular saudável.	24
Figura 11: Cabelo que sofreu ação oxidativa no procedimento de descoloração.....	24
Figura 14: MEV de um cabelo partido. Observe fragmentos de células corticais.	26
Figura 15: MEV de células corticais de uma fibra de cabelo humano. A partir de um cabelo partido.	27
Figura 16: Oxidação dos grupos sulfetos para sulfônicos.	30
Figura 17: Faixa de ondas eletromagnéticas.	31
Figura 18: A reação usando o intermediário primário PFD. Mecanismo de reação A na presença do acoplador (resorcinol) resultando no corante desejado. Mecanismo de reação B pode ocorrer na ausência de acoplador, resultando na formação da base de Bandrowski.....	33
Figura 19: Íons diiminium (IX) ou quinonimium (X).....	34
Figura 25: Hidrólise ácido aspártico.....	40
Figura 26: Hidrólise alcalina da ligação peptídica.	40
Figura 29: Estruturas moleculares do tioglicolato de amônia, ácido tioglicólico, tioglicolato de monoetanolamina e ácido tiolático.	43
Figura 31: Foto das amostras A1S1-1, A1S1-2, A1S1-3 acompanhada das micrografias obtidas com microscópio de luz polarizada com ampliação de 100, 200 e 10µm utilizando lente polarizadas.....	50

Figura 32: Espectro de infravermelho das amostras A1S0, A1S1-1, A1S1-2 e A1S1-3.	51
Figura 56: Espectro de infravermelho do aminoácido Prolina.	62
Fonte: Imagem confeccionada pela autora.	63
Figura 58: Espectro de infravermelho do aminoácido Isoleucina.	63
Figura 60: Espectros no infravermelho entre a Cisteína (preto) e a Cistina (vermelho).	66
Figura 61: Espectro Infravermelho das amostras A3S0, A3S1-1, A3S1-2, A3S1-3 em transmitância.....	66

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Aminoácidos nos cabelos humanos inalterados ^a (micromol por grama de cabelo seco).....	19
Tabela 2: Composição de aminoácidos das diferentes estruturas morfológicas do cabelo.	25
Tabela 3: Principais bandas atribuídas utilizando espectroscopia de infravermelho da Cisteína.	65
Tabela 4: Principais bandas atribuídas utilizando espectroscopia de infravermelho da Cistina.	65

GLOSSÁRIO DE TERMOS CABELEIREIROS:

Fibra Capilar: Estrutura do cabelo, composta por cutícula, córtex e medula.

Descoloração: Processo químico para remover a cor natural dos fios.

Plex Capilar: Sistema de proteção capilar utilizado durante procedimentos químicos para minimizar danos.

Volume de Água Oxigenada: Indica a concentração de peróxido de hidrogênio, usado em descolorações e tinturas.

Teste de Mechas: Avaliação preliminar da reação do cabelo a produtos químicos.

Córtex Capilar: Camada intermediária da fibra capilar, responsável pela resistência e elasticidade.

Morfologia Capilar: Estudo da forma e estrutura dos cabelos.

Permanente: Processo para alterar a forma natural do cabelo, geralmente utilizando substâncias químicas.

Alisamento Capilar: Procedimento para suavizar ou eliminar ondulações dos fios.

Cuidados Pós-Química: Medidas tomadas após procedimentos químicos para preservar a saúde dos cabelos.

Produtos Incompatíveis: Substâncias químicas que não devem ser misturadas devido a reações adversas.

Etnia Capilar: Consideração da origem étnica ao tratar e estilizar cabelos.

Volumagem: Indicação do volume de peróxido de hidrogênio em uma mistura para descoloração.

Maturação dos Fios: Estado de desenvolvimento e envelhecimento dos cabelos.

Transformação de Visual: Mudança planejada na aparência do cabelo.

Camada de Proteção da Fibra: Barreira externa que preserva a integridade da fibra capilar.

Tintura Capilar: Processo de coloração dos fios.

Aminoácidos Capilares: Componentes essenciais para a saúde e fortalecimento dos cabelos.

Luzes: Técnica de coloração que cria mechas mais claras, proporcionando luminosidade ao cabelo.

Babyliss: Ferramenta para criar ondas ou cachos nos fios.

Balayage: Técnica de coloração que cria efeitos degradê para um visual mais natural.

Reflexos: Mechas mais claras ou mais escuras aplicadas para adicionar dimensão à cor do cabelo.

Nuances de Cor: Variações sutis na tonalidade da cor, proporcionando um aspecto mais natural.

Corte Químico: Dano severo aos cabelos causado por excesso de produtos químicos, resultando em quebra ou perda de fios.

Reconstrução Capilar: Processo de restauração da fibra capilar danificada, utilizando produtos específicos.

Nutrição Capilar: Aporte de nutrientes essenciais para a saúde e vitalidade dos cabelos.

Hidratação Capilar: Processo para repor a umidade natural dos fios, mantendo-os saudáveis.

Nanoqueratinização: Tratamento capilar que utiliza partículas de queratina em dimensões nanométricas para fortalecer a fibra.

Queratinização: Processo que repõe a queratina perdida nos fios, fortalecendo e melhorando sua estrutura.

Selagem Capilar: Procedimento para fechar as cutículas dos fios, proporcionando brilho e reduzindo o frizz.

Botox Capilar: Tratamento que visa revitalizar os cabelos, proporcionando brilho e reduzindo o volume.

Progressiva: Técnica de alisamento capilar que reduz o volume e frizz dos fios.

Escova Definitiva: Procedimento permanente para alisar os cabelos de forma duradoura.

Acidificação Capilar: Utilização de produtos ácidos para equilibrar o pH dos fios, conferindo brilho e saúde.

Observação: No contexto cabeleireiro, os termos relacionados a processos químicos frequentemente se referem a transformações de cor e forma dos cabelos.

SUMÁRIO

1 Introdução.....	12
1.1 Apresentação do Problema de Pesquisa	13
1. Objetivo Central: Estudo Detalhado da Influência dos Processos de Descoloração em Fios de Cabelo	14
Glossário de Termos Cabeleireiros:	9
2 Cabelo, Estrutura e ciclo de crescimento	15
2.1 Composição química	17
2.2 Estrutura e Composição Química da Cutícula, Córtex, Medula e Complexo da Membrana Celular	23
3 Shampoo e condicionadores	28
3.1 Classificação dos shampoos	29
3.2 Ligações iônicas com o cabelo	29
4 MUDANÇA DE COR.....	31
4.1 Corantes permanentes.....	33
4.2 Corantes semipermanentes	35
4.3 Corantes Temporários	36
4.6 Descoloração	38
5 Mudanças de forma	42
6 Metodologia.....	46
7 Resultados e discussões.....	49
8 Conclusão	67
Referências:	68

1 INTRODUÇÃO

O mercado da beleza, com ênfase no segmento de cabelos, é um setor que movimentava bilhões de dólares anualmente pelo mundo, devido à importância que os cabelos exercem. De acordo com Dawber (1997), eles têm a função de proteção do couro cabeludo contra agressões diversas, incluindo traumatismos mecânicos e queimaduras por exposição às radiações solares. São também considerados um complemento estético, com potencial influência sobre a autoestima, aspectos psicológicos e, inclusive, sensuais das pessoas. O ser humano já utiliza os cabelos como adorno desde os tempos mais remotos, muitas vezes para transmitir uma nova ideia e/ou personalidade.¹

A química da estética capilar compreende a aplicação de processos químicos na busca pela beleza e transformação dos cabelos. Desde as práticas mais simples, como lavar e condicionar, até procedimentos mais complexos, como alisamento e coloração, essa abordagem visa entender e aprimorar as transformações químicas que ocorrem nos fios capilares, proporcionando resultados estéticos desejados. Dentro do segmento da estética capilar, direcionado aos profissionais da beleza, a prática não se limita apenas à estética, mas também integra a arte e ciência do cabelo, envolvendo terapia capilar e estilismo. Dessa forma, a estética capilar abraça uma perspectiva abrangente, visando não apenas o embelezamento, mas também a compreensão dos aspectos terapêuticos e artísticos envolvidos nos cuidados capilares.^{2,3,4}

Observa-se que a estética capilar é um dos setores que, mesmo em tempos de crise, continua a crescer, perdendo apenas para o setor da tecnologia. No ano de 2020, apenas nos Estados Unidos, o setor vendeu mais de 57 bilhões de dólares e gerou mais de 3,7 bilhões de dólares em impostos aos cofres americanos. No Reino Unido, o mesmo setor, em 2019, por meio do relatório de valor econômico do Hair and Barber Council e da British Association of Beauty Therapy & Cosmetology (BABTAC), verificou que a indústria de cabelos e beleza vale £ 6,6 bilhões para a economia do país, correspondendo a 8% do setor de varejo do Reino Unido. Mesmo em meio à crise do Covid-19, o mercado global de coloração de cabelo, era estimado em US\$ 23,2 bilhões no ano de 2020 e deverá atingir um tamanho revisado de US\$ 36,1 bilhões até 2027, apresentando um crescimento de 6,5% no período de 2020-2027.^{5,6}

Atualmente, os profissionais cabeleireiros contam com uma ampla variedade de produtos e equipamentos que otimizam a eficiência de suas atividades. O crescente interesse no cuidado capilar tornou disponíveis produtos em diversas faixas de preços e composições químicas.

Isso sugere que, embora as mulheres possam ajustar a frequência ou até mesmo escolher produtos mais acessíveis, o compromisso com o cuidado dos cabelos permanece inalterado. Este nicho, demonstrando uma notável ascensão, reflete-se no aumento do interesse de consumo por parte da população, transcendendo gêneros e faixas etárias. Este fenômeno tem impulsionado a expansão do número de profissionais cabeleireiros dedicados a esta área, evidenciando a sua importância e relevância no cenário atual.⁷

Destaca-se que a estética capilar está presente em todas as intervenções relacionadas aos cabelos, desde um simples corte até o uso de produtos que promovem alterações químicas nos fios. O emprego inadequado e excessivo desses produtos pode acarretar uma série de implicações, tais como reações alérgicas, queda capilar e, em alguns casos, contribuir para o desenvolvimento de certos tipos de câncer.⁸

É notável que homens, mulheres e crianças são influenciados pelos padrões elevados de beleza difundidos pela mídia e pelas redes sociais. A pressão para se adequar a critérios estéticos muitas vezes irrealistas é uma realidade que permeia diferentes grupos da sociedade. Contudo, é crucial observar que o consumo excessivo de produtos de estética capilar frequentemente se revela desnecessário.⁸

1.1 Apresentação do Problema de Pesquisa

Para atingir a estética desejada, os rituais de consumo desempenham um papel crucial, atuando como elementos direcionados à obtenção dessa recompensa. Os rituais de consumo estético relacionados aos cabelos das mulheres não apenas contribuem para a expressão individual, mas também possibilitam a construção de uma identidade de grupo. Nesse contexto, a importância do cabelo é evidenciada, influenciando a forma como homens, mulheres e crianças se percebem e, conseqüentemente, moldando a autoimagem dentro da cultura em que estão inseridos.

Atualmente, observa-se uma ampla variedade de transformações capilares, que vão desde penteados sofisticados até uma diversidade de cores que refletem a personalidade de cada indivíduo. As opções incluem tons vibrantes ou neutros, bem como modificações na estrutura, proporcionando fios lisos ou cacheados. Além disso, surgem tratamentos inovadores que propõem técnicas como renaturalização das proteínas estruturais do cabelo, nanoqueratinização, cristalização, reconstrução, hidratação, cauterização, reposição de aminoácidos, entre outros. Este cenário reflete a evolução constante nas opções disponíveis para a expressão individual e cuidado capilar.^{9,10,11}

Os procedimentos voltados para a alteração da forma e cor dos fios, representam um desafio ao fragilizar a fibra capilar, removendo sua camada de proteção e eliminando proteínas e aminoácidos essenciais. A compreensão da etnia, maturação dos fios e interação entre diferentes produtos químicos, juntamente com o cuidado necessário para evitar danos pós-química, torna-se crucial. Em meio à diversidade de produtos, técnicas e procedimentos para cabelos, a pergunta central desta pesquisa indaga: Como os cabeleireiros conduzem os processos, considerando a estrutura química e morfologia dos cabelos, e de que forma os fios se comportam após esses procedimentos? ^{12, 13}

A transformação desejada nos cabelos ao longo da história sempre foi um anseio, mas historicamente, muitas pessoas enfrentaram riscos devido à falta de informação. Este trabalho visa estudar os efeitos de descolorações, analisando a influência dos produtos comercialmente conhecidos como plex e a volumagem da água oxigenada usada durante os processos, por meio das técnicas de microscopia de luz polarizada e espectroscopia de infravermelho. A conscientização sobre os riscos associados a procedimentos capilares, como permanentes, alisamentos e tinturas, é crucial. A falta de teste de mechas e o uso de produtos incompatíveis podem comprometer o córtex da fibra capilar, alterando suas propriedades físicas. Além disso, a pesquisa busca contribuir para a caracterização precisa das mudanças nos fios de cabelo antes e após procedimentos estéticos químicos, promovendo práticas mais seguras e conscientes na área da beleza.

1. Objetivo Central: Estudo Detalhado da Influência dos Processos de Descoloração em Fios de Cabelo

1.1 Investigar a estrutura química e morfologia dos fios de cabelo antes e após o processo de descoloração.

1.2 Avaliar o comportamento dos fios após processos químicos, especialmente descolorações, analisando a influência do plex e a volumagem da água oxigenada usada durante os processos.

1.3 Utilizar técnicas de micrografia de luz polarizada e espectroscopia de infravermelho para análise dos fios antes e depois da descoloração.

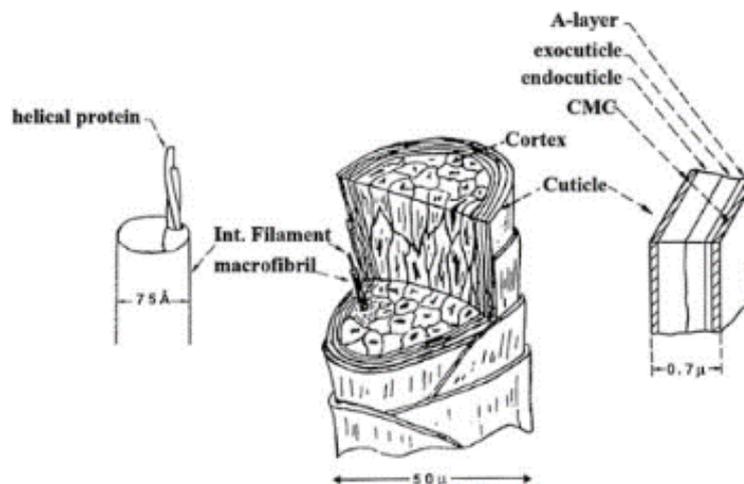
1.4 Realizar revisão da literatura para contextualizar a pesquisa no panorama atual de cuidados capilares.

2 CABELO, ESTRUTURA E CICLO DE CRESCIMENTO

O cabelo é formado por três camadas: cutículas, córtex e medula. A superfície capilar é composta por camadas sobrepostas de fibras que se parecem com escamas de peixe, principalmente feitas de queratina e lipídios, chamadas cutícula. Esta camada é responsável por proteger o córtex, que é a parte do cabelo com mais massa. O córtex é formado por filamentos de queratinas do tipo I e II, alinhados ao eixo da fibra. A membrana celular, ou cimento celular como também é chamado, funciona como uma "cola" que mantém as células unidas, é uma estrutura laminar, composta por lipídios e proteínas estruturais. As interações entre essas moléculas e suas estruturas determinam a formação, formato e cor do cabelo.

O cabelo cresce a partir do folículo piloso, que se estende pela epiderme, na camada mais externa chamada estrato córneo. Na Figura 1 abaixo, podemos observar a estrutura. O cabelo tem funções sensoriais, protetivas e de atração sexual, sendo comum em todos os mamíferos, com maior concentração na cabeça humana..^{2,3, 14,15,17}

Figura 1: Diagrama esquemático de uma seção transversal de um ser humano fibra capilar.

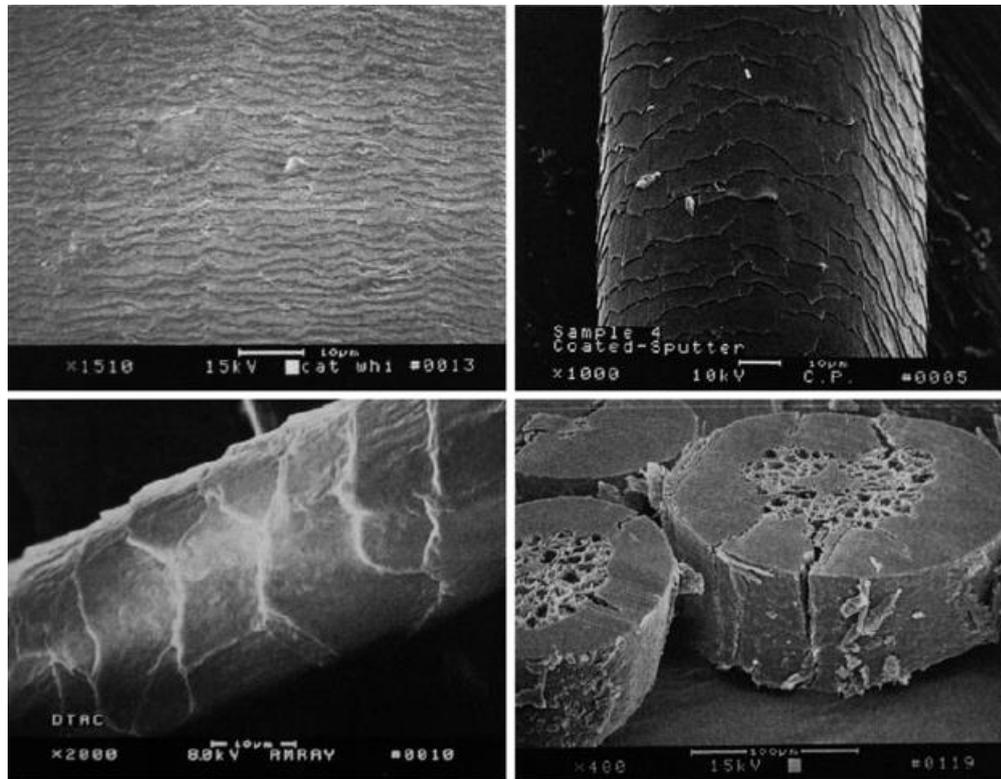


Fonte: Robbins, 2012.

As estruturas, com exceção da medula, estão presentes em todos os pelos de animais, sendo a medula encontrada apenas em pelos mais grossos. A Figura 2 apresenta micrografias eletrônicas de varredura (MEVs) de quatro espécies de mamíferos tiradas em diferentes ampliações. Essas micrografias mostram a estrutura da cutícula de um bigode de gato, uma fibra de lã, um cabelo humano e um pelo de cauda de cavalo. As seções transversais do pelo de cauda de cavalo revelam o córtex e os múltiplos canais ou regiões porosas da medula, características de pelos grossos, geralmente ausentes em pelos finos de animais, como a lã

fina.³

Figura 2: Fibras capilares de diferentes espécies de mamíferos. No canto superior esquerdo, temos uma MEV (Microscopia Eletrônica de Varredura) de um bigode de gato (1510 X). No canto superior direito, uma MEV de uma fibra de cabelo humano (1000 X). No canto inferior esquerdo, uma MEV de uma fibra de lã (2000 X). No canto inferior direito, uma MEV de seções de uma fibra da cauda de cavalo (400 X).



Fonte: Robbins, 2012.

Cada fio de cabelo tem origem na interação entre a derme e a epiderme. Uma camada de células epidérmicas forma uma bolsa envolvendo uma pequena papila dérmica, chamada bulbo capilar, criando assim o folículo piloso. Esse processo ocorre durante o desenvolvimento fetal, determinando o número de folículos desde o nascimento. A membrana basal sustenta as células ciliadas, os melanócitos produzem melanina para a cor do cabelo, e os vasos sanguíneos fornecem nutrientes essenciais para o crescimento saudável. As bainhas radiculares interna e externa protegem e sustentam o pelo, enquanto a matriz contém as células germinativas que se dividem para formar o fio e a raiz.¹⁸

Apesar da predefinição dos folículos capilares ao nascimento, hormônios e nutrientes no corpo humano impactam diretamente a produção, estrutura e ciclo de crescimento do cabelo. Essas influências podem afetar a velocidade e duração da fase de crescimento (anágena), seja retardando ou prolongando. O crescimento capilar no feto ocorre por volta do quinto mês, sendo regulado em parte por mensageiros químicos, como as proteínas Wnt e Sonic

hedgehog, que estimulam células-tronco no folículo capilar. Fatores como SGK3 e Msx2 são conhecidos por manter a fase anágena. Andrógenos, hormônios associados a características masculinas, também desempenham um papel no desenvolvimento capilar.^{3,18}

A principal descoberta é que a resposta aos andrógenos são dependentes da unidade pilosebácea específica, mas nem sempre regionalmente dependentes. Esses estudos sugerem que determinadas unidades pilosebáceas são de alguma forma programadas para responder aos andrógenos de uma forma que induzem à calvície ou fazem crescer o cabelo possivelmente, por meio de diferentes receptores de proteínas ou outro mecanismo. Isso explica porque na puberdade se tem um aumento de pelos nas axilas, pernas, barba e região púbica nos homens e ainda no ápice da testosterona a partir dos 20 anos já se tem o início da calvície em alguns homens.

Estudos recentes também mostram que a vitamina A o retinol e o ácido retinóico afetam positivamente no crescimento do fio, a tese é que essas substâncias interfiram na produção do sebo que também produz o DHT, que fruto da redução da testosterona da 5-alfa-redutase.^{19,20}

2.1 Composição química

A maioria dos estudos sobre aminoácidos individuais em fibras de queratina envolve os aminoácidos cistina (dímero da cisteína) e triptofano. A quantificação da cistina pode ser realizada por meio da análise do grupo mercaptana (monômero) ou do grupo dissulfeto (na forma dimérica), com ou sem hidrólise, ou através de espectrofotometria cuidadosamente aplicada em cabelos intactos. Com o avanço na sofisticação da análise instrumental, técnicas como a Espectroscopia de Fotoelétrons de Raios-X, a SIMS (Espectrometria de Massa de Íons Secundários), e diferentes métodos de análise espectrofotométrica, como absorção, refletância, fluorescência, entre outros, aplicados a cabelos intactos, estão se tornando cada vez mais importantes no estudo capilar.^{2,3}

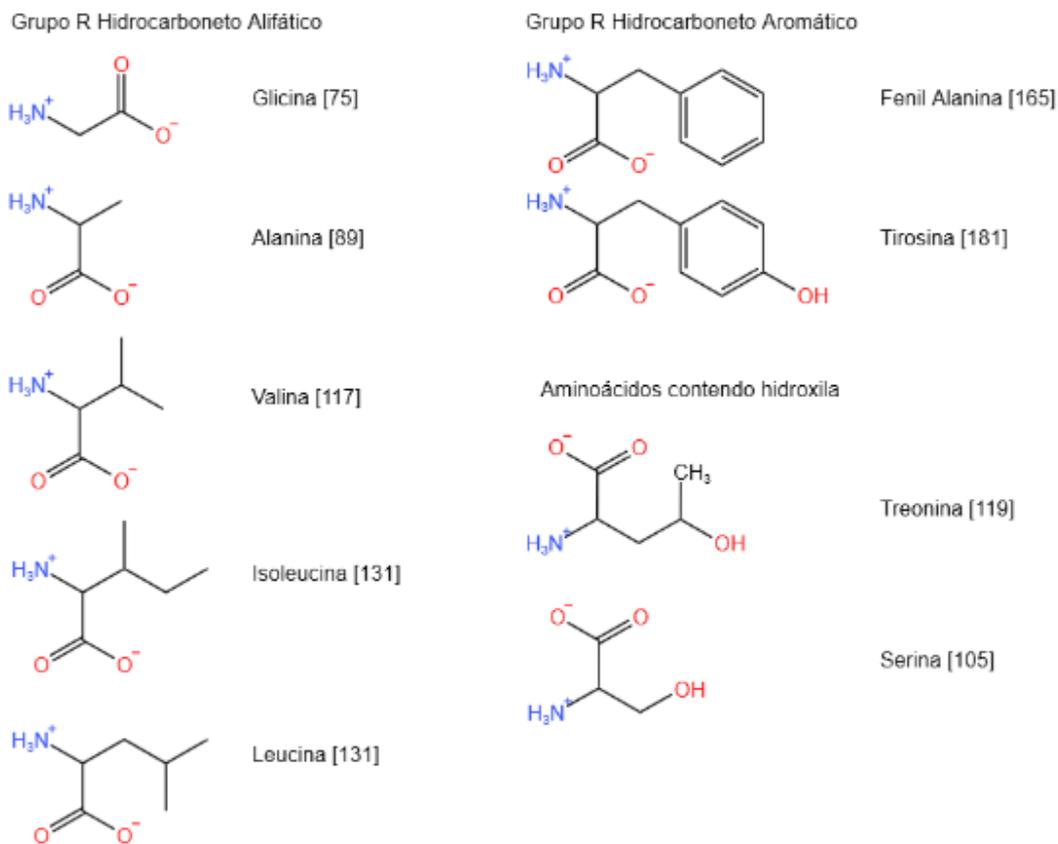
As análises químicas para o triptofano foram descritas por Block e Bolling (1952) e envolvem procedimentos hidrolíticos. McMillen e Jachowicz (1998), com base em trabalhos anteriores na indústria de lã, analisaram o triptofano e seus produtos de reação de quinurenina por espectroscopia de fluorescência, utilizando comprimentos de onda de excitação de 290, 320 e 350 nm, que resultaram em bandas de emissão em 345, 420 e 465 nm. A banda de emissão com máximo em 345 nm corresponde ao triptofano, com absorção máxima em cerca de 360 nm. O pico de emissão em 465 nm, quando excitado em 320 e 350 nm, corresponde à banda de emissão de 1-quinurenina, que possui um máximo de absorção em cerca de 360 nm. A emissão máxima em 420 nm foi atribuída à N-formilquinurenina, com absorção

máxima a 320 nm.

Outras formas de análise também foram desenvolvidas, incluindo o fracionamento de polipeptídeos e a análise de sequência de DNA por meio de reações de polimerase (PCR), além da digestão de peptídeos específicos para a análise de espectrometria de massa. Outras abordagens menos frequentes para o estudo de aminoácidos incluem a titulação de ácidos e bases dos grupos presentes nos aminoácidos.³

Nas figuras abaixo, estão representadas as estruturas moleculares dos principais aminoácidos presentes no cabelo. Na figura 3, apresentam-se aminoácidos de cadeia alifática, aromática e contendo hidroxila, com informações de peso molecular entre colchetes. Na figura 4, são destacados os aminoácidos que possuem heterociclos em sua estrutura. Por fim, na figura 5, estão os aminoácidos que são diácidos e contêm enxofre.³

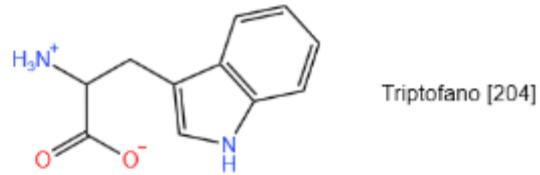
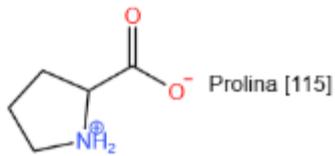
Figura 3: Estrutura molecular dos principais aminoácidos presentes nos cabelos com cadeia alifática, aromática e contendo o grupo hidroxila.



Fonte: Confeccionada pela autora.

Figura 4: Estrutura molecular dos principais aminoácidos presentes nos cabelos com heterociclos em sua estrutura.

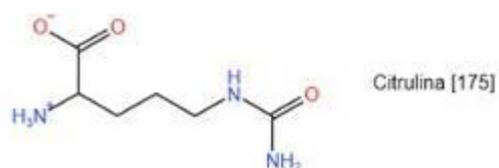
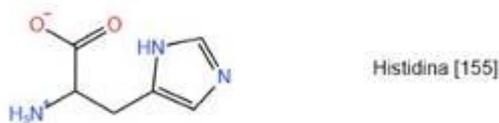
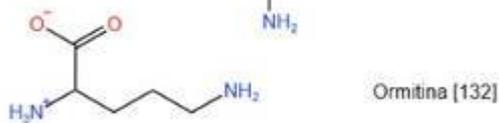
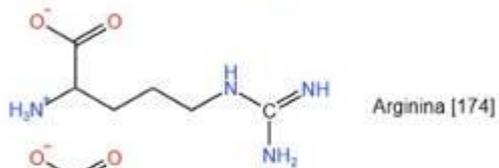
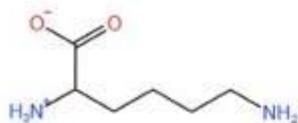
Aminoácidos Heterociclicos



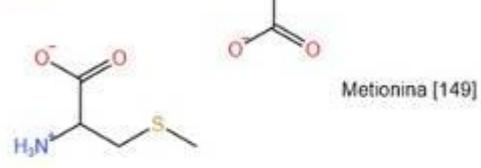
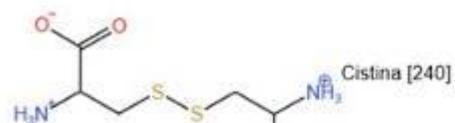
Fonte: Confeccionada pela autora.

Figura 5: Estrutura molecular dos principais aminoácidos presentes nos cabelos diácidos e contendo o átomo de enxofre em sua estrutura.

Aminoácidos diácidos



Aminoácidos contendo enxofre



Fonte: Confeccionada pela autora.

A maior dificuldade na quantificação e determinação de aminoácidos é que o resultado é expresso em média, sendo essa média dependente da seção analisada. Outro desafio enfrentado é a decomposição hidrolítica, realizada com ácido clorídrico, que resulta na degradação completa de alguns aminoácidos, como cistina, treonina, tirosina, fenilalanina e arginina, impactando significativamente o triptofano.

Ao longo das décadas, tornaram-se conhecidos os 22 aminoácidos e outras substâncias resultantes da degradação dos mesmos, como o ácido cisteico e outros aminoácidos derivados. Nas figuras 3, 4 e 5 acima, estão categorizadas algumas informações relevantes sobre os aminoácidos presentes na fibra, conforme apresentado na Tabela 1³

Tabela 1: Aminoácidos nos cabelos humanos inalterados (micromol por grama de cabelo seco).

Aminoácido	Referência [1]	Referência [2]	Outras
Ácido Asnártico	444-453 ^b	292-578 ^c	
Treonina	648-673 ^b	581-714	
Serina	1013-1091 ^b	705-1090	
Ácido Glutâmico	995-1036 ^b	930-970	
Prolina	646-708 ^d	374-694 ^d	
Glicina	463-513 ^d	548-560	
Alanina	362-384 ^d	314	
Meia cistina	1407-1512 ^d	1380-1500	784-1534 ^d
Valina	477-513 ^d	470	
Metionina	50-56 ^b	47-67	
Isoleucina	244-255 ^d	366	
Leucina	502-529 ^d	489 ^c	
Tirosina	177-195 ^d	121-171 ^c	
Fenilalanina	132-149 ^d	151-226	
Ácido Cisteína	22-40 ^d	-	
Lisina	206-222 ^d	130-212 ^c	
Histidina	64-86 ^d	40-77	
Arginina	499-550 ^d	511-620	
Cisteína	-	41-66	
Trintofano	-	20-64	17-70 ^d
Citrulina	-	-	11
% nitrogênio como amônia		15.5-16.9%	16.5%

^a Cabelo inalterados;

^b Sem diferença significativa entre as amostras analisadas;

^c Resultado do ensaio microbiológico realizado por Lang Lucas;

^d Todos os resultados foram testados com bases estatísticas.

Referência 1: Robbins CR, Kelly CH (1970) Amino acid composition of human hair. Text Res J 40:891-896

Referência 2: Ward WH, Lundgren HP (1955) The formation composition and properties of the keratins, In: Advances in protein chemistry, vol 9, and references therein. Academic Press, New York

Observa-se nessa tabela a presença de porções alifáticas, aromáticas, grupos carboxílicos e as amidas são predominantes nos cabelos comparando com a presença de dissulfetos, isso reforça ainda mais seu caráter hidrofóbico e nos fala muito sobre os principais tipos de interação eletrostática presente nos cabelos. Os grupos hidroxilas e amidas interagem por ligação de hidrogênio. Enquanto que as bases e ácidos carboxílicos interagem por ligação iônica. Abaixo estão as figuras 6, 7 e 8 que mostram as interações químicas presentes no cabelo. (HALAL, 2012).

Figura 6: Ligação de dissulfeto entre os aminoácidos dos cabelos:

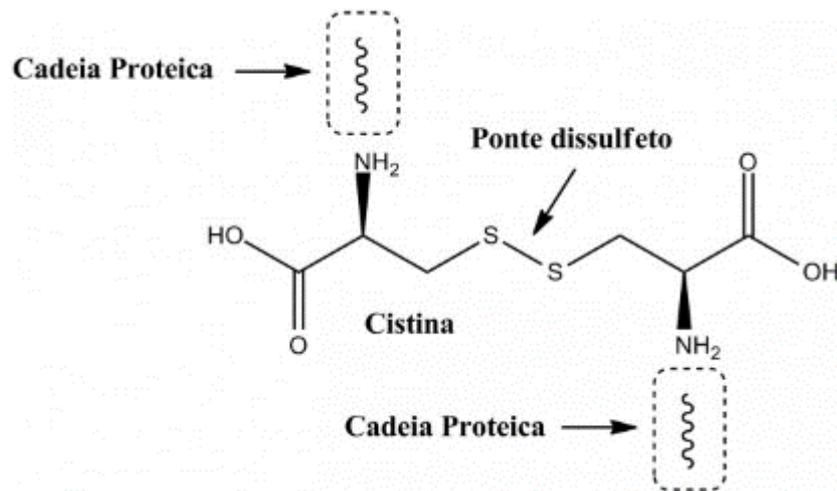


Figura 7: Ligação de hidrogênio entre os aminoácidos dos cabelos:

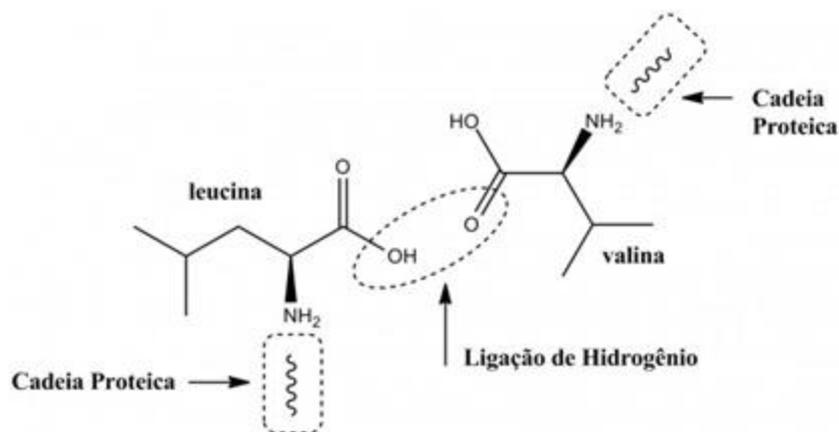
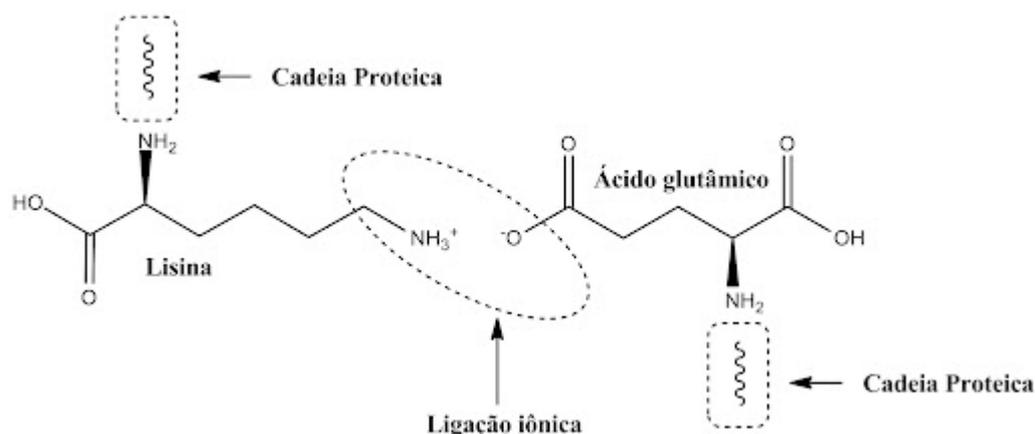


Figura 8: Ligação Inônica entre aminoácidos dos cabelos:



Fonte Figuras: Vicente, 2017

As proteínas dos cabelos se unem por meio de ligações de hidrogênio, pontes dissulfídicas e ligações iônicas. As ligações de hidrogênio nos cabelos ocorrem entre os grupos de ácido carboxílico de um aminoácido e outro, formando estruturas diméricas, conforme o esquema anterior. As pontes dissulfeto se formam pela ligação de dois átomos de enxofre do grupo tiois (S-H) dos aminoácidos de cisteína, combinando-se para formar o dímero denominado cistina. Essas ligações se rompem durante procedimentos de alisamento ou relaxamento.²

Apesar de a quantidade de grupos amidas, carboxílicos e hidroxilas ser significativamente maior em comparação com os dissulfetos, é preciso observar também a presença de aminoácidos específicos, como a cistina, que contém dissulfetos em sua estrutura molecular. A Tabela 1 revelou variações substanciais nas quantidades de alguns aminoácidos e ácidos, especialmente ácido aspártico, prolina, cistina e serina, enquanto a dispersão é consideravelmente menor para valina, ácido glutâmico, glicina, alanina, leucina e arginina.²

As variações de cistina e cisteína foram extensivamente estudadas por pesquisadores. Clay et al. (1940) analisaram cabelos de mais de 120 pessoas e observaram maior presença de ambas em cabelos masculinos e castanhos. Estudos sobre diferenças étnicas nos cabelos não foram conclusivos em relação à cisteína e cistina, mas sim em relação às células corticais, que serão abordadas posteriormente.²¹

A degradação fotoquímica dos aminoácidos também foi investigada, mostrando que a cisteína é altamente sensível, sofrendo fissão da ligação carbono-enxofre e gerando resíduos de S-sulfonato. Outros aminoácidos, como lisina e histidina, também apresentaram fotossensibilidade. Esses estudos foram conduzidos utilizando comprimentos de onda de 254-

400nm.²²

Estudos utilizando o espectro da luz visível indicam que a sensibilidade dos aminoácidos é maior nas pontas do cabelo do que nas áreas mais próximas da raiz. Outro fator influente é a cor do cabelo, sendo que cabelos castanhos claros sofrem mais danos pela exposição solar do que cabelos pretos. Isso demonstra que a melanina possui uma ação fotoprotetora, tornando cabelos mais claros mais sensíveis. Além disso, observou-se que o dano no cabelo úmido é menor do que no cabelo seco.²²

2.2 Estrutura e Composição Química da Cutícula, Córtex, Medula e Complexo da Membrana Celular

A cutícula é uma região quimicamente resistente que envolve o córtex nos pelos de animais, na figura 11 é possível identificar as estruturas e subestruturas da cutícula e do córtex. A cutícula é um material altamente rígido, e sua estrutura se assemelha a escamas de peixe sobrepostas, sabe-se que é sensível a pH alcalinos, em estudo observou-se que a mesma apresenta sensibilidade maior ao meio alcalino, cerca de 50% da cutícula é solubilizada em meio alcalino após ter sido reduzida e alquilada.²³

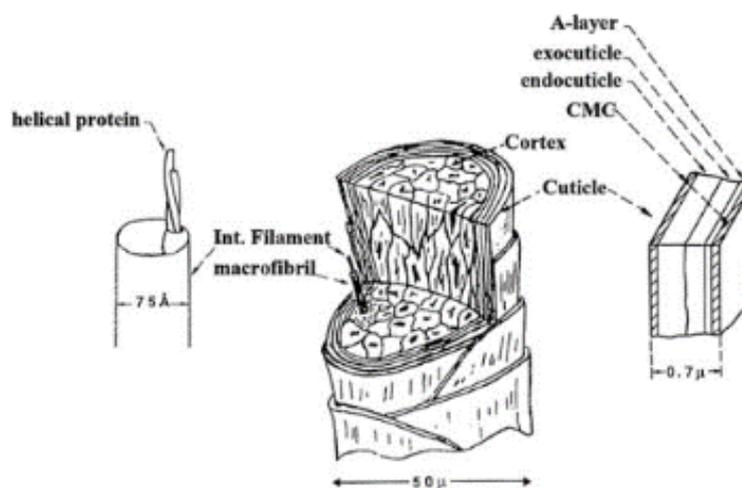


Figura 9: Estereograma da estrutura da fibra capilar, ilustrando as subestruturas da cutícula e a córtex.
Fonte: Robbins (2012).

A cutícula consiste em células planas sobrepostas, semelhantes a escamas, que circundam o núcleo central da fibra capilar. Essas células estão conectadas na parte proximal da extremidade (raiz) e direcionam-se para a extremidade distal (ponta) da fibra capilar, formando uma disposição semelhante a telhas em um telhado. A forma e a orientação das

células da cutícula desempenham um papel crucial no efeito de fricção diferencial no cabelo, resultando no conhecido frizz.

Cada célula da cutícula tem aproximadamente 0,5 micrômetros de espessura, com uma superfície axial exposta ou intervalo de escala de cerca de 6-7 micrômetros e um comprimento médio de aproximadamente 45-60 micrômetros. Essas dimensões contribuem para as propriedades físicas e estéticas do cabelo, influenciando a textura, brilho e manejo geral.²⁴

Na figura 12 abaixo pode-se observar uma porção de um fio de cabelo natural e na figura 14 uma porção de um fio de cabelo descolorido que sofreu essa ação alcalina. A cutícula forma uma membrana extremamente fina que se divide em três camadas principais da cutícula do cabelo, camada A, exocutícula e endocutícula.^{2,3}

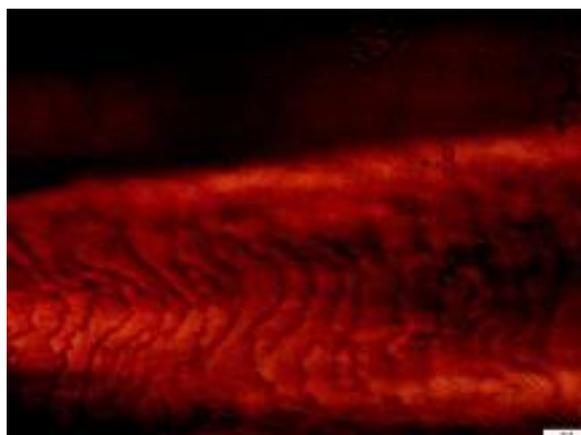


Figura 10: Cabelo natural, com a camada cuticular saudável.
Fonte: Confeccionada pela autora.

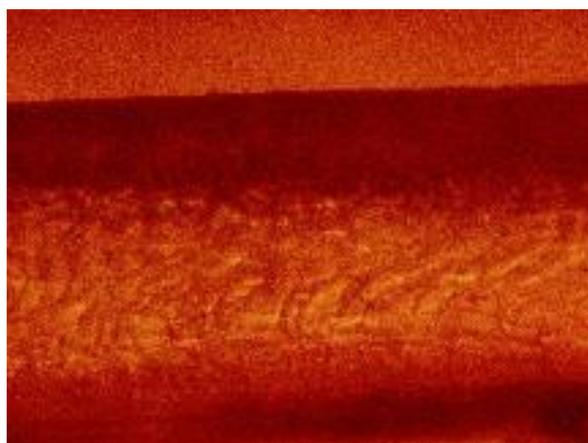


Figura 11: Cabelo que sofreu ação oxidativa no procedimento de descoloração.
Fonte: Confeccionada pela autora.

Estudos sugeriram que a cutícula do cabelo humano contém mais cistina, ácido cisteico, prolina, serina, treonina, isoleucina, metionina, leucina, tirosina, fenilalanina e

arginina do que fibra integral. Dados calculados a partir desses resultados são resumidos na Tabela 2.²⁵

Tabela 2: Composição de aminoácidos das diferentes estruturas morfológicas do cabelo.

Aminoácido	Cutícula	Fibra inteira	Medula
Ácido Aspártico	287	449	470
Treonina	524	664	140
Serina	1400	1077	270
Ácido Glutâmico	819	1011	2700
Prolina	994	667	160
Glicina	611	485	300
Alanina	-	374	400
Meia cistina	2102	1461	Traço
Valina	634	499	320
Metionina	38	53	40
Isoleucina	184	249	130
Leucina	418	516	700
Tirosina	132	184	320
Fenilalanina	91	142	-
Ácido Cisteína	68	29	-
Lisina	-	217	740
Histidina	-	71	100
Arginina	360	529	180
Amônia	-	-	(700)
Citrulina	45	11	-

a Dado expresso em micromol por grama de cabelo seco;

b Os dados da cutícula foram retirados dos estudos feitos por Bradbury*;

c O interior da fibra corresponde basicamente ao córtex;

d Os resultados da medula são derivados das análises de pelos de porcos espinhos realizado por Rogers**

Fonte: Robbins (2012).

A figura 14 é uma MEV de um cabelo dividido com células corticais separadas aparecendo como madeira lascada. A Figura 16 é uma imagem de alta ampliação do mesmo cabelo dividido, ilustrando as estruturas microfibrilares dentro das células corticais.



Figura 14: MEV de um cabelo partido. Observe fragmentos de células corticais.
Fonte: Robbins (2012).

Em cabelos caucasianos, que variam de lisos a ondulados, o córtex capilar é composto por células corticais classificadas em duas categorias principais: orto corticais e para corticais.

As células orto corticais referem-se àquelas localizadas na parte externa ou periférica do córtex capilar. Geralmente, são mais organizadas, apresentando uma disposição mais simétrica. Em cabelos caucasianos lisos a ondulados, as células orto corticais são predominantes. Essas células possuem uma proporção específica de fibras altamente cristalinas em relação à matéria não fibrilar, contribuindo para a textura e estrutura específicas desses tipos de cabelo.

Por outro lado, as células para corticais estão localizadas na região interna do córtex capilar, mais próxima ao centro. Em comparação com as orto corticais, as para corticais podem ter uma organização menos simétrica. Em alguns casos, como cabelos de descendência africana, a porcentagem de células para corticais pode ser significativamente maior. A presença e a proporção de células para corticais influenciam a resistência, elasticidade e outras características específicas do cabelo.

Além disso, é importante mencionar que o córtex capilar também contém células corticais com grânulos de pigmento e restos nucleares. Os restos nucleares são pequenas cavidades alongadas próximas ao centro das células, enquanto os grânulos de pigmento são partículas pequenas, ovais ou esféricas, com diâmetro de aproximadamente 2.000–8.000 Å

unidades (0,2–0,8mm), dispersos pelas células corticais e medulares (ROBBINS, 2012).

A separação entre orto corticais e para corticais contribui para a diversidade de características observadas em diferentes texturas capilares, sendo influenciada pela etnia e tipo de cabelo. ³

Figura 15: MEV de células corticais de uma fibra de cabelo humano. A partir de um cabelo partido.



Fonte: Robbins (2012).

O córtex capilar é a região mais espessa e de maior massa do cabelo, composta principalmente de queratina. Nele, também é encontrada a melanina, sendo a eumelanina responsável pelos tons escuros e a feomelanina pelos tons avermelhados. A concentração dessas melaninas determina a cor do cabelo e sua capacidade de proteção contra a radiação solar. O córtex é o local onde ocorrem processos químicos como descoloração, coloração e alisamento. O material presente na haste, que preenche e liga as cutículas e os microfilamentos de queratina, é comumente denominado CMC (Cimento Intercelular). O CMC possui uma estrutura comum de alfa-helicoidais.

As estruturas alfa-helicoidais referem-se a uma conformação específica de proteínas, na qual a cadeia polipeptídica se enrola formando uma hélice tridimensional. No contexto do CMC, essas estruturas alfa-helicoidais contribuem para a organização e resistência do material. Essa conformação helicoidal confere estabilidade à estrutura, permitindo que o CMC cumpra sua função de unir as células corticais vizinhas ao longo da extensão dos cabelos. Essa função é crucial para a integridade e resistência da fibra capilar. ²⁶

3 SHAMPOO E CONDICIONADORES

Shampoos têm como objetivo a limpeza da haste capilar e do couro cabeludo, proporcionando cabelos leves, macios, brilhantes, soltos, fáceis de pentear e livres de eletricidade estática, sem alterar o pH natural do couro cabeludo. O principal agente de lavagem é o tensoativo, cuja concentração deve ser suficiente para limpar todo o cabelo. Apesar da variedade de tensoativos, todos compartilham a mesma qualidade de possuir uma molécula com componente hidrofóbico e hidrofílico, permitindo interação tanto com a água quanto com a camada lipídica natural presente no cabelo. ^{1,2,3}

O corpo humano produz naturalmente uma camada lipídica que protege o cabelo contra agressões externas. Essa camada retém poeira e sujeira, sendo insolúvel em água. Por isso, é necessário um agente de lavagem que interaja com essa camada e, ao mesmo tempo, com a água para remover efetivamente a sujeira. A utilização de tensoativos é fundamental nesse processo, promovendo a limpeza da fibra capilar. ^{1,2,3}

Nos Estados Unidos, o surfactante mais comum é o lauril sulfato, enquanto outros países utilizam o lauril sulfato de sódio ou de amônio, sozinhos ou em combinação, pela eficácia na limpeza e na formação de espuma. ³ O sulfonato de alfa olefinas, uma família de compostos orgânicos, é utilizado de forma limitada em produtos de baixo custo, proporcionando viscosidade e espuma adequadas. ^{2,3}

Surfactantes secundários, como cocotanolamida e cocoamidopropilbetaína, são adicionados para modular a espuma, melhorar a limpeza e aumentar a viscosidade, sendo amidas ou betaínas em sua maioria. ^{1,2,3,25} O pH do shampoo é ajustado geralmente com ácido cítrico ou tampões de fosfato, essenciais para prevenção de contaminação microbiana. Um shampoo de limpeza típico consiste em pelo menos um surfactante primário, como um sulfato de alquila ou etoxi sulfato, combinado com um ou mais surfactantes secundários, ácido cítrico para ajuste de pH, conservantes, corantes, fragrância e água. ^{1,2,3,25}

Shampoos para bebês e de condicionamento leve empregam surfactantes não iônicos e anfóteros para melhorar a suavidade dos surfactantes aniônicos e a eficácia de limpeza. Os agentes condicionantes variam, podendo ser lipídicos, derivados de ácidos graxos, sais de ácidos graxos, catiônicos ou polímeros catiônicos. Shampoos dois em um, contendo silicone insolúvel em água, são adequados para cabelos naturais, mas podem ter resultados limitados em fios descoloridos devido à dificuldade de aderência da molécula hidrofóbica do silicone em cabelos hidrofílicos. ^{1,2,3,25}

3.1 Classificação dos shampoos

Shampoos aniônicos são eficientes agentes de limpeza, com alto poder detergente, sendo amplamente utilizados. Entre os mais comuns estão os sulfatos e éter sulfatos de ácidos graxos, caracterizados por seus grupos polares aniônicos. Para otimizar sua ação, é recomendada a associação com outros tensoativos anfóteros ou não aniônicos.^{1,25,26,27}

Sabonetes também pertencem a essa categoria, mas não são ideais para limpeza capilar, pois não conferem brilho aos cabelos e têm pH extremamente alcalino em solução. Exemplos de moléculas tensoativas aniônicas comuns em shampoos incluem o lauril sulfato de sódio, lauril éter sulfato de sódio e lauril éter sulfato de trietanolamina.^{1,25,26,27}

Tensoativos catiônicos, como o éter sulfato de isostearyl etildimônio, oferecem excelente afinidade com a queratina, conferindo brilho e maciez, embora apresentem desafios de enxágue. Os anfóteros, como a betaína, devem ser combinados com outros tensoativos para melhorar a ação de limpeza e a formação de espuma, sendo comuns em shampoos neutros para crianças. Outros tensoativos não iônicos, como alcanolamidas de ácidos graxos e polietilenoglicol, atuam como emulsificantes e umectantes, complementando a ação dos anfóteros e aniônicos.^{2,28}

A interação eficaz da água com a sujeira ocorre devido às moléculas de detergentes, que servem como ponte entre a água polar e a gordura apolar, presente na sujeira orgânica e inorgânica. Detergentes apresentam uma parte hidrofóbica/apolar para interagir com a gordura e uma parte hidrofílica/polar para interagir com a água. Espessantes, como alcanolamidas de ácidos graxos, aumentam a viscosidade, enquanto agentes engordurantes, como alcanolamidas e lanolina, protegem a haste capilar. Agentes perolizantes conferem aspecto sedoso ao shampoo, e a água destilada é usada como diluente.^{2,3,26,29}

Condicionadores, geralmente aniônicos, complementam o tratamento capilar, proporcionando características como redução da eletricidade estática, facilitação do pentear e cabelo solto e macio. A fórmula típica inclui álcool ceto estearílico, amônio quaternário, ácido cítrico, essência, água, aditivos e conservantes.²⁹

3.2 Ligações iônicas com o cabelo

As interações iônicas entre os ingredientes de shampoos e condicionadores e o cabelo envolvem interações de hidrogênio, íon hidróxido e sais neutros. Essas interações são consideradas em relação ao pH, buscando a neutralidade para manter o cabelo em seu ponto isoelétrico.³

Em análises de cabelo de 20 mulheres que nunca mudaram a cor e usaram permanentes, a captação média de ácidos foi de 0,70 mmol/g de cabelo. Em cabelos descoloridos, a absorção de ácido é menor, e a análise de aminoácidos revelou a formação de ácido cisteico, que cria uma ligação forte, impedindo a interação de ácidos mais fracos, como o ácido fórmico, reduzindo a absorção de laranja II.³⁰

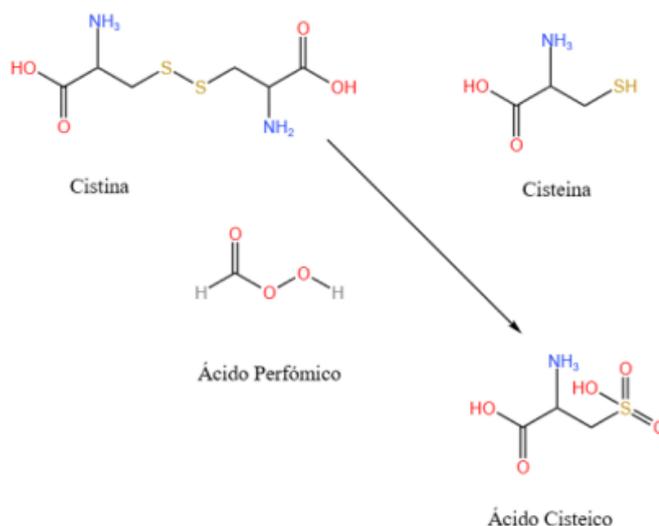


Figura 16: Oxidação dos grupos sulfetos para sulfônicos.
Fonte: Confeccionada pelo autor.

O ácido perfórmico oxida grupos sulfetos para sulfônicos. Segundo pesquisa da Usage Care Panel da Kantar (2019), apenas 4,9% das mulheres mantêm os cabelos naturais no Brasil, sem coloração ou mudanças de forma. Devido à natureza e composição química do cabelo, fontes de calor, ação oxidante de descoloração e colorações já causam degradação na estrutura da haste capilar.³¹

O caráter hidrofóbico da cutícula e o hidrofílico do córtex devem ser compreendidos, especialmente ao considerar três tipos de ligações entre o polímero e o cabelo: ligações de valência primárias (iônicas e covalentes), interações polares (pontes de hidrogênio) e forças de dispersão (forças de Van der Waals - interações dipolares, dipolo-dípulo induzido e dípulos induzidos).³²

Além do tamanho da molécula de polímero e da funcionalização múltipla, o ponto isoelétrico do cabelo é crucial. Wilkerson (1998) destacou que o cabelo humano inalterado possui um ponto isoelétrico próximo a pH 3,67, resultando em uma carga líquida negativa na superfície do cabelo em pH acima desse valor. Como muitos tratamentos cosméticos capilares são formulados com pH superior, ingredientes catiônicos são mais atrativos para o cabelo do

que os aniônicos, e os poli catiônicos têm maior afinidade com o cabelo do que os poli aniônicos.³³

4 MUDANÇA DE COR

Apesar de muitas consumidoras optarem por assumir os cabelos brancos, o mercado de coloração permanente ainda cresce, impulsionado pelo envelhecimento da população e homens que não hesitam em evitar os cabelos grisalhos (TORRES et al., 2005).

Antes de explorar as mudanças de cor, é fundamental compreender a teoria das cores. Para discutir cor, é necessário entender a luz, que, embora não ocupe espaço nem tenha massa, é energia. A luz é uma onda de radiação no espectro eletromagnético, o qual inclui ondas de rádio, micro-ondas, infravermelho e raio-x, embora não sejam visíveis ao olho humano devido ao comprimento de onda fora do espectro óptico.³⁴

A faixa visível das ondas eletromagnéticas é pequena, variando de 390 a 700 nm (Figura 17). A luz violeta possui comprimentos de onda mais curtos, enquanto o infravermelho é mais longo, com faixas além da radiação visível.

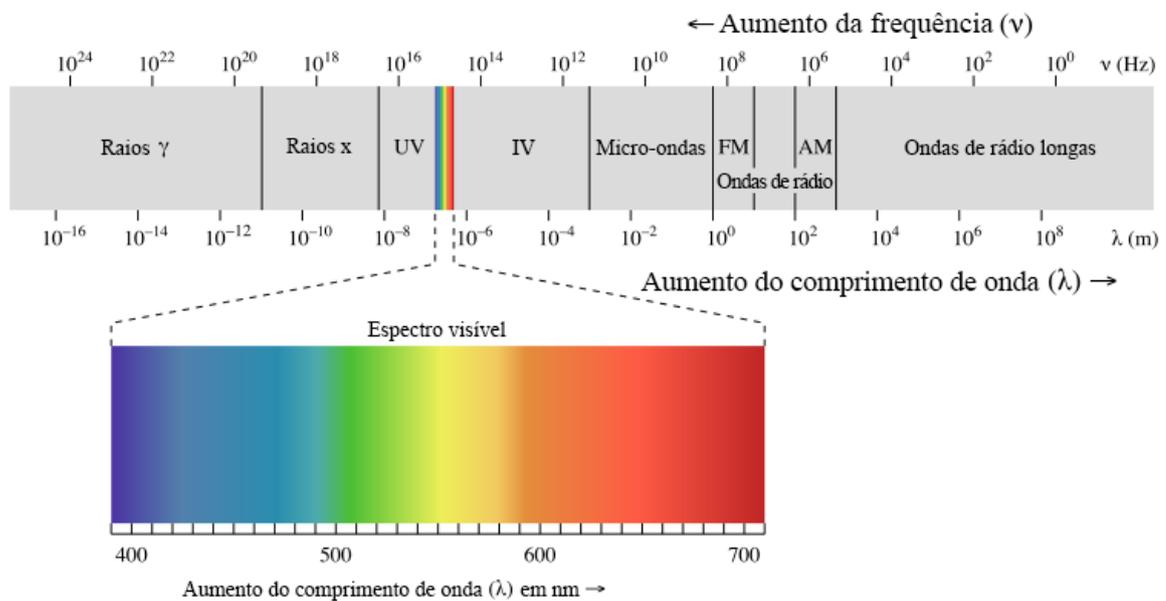


Figura 17: Faixa de ondas eletromagnéticas.

Fonte: <https://www.todamateria.com.br/espectro-eletromagnetico/>

As ondas de todas as cores incidem sobre o objeto, sendo absorvidas ou refletidas. O olho humano percebe as cores refletidas, como a maçã que aparece vermelha, indicando que o vermelho não é absorvido, enquanto as outras cores são. Ao colorir o cabelo, altera-se sua estrutura química para absorver determinados comprimentos de onda e refletir outros, obtendo a cor desejada.²⁹

Além do objeto, a luz disponível também influencia a percepção da cor do cabelo, parecendo mais quente sob luz solar e mais fria sob luz fluorescente. Existem duas teorias de cor: RGB, sistema de cor luz, e CMYK, sistema de cor pigmento.³⁴

O sistema RGB, baseado na luz, cria cores pela sobreposição de filtros vermelhos, verdes e azuis, enquanto o CMYK, usado em cosméticos, utiliza pigmentos cromáticos e acromáticos para formar cores. O CMYK é crucial para a escolha de mudanças de cor em cosméticos e cabeleireiros, classificando pigmentos em primários, secundários e terciários.³⁵

A cor do cabelo tem dois componentes: nível/saturação (altura de tom) e tonalidade/nuance (reflexo). A eumelanina, mais escura, permite tons de castanho ao preto, enquanto a feomelanina, com formação difusa, resulta em tons loiros amarelados. A tricosiderina, com formação parcialmente difusa, gera tons laranjas-avermelhados. A relação entre eumelanina e feomelanina é interpretada como altura de tom.²

Existem três maneiras de modificar a cor do cabelo: descoloração, coloração artificial ou uma combinação de ambas. A coloração do cabelo tem mais de 2.000 anos, utilizando corantes vegetais, minerais e animais. Os corantes de oxidação, também chamados de permanentes, são cruciais nas tinturas comerciais, oxidando p-diaminas e p-aminofenóis com peróxido de hidrogênio para formar corantes resistentes ao shampoo.³⁵

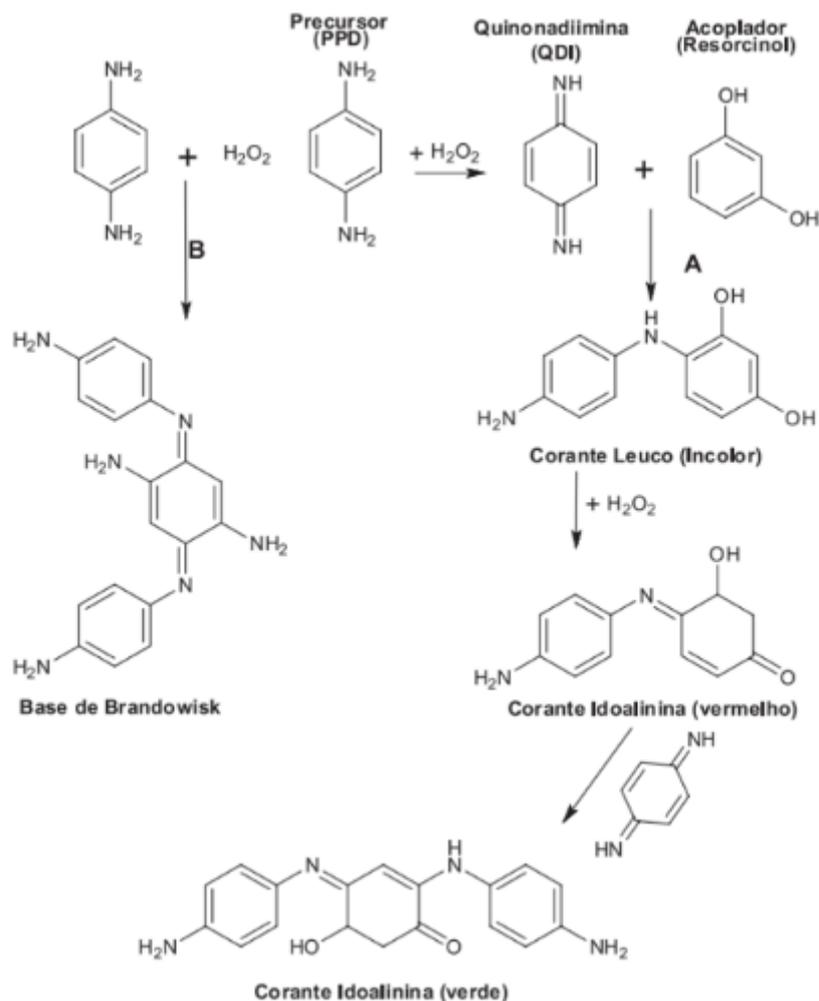


Figura 18: A reação usando o intermediário primário PFD. Mecanismo de reação A na presença do acoplador (resorcinol) resultando no corante desejado. Mecanismo de reação B pode ocorrer na ausência de acoplador, resultando na formação da base de Bandrowski.

Fonte: Oliveira et al. (2014).

Os produtos semipermanentes contêm aminas nitro-aromáticas ou aminas aromáticas corantes de nitroantroquinona, que se difundem e aderem ao cabelo, mas de maneira não duradoura. Devido à sua fraca fixação, esses corantes se dispersam com a água e as lavagens, podendo ser removidos quase por completo após algumas lavagens.³⁶

4.1 Corantes permanentes

Os corantes capilares de oxidação incluem precursores que formam intermediários ativos, corantes acopladores que se condensam com os intermediários, um agente oxidante (peróxido de hidrogênio) e compostos de matriz contendo surfactantes, conservantes e

aditivos de ajuste de pH, além de ingredientes para condicionamento. Essas reações ocorrem em um pH alcalino, geralmente entre 8 e 10. Ao ajustar as proporções de oxidante, precursores e acopladores, é possível clarear ou escurecer o cabelo. Os precursores de corantes de oxidação derivam da anilina (Figura 21) e são orto ou para diaminas, ou aminofenóis bifuncionais capazes de oxidar íons diiminium (IX) ou quinonimium (X), propostos por Corbett (2004) como intermediários ativos desse processo.^{37,38}

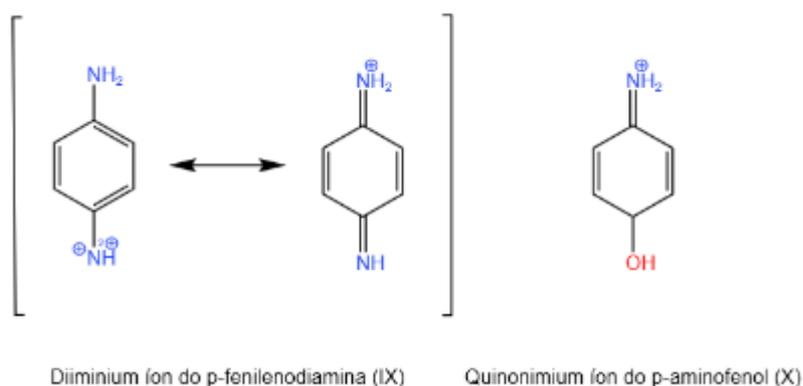


Figura 19: Íons diiminium (IX) ou quinonimium (X)

Fonte: Confeccionada pela autora.

A maioria dos corantes capilares contém 5 a 7 ou mais ingredientes que atuam como acopladores ou precursores de corantes, resultando em misturas de di-, tri- e poli-corantes indotóxicos durante as reações. Adicionalmente, grupos nucleofílicos no cabelo podem aderir covalentemente aos corantes, formando uma variedade de pigmentos.^{37,38}

A penetração de precursores e acopladores deve ser limitada às regiões externas do cabelo, pois as reações de condensação são rápidas em comparação com a difusão. Os produtos de condensação maiores, pelo menos no cabelo, resistem à lavagem. Recomenda-se um tempo de aplicação máximo de 15 minutos para permitir a oxidação dentro do fio.¹⁴

Na coloração permanente, a mistura da coloração com água oxigenada, geralmente na proporção de 1:1 em massa, é aplicada rapidamente. O tempo de pausa varia de 30 a 40 minutos para garantir a oxidação completa. Após a lavagem com shampoo, é aplicada uma máscara com pH ácido para ajustar o pH do fio e interromper o processo oxidativo em pH alcalino.¹¹

4.2 Corantes semipermanentes

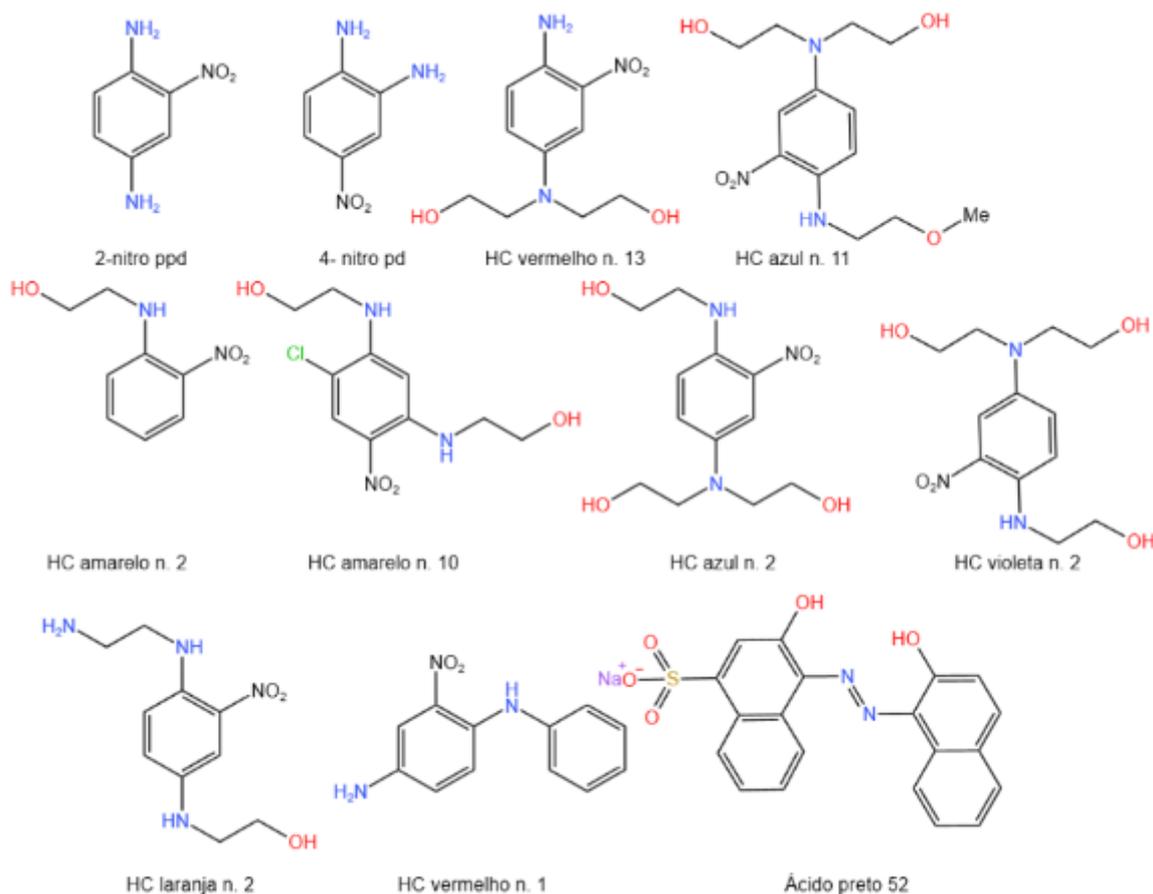
O termo "tintura de cabelo semipermanente" refere-se a produtos que proporcionam coloração duradoura, porém com menor permanência do que as tinturas permanentes, removendo-se em 14 a 24 lavagens. Esses produtos evitam o uso de peróxido de hidrogênio, ou usam oxidantes de baixa volumagem, geralmente 6 a 9 volumes, para minimizar a abertura das cutículas. A Figura 27 exhibe as estruturas químicas de corantes utilizados em tinturas semipermanentes.⁵³

Cada produto busca a tonalidade desejada através de uma combinação de até 18 tinturas semelhantes às descritas na Figura 22. Outros ingredientes incluem compostos de matriz, solventes (principalmente água e glicóis ou derivados de glicol), surfactantes, amida, fragrância e ácido ou álcali para ajuste de pH. A aplicação normalmente ocorre em cabelos recém-lavados, deixando o produto por aproximadamente 20 minutos antes do enxágue. Após o enxágue, um "condicionador" é frequentemente aplicado e o cabelo é seco sem a necessidade de shampoo. (NASCIMENTO, 2010).

As tinturas de cabelo apresentadas na Figura 20 geralmente contêm amina aromática neutra, nitro amina aromática ou derivados de antraquinona. São ingredientes altamente polares e classificáveis como corantes mono, di ou trinucleares (anel). Wong (2003) estudou a cinética da remoção desses corantes do cabelo, concluindo que os corantes trinucleares maiores são removidos mais lentamente. A difusão e remoção da tinta são mais rápidas nas pontas desgastadas em comparação com as pontas da raiz.

Com uma pequena quantidade de descoloração, os corantes maiores conseguem alcançar posições mais desafiadoras no cabelo. Assim, ocorre uma maior aderência dos corantes ao fio e torna-se mais difícil removê-los por meio de enxágue. No entanto, ao exceder esse processo de clareamento, a remoção dos corantes do fio torna-se mais facilitada.

Figura 20: Estruturas químicas de alguns corantes atualmente usados em colorações semipermanentes.

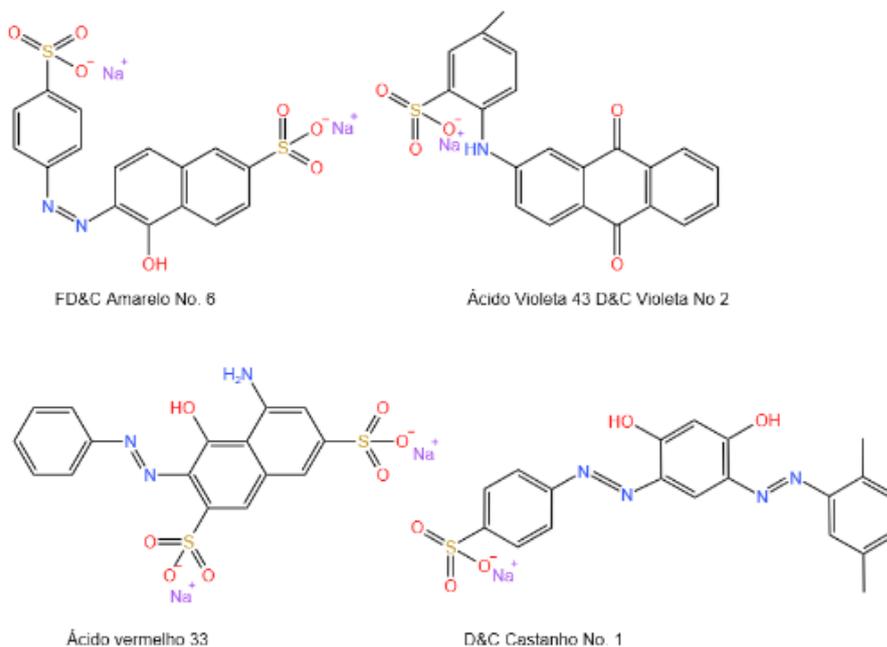


Fonte: Confeccionada pela autora.

4.3 Corantes Temporários

O propósito das tinturas capilares temporárias é conferir cor aos cabelos, uma coloração que pode ser removida com uma única lavagem. A figura 21 apresenta estruturas de alguns ingredientes de coloração de cabelo com enxágues. A composição inclui uma mistura de aditivos corantes, sendo estes provenientes da figura 21 ou cores FD&C ou D&C similares. Geralmente, são utilizados de dois a cinco ingredientes de cor para alcançar a tonalidade desejada, pois um único componente frequentemente não proporciona a coloração desejada. Às vezes, dois corantes são empregados para cobrir cabelos grisalhos, enquanto quatro a cinco corantes são comumente combinados para obter tons de vermelho, marrom ou preto. Esses produtos são aplicados em cabelos recém-lavados e penteados. ⁵⁴

Figura 21: Estruturas químicas de alguns corantes atualmente usados em colorações com enxágue.



Fonte: Confeccionada pela autora.

Uma alternativa é aplicar o produto no cabelo, pentear para garantir uma distribuição uniforme dos corantes e, em seguida, definir e secar o cabelo sem enxaguar para minimizar a penetração dos corantes nas fibras. Os corantes utilizados em enxágues de cor são geralmente moléculas maiores do que os utilizados em tinturas de cabelo e produtos semipermanentes. Esses corantes de enxágue são frequentemente aniônicos ou ácidos, semelhantes aos usados no tingimento de lã, e são escolhidos para máxima solubilidade em água e penetração mínima, permitindo a remoção com shampoo. Vale ressaltar que o tingimento de lã difere significativamente do tingimento de cabelo, principalmente em relação às temperaturas empregadas.^{47,48,53}

Corantes Metálicos: Sais de diversos metais, como chumbo, prata, bismuto, cobalto, cobre, ferro e mercúrio, foram usados no passado para tingir cabelos. Atualmente, corantes de chumbo são os únicos em uso comercial, contendo acetato de chumbo e enxofre, reagindo com o cabelo para escurecê-lo gradualmente. Esses produtos, populares entre os homens, têm tonalidades limitadas e podem reagir adversamente a tratamentos subsequentes, como descolorantes e outras tinturas de cabelo.⁴⁹

Corantes Naturais: Substâncias orgânicas naturais de plantas foram as primeiras tinturas de cabelo conhecidas. Entre elas, apenas henna e camomila são amplamente utilizadas comercialmente. A henna, extraída das folhas da planta, produz tons amarelos a avermelhados e é aplicada em meios ácidos. Já a camomila, contendo apigenina, é uma polihidroxi-flavona

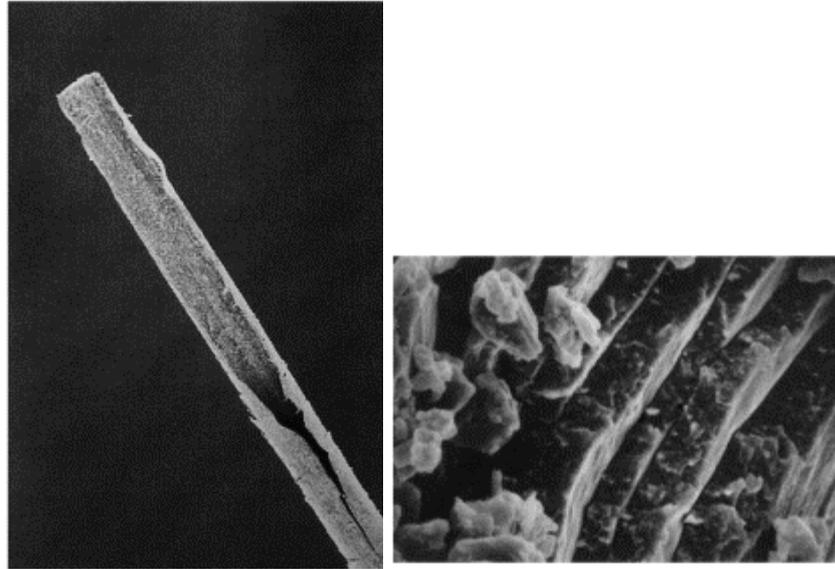
que proporciona tons amarelos. Ambas são conhecidas por serem usadas há milhares de anos para tingir cabelos e tecidos.^{39,40}

4.6 Descoloração

O clareamento capilar tem como principal objetivo a descoloração dos fios, geralmente alcançada por meio da oxidação. No entanto, devido à necessidade de condições rigorosas para destruir os grupos cromóforos dos pigmentos capilares, ocorrem simultaneamente reações colaterais com as proteínas capilares. Wolfram (2007) demonstrou que o peróxido de hidrogênio reage primeiramente com a melanina antes de interagir com as proteínas. Entretanto, como o cabelo é predominantemente proteico, contendo uma considerável porcentagem de grupos oxidáveis, a degradação dessas proteínas também é inevitável durante o processo de clareamento.⁴¹

No branqueamento químico com peróxido alcalino ou peróxido-persulfato alcalino, os grupos tioéster na superfície proteica são os primeiros a serem atacados, removendo parcialmente a barreira hidrofóbica da superfície. Isso cria ácidos sulfurados, principalmente grupos sulfonato, resultando em uma superfície capilar ácida e hidrofílica com ponto isoelétrico mais baixo. A presença de álcali e surfactante no meio oxidante reduz ou elimina o período de indução, permitindo uma reação mais eficaz. A presença de metais, como ferro, cobre ou persulfato, pode levar à degradação radical adicional. O clareamento químico enfraquece a membrana celular, oxidando tioéster e ligações dissulfeto, resultando na quebra do complexo da membrana celular e dissolução das proteínas capilares em diferentes regiões.⁴¹

Micrografias eletrônicas ilustram os efeitos do clareamento químico, destacando a extensa oxidação e a ruptura da fibra capilar. O complexo da membrana celular é enfraquecido, evidenciado pelas quebras entre as camadas da cutícula, e há uma maior propensão ao levantamento das escamas cuticulares após o clareamento. Estudos indicam que durante o clareamento, especialmente em processos mais severos, ocorre uma degradação significativa das pontes dissulfeto e ligações de cistina, impactando a estrutura capilar de maneira substancial.^{42,3}



Figuras 22 e 23: Fibra capilar oxidada com peróxido alcalino por algumas horas e estendida até a quebra. Grande parte do córtex foi quebrada do interior da fibra deixando o fio oco com apenas as camadas de cutícula restantes.

Fonte: Robbins (2012).

Quando não há presença de metais para gerar radicais livres, o principal mecanismo de oxidação das ligações dissulfeto em cabelos com peróxido de hidrogênio alcalino ocorre principalmente por meio de monóxido e dióxido, utilizando transporte eletrofílico de oxigênio e inserção nucleofílica de oxigênio, conforme descrito por Dra. Jennifer Marsh no livro "Chemical and Physical Behavior of Human Hair" (2020).

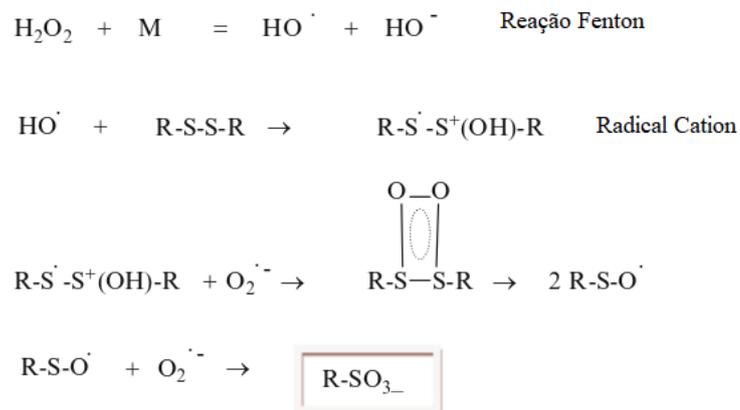


Figura 24: Mecanismo de oxidação da ligação dissulfídica por peróxido em meio alcalino sem metal.

Fonte: Robbins (2012).

Uma vez que as composições dos descolorantes são geralmente formuladas com pH

entre 9 e 11, ocorre a hidrólise de ligações peptídicas e de amida, bem como a formação de resíduos de lantionina, um aminoácido não proteinogênico tipicamente originado pela desidratação de um resíduo de cisteína e um resíduo de serina. Durante o clareamento, reações colaterais como a hidrólise de grupos amida de resíduos dos ácidos aspártico e glutâmico, juntamente com a formação de resíduos ácidos, aumentam a proporção de grupos ácidos para básicos nas fibras, reduzindo os pontos isoelétricos. Os pontos isoelétricos representam o valor de pH onde uma molécula, como um aminoácido ou uma proteína, possui carga elétrica líquida igual a zero.³

As ligações peptídicas, sendo a principal unidade estrutural repetitiva de polipeptídeos e proteínas, podem ser hidrolisadas em pH elevado, sendo mais propensas durante o processo de descoloração de cabelos escuros para loiros claros, especialmente quando são empregados tempos de reação mais longos e concentrações mais elevadas de alcalinidade e agente oxidante. Abaixo estão representadas as etapas da hidrólise das ligações peptídicas e da amida.³

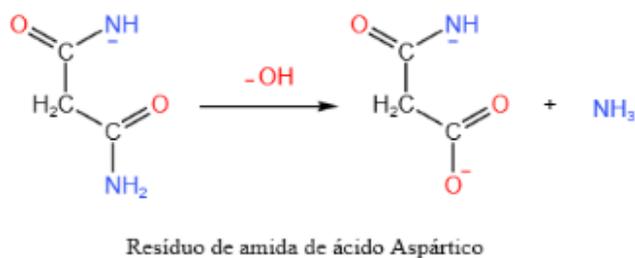


Figura 25: Hidrólise ácido aspártico.
Fonte: Confeccionada pela autora.

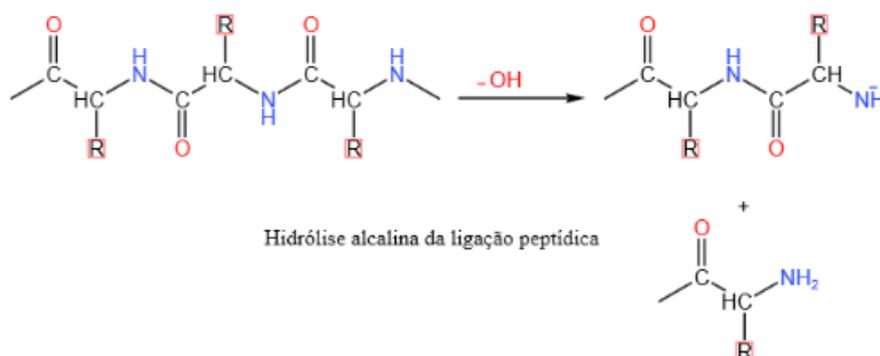


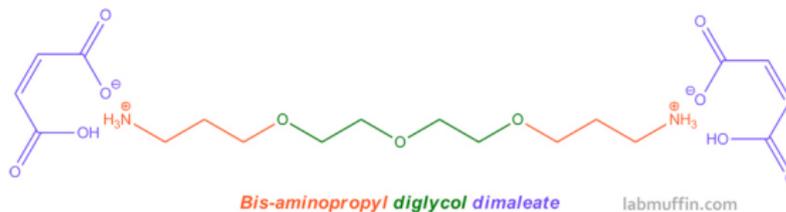
Figura 26: Hidrólise alcalina da ligação peptídica.
Fonte: Confeccionada pela autora.

Há alguns anos, as concentrações elevadas de persulfatos em pós descolorantes eram comuns, e a crença de que oxidantes de maior volume resultavam em clareamentos mais intensos prevalecia. Essa falta de conhecimento levou a danos significativos nos cabelos, especialmente durante a tendência dos cabelos platinados, onde se buscava o máximo clareamento. Com produtos inadequados, o risco de corte químico aumentou, levando à demanda por soluções contra o emborrachamento capilar.⁴³

O Olaplex, lançado pela marca homônima, foi pioneiro na abordagem para prevenir danos capilares durante processos químicos. A empresa, iniciada em 2014 na garagem de Dean Christal em Santa Bárbara, patenteou um produto que revolucionou os cuidados capilares. Em 2019, após um crescimento notável, a Olaplex foi adquirida pela Advent International, e JuE Wong assumiu como CEO.⁴³

Em 2021, a Olaplex, com cerca de 117 funcionários, continuou a expandir seu faturamento, atingindo 270 milhões no primeiro semestre. O ingrediente ativo, dimaleato de bis-aminopropil diglicolato, destaca-se na composição do Olaplex.⁴³

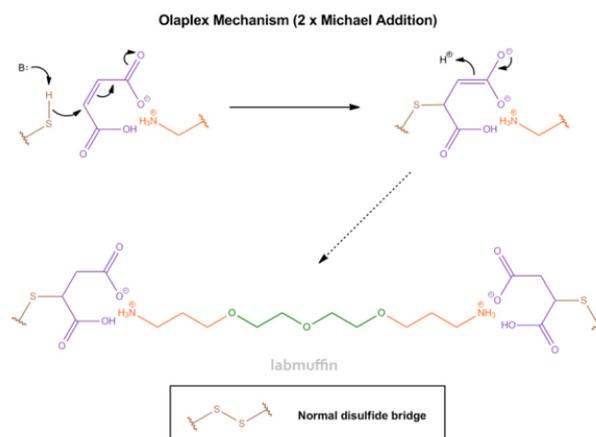
Figura 27: Estrutura molecular do ativo do Olaplex, dimaleato de bis-aminopropil diglicolato.



Fonte: <<https://labmuffin.com/how-does-olaplex-hair-treatment-work/>>

As extremidades do bis-aminopropil diglicol dimaleato se ligam aos enxofres, criando uma ponte dissulfeto artificial estendida. A parte "dimaleato" atua como aceitadores de Michael, reagindo com grupos SH em uma reação de Michael para formar ligações covalentes.

Figura 28: Mecanismo de ação Olaplex mediada pelo ativo.



Fonte: <<https://labmuffin.com/how-does-olaplex-hair-treatment-work/>>

Uma nova ligação dissulfeto é rapidamente formada entre os enxofres, fortalecendo o cabelo. Ao contrário de processos como alisamento e permanente, essas reações ocorrem mais rapidamente do que a proteção com peróxido, reduzindo significativamente os danos durante a coloração.

Em 2018, um grupo investigou a eficácia do produto, testando-o em alvejantes semelhantes aos usados para descolorir cabelos em diferentes tempos de exposição. O estudo também incluiu análises teóricas relacionadas aos mecanismos de reação propostos na patente. Os resultados mostraram uma degradação de 17% do produto em 40 minutos. No entanto, cálculos utilizando DFT indicaram que o estado de transição não correspondia ao descrito no mecanismo. Um novo mecanismo de reação foi proposto, sugerindo a formação de intermediários reativos com a queratina, tornando o estudo inconclusivo.²⁷

5 MUDANÇAS DE FORMA

Para abordar mudanças de forma capilar, é crucial revisar as ligações presentes nos cabelos, como as iônicas, de hidrogênio e as pontes de dissulfeto. Apesar de estarem em menor quantidade, as ligações de dissulfeto conferem cerca de um terço da força do cabelo, sendo mais robustas. Já as ligações de hidrogênio e iônicas, embora mais abundantes, são mais fracas e desfeitas por transformações físicas, como lavagem e secagem. As transformações químicas, por sua vez, são empregadas em procedimentos como alisamentos e permanentes.⁴⁴

Os alisamentos temporários envolvem o uso de ferramentas térmicas, como secadores, chapinhas e escovas modeladoras aquecidas, que atuam na quebra das ligações de hidrogênio, as mais delicadas nos fios. Entretanto, esse efeito liso é temporário e se perde com a umidade.

45

Diversos métodos de alisamento foram desenvolvidos desde a introdução do alisamento japonês no Brasil, em 2002. Antigamente, os alisamentos eram baseados em soda cáustica, um produto alcalino agressivo. Atualmente, produtos formulados com ativos mais suaves são empregados, mantendo o mesmo mecanismo de ação, variando apenas na intensidade conforme concentração e tempo de aplicação.⁴⁶

Os procedimentos de alisamento geralmente consistem em duas etapas principais: a quebra das ligações dissulfeto (redução) e a oxidação dessas ligações para formar novas com a conformação desejada (DRAELOS, 2012). A diferença entre alisamento e ondulação reside

na conformação inicial do cabelo antes da aplicação da etapa de oxidação. Os agentes de redução comumente utilizados incluem tióis, como tioglicolato de amônia, ácido tioglicólico, tioglicolato de monoetanolamina e ácido tiolático, além dos sulfetos.⁴⁷

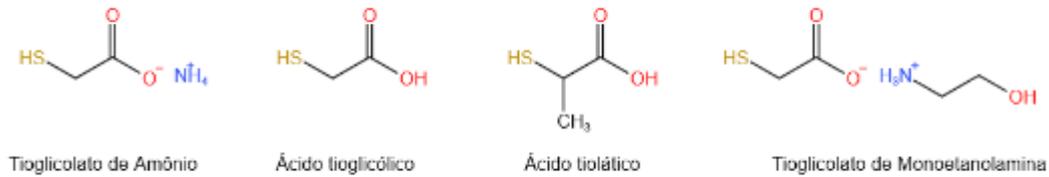
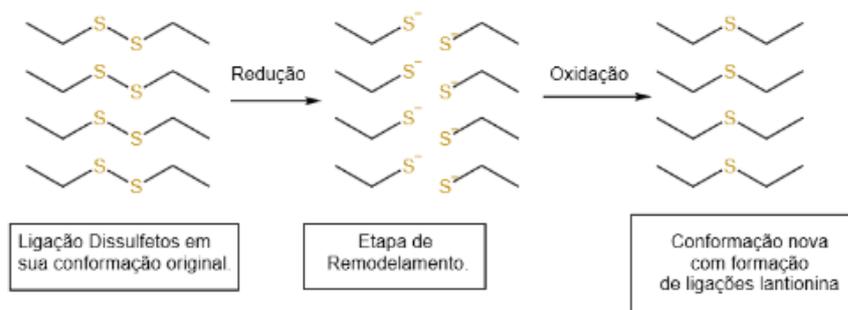


Figura 29: Estruturas moleculares do tioglicolato de amônia, ácido tioglicólico, tioglicolato de monoetanolamina e ácido tiolático.

Fontes: Confeccionado pela autora.

A técnica de alisamento com tióis se diferencia dos métodos tradicionais pelo uso de calor entre o agente redutor e o agente oxidante. O agente redutor desagrupa as ligações de enxofre, e com a aplicação de calor, que induz a nova conformação, utiliza-se um agente oxidante, como peróxido de hidrogênio ou bromato de sódio. Esse agente oxidante restaura as ligações de cistina, consolidando o novo formato dos cabelos. Esse formato é caracterizado pelas ligações de lantionina, estabelecidas entre um carbono, um átomo de enxofre e mais um carbono.⁴⁸

Figura 29: Mecanismo de alisamento tioglicolato.



Fonte: adaptação de imagem do Livro *Estética Capilar*

Algumas precauções são necessárias ao utilizar alisantes, desaconselhando-se seu uso após descolorações e relaxamentos capilares, embora sejam compatíveis com algumas

colorações. Alisamentos à base de tioglicolato, mesmo com diferentes nomes de produtos, seguem princípios semelhantes.^{47,48}

Sulfetos, menos agressivos aos fios, são menos utilizados devido ao seu pH (entre 5 e 6), que não é eficaz em cabelos mais cacheados. A neutralização após a aplicação de sulfetos mantém a conformação desejada.⁴⁹

Os primeiros alisamentos à base de soda cáustica, agressivos, evoluíram, eliminando a soda. Alisantes com hidróxido de sódio, lítio ou guanidina agem em pH mais alto (acima de 10), sendo indicados para cabelos afro étnicos, porém aumentam porosidade e risco de quebra.⁴⁴

A carbocisteína, substituta do formol, afeta a estrutura capilar, demonstrando danos no microscópio eletrônico. Sua ação nas ligações dissulfeto ainda não está totalmente esclarecida.⁴⁴

Apesar da proibição, produtos com altas concentrações de formol ainda são encontrados, apresentando riscos à saúde. O formol, considerado cancerígeno, pode causar danos à pele, olhos e vias respiratórias, sendo especialmente prejudicial em exposições prolongadas.⁵⁰

As diferenças étnicas nos fios, como ondulado, liso e crespo, refletem características genéticas. Cuidados específicos são necessários para cada tipo, considerando a estrutura capilar e a composição básica de queratina.^{51,52}

As diferenças na estrutura dependem da secção transversal e de como o fio cresce.

Ondulado (sinótrico) –vai desde ondulado até bastante cacheado, abrange alguns grupos étnicos, principalmente a raça europeia. Possuem uma secção transversal muito mais variada, porém é mais ou menos elíptica/oval. Normalmente nascem lisos na raiz e formam cachos ao longo do fio, por isso tendem a ser menos ressecados que os crespos. Devido à sua secção transversal elíptica, o sebo, produzido pelas glândulas sebáceas, consegue escorregar pelo fio, assim esse fio é mais hidratado e forte. Se o fio de cabelo for mais cacheado do que ondulado, pode ser seco nas pontas e oleoso na raiz.⁵¹

Liso (lisótrico) – na secção transversal seu diâmetro é maior e redondo/cilíndrico. Os folículos retos são vistos em orientais e índios americanos e asiáticos. Por seu formato cilíndrico, normalmente são cabelos oleosos e sem volume, pois o sebo produzido consegue se espalhar por todo o fio.⁵¹

Crespo (ulótrico/afro) – é o cabelo característico de afrodescendentes. Seu corte transversal é elíptico ou helicoidal/achatado. Possuem uma secção transversal achatada e fina, formando o cabelo crespo e encaracolado com anéis de até poucos milímetros de diâmetro.

São extremamente sensíveis, frágeis, pouco resistentes e rompem com facilidade. São necessários cuidados especiais e produtos específicos de tratamento. Geralmente são ressecados e não suportam química forte e apresentam menor conteúdo de água em relação ao cabelo caucasiano.⁵¹

Sobre o aspecto químico, em termos de proteínas e aminoácidos, os cabelos sinótricos, lisótricos e ulfóricos são iguais, já que nenhuma diferença significativa relativa à composição química entre esses tipos de cabelo foi estabelecida definitivamente.⁵²

6 METODOLOGIA

A presente dissertação adota a abordagem de pesquisa quantitativa básica, com o objetivo de compreender a influência do poder oxidante e do uso de protetores químicos, conhecidos como plex, em processos de descoloração capilar. A estratégia de pesquisa é descritiva, buscando conhecer e interpretar a realidade sem modificá-la, conforme proposto por Merriam (2002) e Triviños (1987). A microscopia de luz polarizada (MOLP) foi utilizada para analisar mudanças estruturais, e, além disso, o estudo incluiu a análise de infravermelho para compreender a desestruturação da fibra capilar.

Para o estudo, foram selecionadas 9 amostras de cabelos distintas, incluindo naturais, coloridos, descoloridos, com progressivas e definitivas. Testes de descoloração foram conduzidos com diferentes volumes de oxidantes (10, 20, 30, 40) e tempos de ação. A análise de infravermelho visa identificar mudanças moleculares específicas na fibra capilar, enquanto a MOLP permitiu observar diferenças estruturais entre cabelos naturais e processados quimicamente.

Para facilitar a compreensão das amostras e das técnicas utilizadas no estudo descritivo, uma tabela foi elaborada, detalhando a identificação de cada amostra e seus estados correspondentes. A nomenclatura adotada segue um padrão claro: A1 representa a amostra 1, A2 a amostra 2, e assim por diante. A designação do estado da amostra é indicada pelo termo "S" seguido de um número, onde "S0" representa o estado inicial, sem qualquer parâmetro testado. Os demais estados são categorizados conforme os processos de descoloração realizados em diferentes intervalos de tempo: "S1" para 30 minutos, "S2" para 60 minutos e "S3" para 120 minutos.

É importante notar que as amostras A1 e A3 foram submetidas ao teste de descoloração no tempo "S1". Além disso, a amostra A1 foi submetida a dois parâmetros adicionais: a variação no uso de uma solução protetora para descoloração e a escolha entre dois pós descolorantes de marcas diferentes. Por outro lado, a amostra A2 foi submetida a três diferentes tempos de descoloração e a diferentes volumes de água oxigenada, identificados como "V10" (10 volumes), "V20" (20 volumes), "V30" (30 volumes) e "V40" (40 volumes).

Essa nomenclatura proporciona uma organização clara e sistemática das amostras, facilitando a compreensão dos experimentos realizados e permitindo uma análise precisa dos resultados obtidos em cada condição testada.

Amostras	MOLP	Infravermelho
A1S0	X	X
A1S1-1	X	X
A1S1-2	X	X
A1S1-3	X	X
A2S0	X	X
A2S1V10	X	X
A2S1V20	X	X
A2S1V30	X	X
A2S1V40	X	X
A2S2V10	X	X
A2S2V20	X	X
A2S2V30	X	X
A2S2V40	X	X
A2S3V10	X	X
A2S3V20	X	X
A2S3V30	X	X
A2S3V40	X	X
A3S0	X	X
A3S1-1	X	X
A3S1-2	X	X
A3S1-3	X	
A4S0	X	
A5S0	X	
A6S0	X	
A7S0	X	
A8S0	X	
A9S0	X	

A Microscopia Óptica de Luz Polarizada (MOLP) representa uma ferramenta valiosa na análise da estrutura da fibra capilar. Esta técnica baseia-se na propriedade da luz polarizada, permitindo a observação das variações moleculares presentes nos componentes capilares, tais como cutícula, córtex e medula. Um dos fenômenos notáveis observados através da MOLP é

a birrefringência, que ocorre devido às diferenças de orientação molecular em diferentes regiões da fibra capilar. A birrefringência proporciona informações detalhadas sobre a organização e integridade dos microfilamentos de queratina, revelando alterações estruturais durante processos estéticos. A análise por MOLP é essencial para distinguir características entre cabelos naturais e aqueles submetidos a procedimentos químicos, contribuindo para a compreensão das mudanças moleculares ocorridas na fibra capilar.

Já a Espectroscopia de Infravermelho é uma técnica analítica que explora a interação entre a luz infravermelha e as moléculas presentes na fibra capilar. A incidência de luz infravermelha provoca diferentes absorções de energia, dependendo dos tipos de ligações químicas presentes nas moléculas. O espectro resultante fornece informações detalhadas sobre a composição molecular da fibra capilar, permitindo a identificação de grupos funcionais específicos. No contexto capilar, a espectroscopia de infravermelho é particularmente útil para avaliar danos moleculares, compreender as transformações químicas durante procedimentos estéticos e identificar a presença de substâncias específicas. A técnica é valiosa para investigar as mudanças moleculares na fibra capilar, oferecendo uma visão aprofundada dos efeitos de processos como descoloração e coloração. Realizou-se a espectroscopia de infravermelho nas amostras A1S0, A1S1-1, A1S1-2, A1S1-3, A3S1-1, A3S1-2, A3S1-3, e nos aminoácidos valina, prolina, isoleucina e alanina. O objetivo foi identificar mudanças significativas na estrutura química do cabelo após os procedimentos

Ambas as técnicas, MOLP e espectroscopia de infravermelho, desempenham papéis cruciais na análise capilar, proporcionando insights detalhados sobre a estrutura e composição da fibra capilar em níveis moleculares. A utilização dessas técnicas avançadas permite uma compreensão mais abrangente dos efeitos de procedimentos estéticos na fibra capilar, contribuindo para aprimoramentos nas práticas da indústria de cuidados capilares. As amostras analisadas no infravermelho foram obtidas por meio do aparelho FTIR Nicolet 6700 - Thermo Scientific, com 32 scans e resolução de 4 cm^{-1}

7 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Embora não tenhamos utilizado Olaplex, empregamos outros "protetores químicos" nas amostras A1 e A3 para avaliar eventuais diferenças no cabelo com ou sem esses produtos. Abaixo, descreveremos as amostras para compreender melhor as influências dos processos capilares e aprofundar nosso entendimento sobre o objeto de estudo.

Amostra A1:

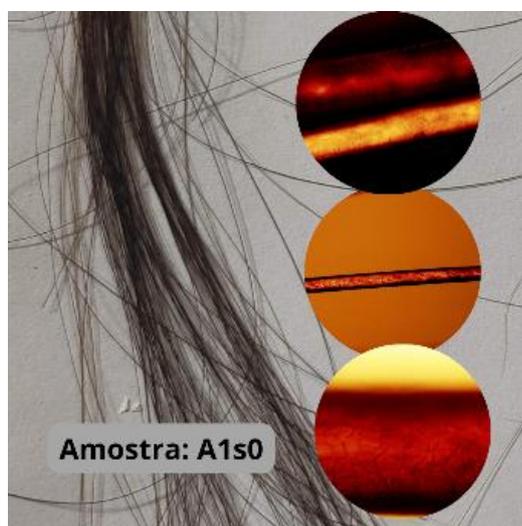
Tipo: Cabelo caucasiano com progressiva.

Altura de tom: 5 (castanho claro).

Observação: Visualmente saudável, com pouca birrefringência e camada cuticular desgastada.

A1S0: Foto acompanhada de micrografias obtidas com microscópio de luz polarizada.

Figura 30: Foto da amostra *A1S0*, acompanhada das micrografias obtidas com microscópio de luz polarizada com ampliação de 100, 200 e 1000mm utilizando lente polarizadas.



Fonte: Imagens e montagem confeccionada pela autora.

Processo de Descoloração:

Utilização de água oxigenada de 20 volumes.

Teste com dois pós descolorantes: com e sem proteção.

Teste com uma solução protetora pré-mechas, associada ao pó sem proteção.

A1S1-1: Descoloração com pó descolorante Schwarzkopf Igora Vario Blond Super Plus Com

Fibre Plex (com proteção).

A1S1-2: Descoloração com pó descolorante Trend Blond Plex da London com Hacker Protection.

A1S1-3: Descoloração com pó descolorante Trend Blond Plex da London sem Hacker Protection.

Observações sobre *A1S1-1*, *A1S1-2* e *A1S1-3*: Camadas cuticulares afetadas, mudança de coloração em *A1S1-2*, birrefringência reduzida em relação a *A1S0*.



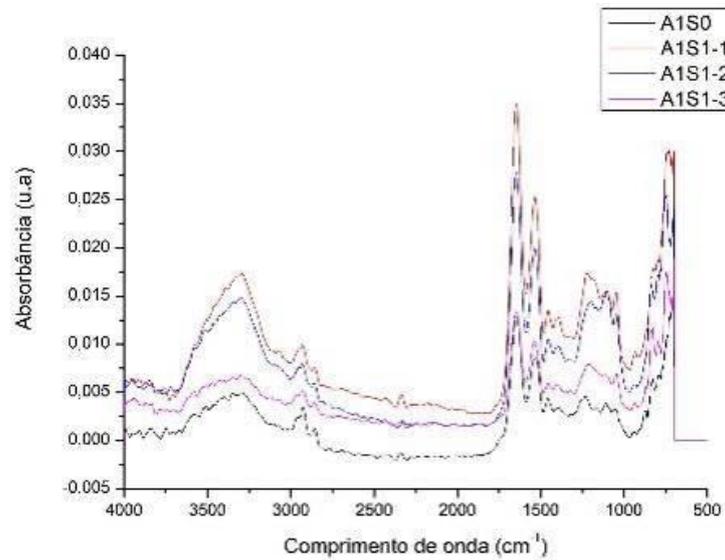
Figura 31: Foto das amostras *A1S1-1*, *A1S1-2*, *A1S1-3* acompanhada das micrografias obtidas com microscópio de luz polarizada com ampliação de 100, 200 e 1000mm utilizando lente polarizadas.

Análises de Infravermelho FTIR:

Gráficos de *A1S0*, *A1S1-1*, *A1S1-2* e *A1S1-3*.

- Não houve surgimento ou desaparecimento de bandas significativas.
- Essa análise será complementada com atribuições de bandas e espectros de aminoácidos.
- Abaixo apresenta-se os quatro gráficos plotados do cabelo sem nenhum procedimento *A1S0*, com descoloração usando o pó com proteção *A1S1-1*, descolorido com pó descolorante sem proteção utilizando uma solução protetora antes da descoloração amostra *A1S1-3* e ainda do cabelo descolorido sem nenhuma proteção *A1S1-3*.
- Pode-se ver que não houve nenhum surgimento ou desaparecimento de bandas, as quatro amostras apresentam espectro muito similares.

Figura 32: Espectro de infravermelho das amostras A1S0, A1S1-1, A1S1-2 e A1S1-3.

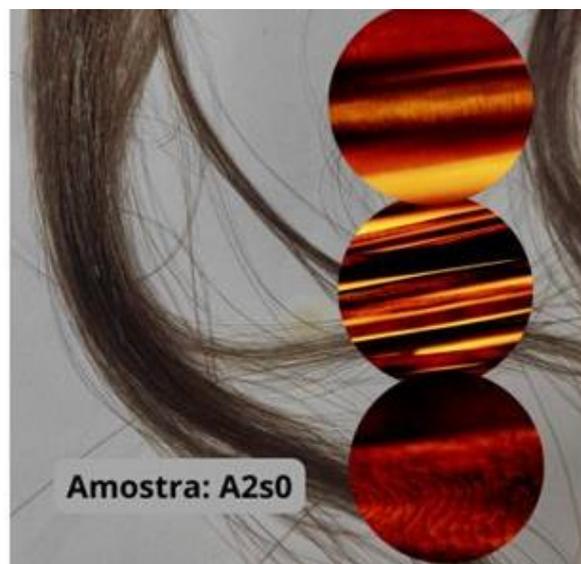


Fonte: Imagem confeccionada pela autora.

Amostra A2:

A amostra A2 refere-se a cabelo caucasiano, com coloração de altura de tom 7 (louro médio) e reflexos de altura de tom 8 (louro médio). Na imagem abaixo, que exibe a foto da amostra com micrografias de luz polarizada, o cabelo apresenta-se visualmente saudável, com alta birrefringência e camada cuticular íntegra.

Figura 33: Foto da amostra A2S0, acompanhada de micrografias obtidas com microscópio de luz polarizada (ampliação de 100, 200 e 1000x usando lentes polarizadas).



Fonte: Imagens e montagem pela autora.

Descoloração com Vários Volumes:

A2S1: Descoloração em 30 minutos:

Figuras 34 a 37: Descrições das amostras A2S1V10, A2S1V20, A2S1V30 e A2S1V40, descoloridas com diferentes volumes em 30 minutos.



- Fundo de clareamento semelhante com os diferentes volumes.
- Melhor aparência da camada cuticular com água oxigenada de 20 volumes.
- Diminuição da birrefringência com o aumento do volume do oxidante.

A2S2: Descoloração em 60 minutos:

- Menor semelhança no fundo de clareamento em comparação aos 30 minutos.
- Desgaste severo na camada cuticular, birrefringência reduzida em comparação com A2S0.

Figuras 38 a 41: Descrições das amostras A2S2V10, A2S2V20, A2S2V30 e A2S2V40, descoloridas com diferentes volumes em 60 minutos.

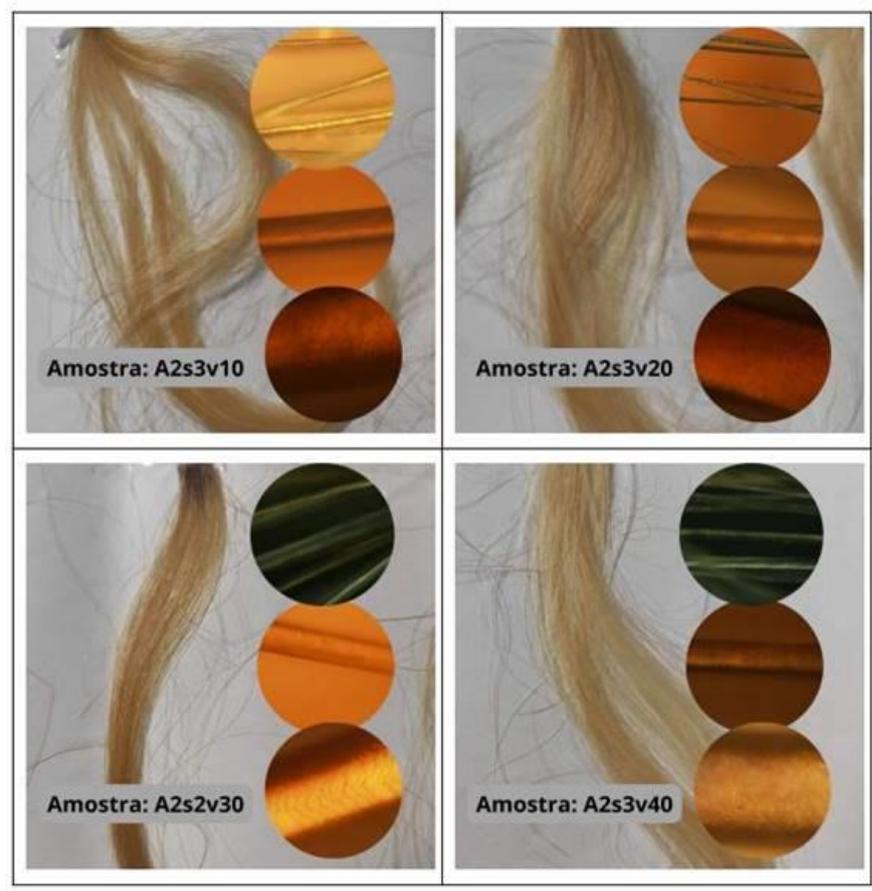


A2S3: Descoloração em 120 minutos:

- Semelhança no fundo de clareamento com diferentes volumes.
- Desgaste severo na camada cuticular, ausência de birrefringência na amostra A2S3V40.

Esse conjunto de análises permite uma compreensão abrangente dos efeitos da descoloração em diferentes condições, destacando aspectos como o fundo de clareamento, a integridade da camada cuticular e a birrefringência em distintos tempos e volumes de oxidante.

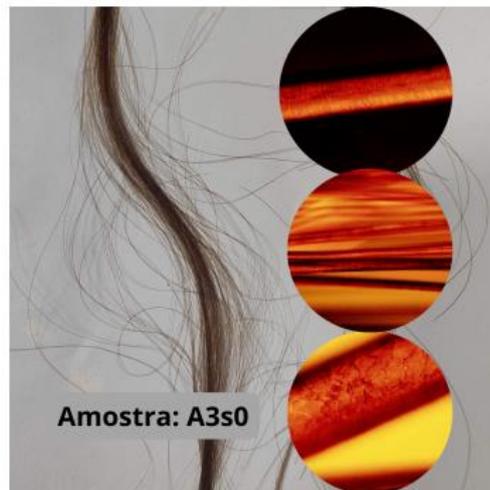
Figuras 42 a 45: Descrições das amostras A2S3V10, A2S3V20, A2S3V30 e A2S3V40, descoloridas com diferentes volumes em 120 minutos.



Amostra A3:

A amostra A3 representa cabelo caucasiano, colorido como louro escuro (altura de tom 7). o cabelo apresenta-se visualmente saudável, com alta birrefringência e camada cuticular desgastada.

Figura 46: Foto da amostra A3S0, com micrografias por microscópio de luz polarizada (ampliação de 100, 200 e 1000µm usando lentes polarizadas).



Fonte: Imagens e montagem pelo autor.

Descoloração:

O processo de descoloração foi conduzido utilizando água oxigenada de 20 volumes. A avaliação incluiu dois pós descolorantes distintos, um com proteção (Fibre Plex) e outro sem, além da análise com uma solução protetora pré-mechas.

A3S1-1: Utilização do pó descolorante Schwarzkopf Igora Vario Blond Super Plus com Fibre Plex (descrito em A1S1-1).

A3S1-2: Descoloração com pó descolorante Trend Blond Plex da London com Hacker Protection

A3S1-3: Descoloração com pó descolorante Trend Blond Plex da London sem Hacker Protection

Figura 47: Foto das amostras A3S1-1, A3S1-2, A3S1-3 acompanhada das micrografias obtidas com microscópio de luz polarizada com ampliação de 100, 200 e 1000µm utilizando lente polarizadas.



Fonte: Imagens e montagem pela autora.

Amostra A3S1-1:

- Considerável redução da birrefringência e desgaste moderado nas camadas cuticulares em comparação com A3S0.
- Manutenção superior de integridade e birrefringência em comparação com A3S1-2 e A3S1-3.

Amostra A1S1-2:

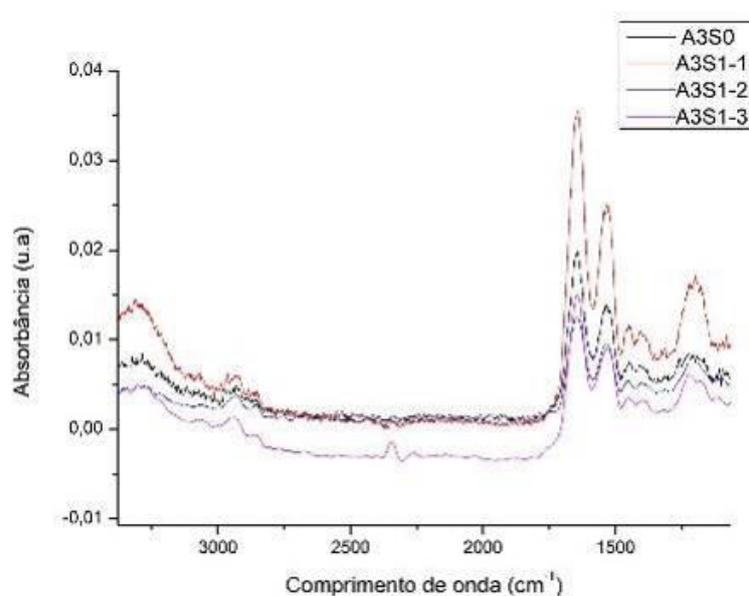
- Acentuada diminuição na camada cuticular e birrefringência, resultando em opacidade pronunciada.

Amostra A3S1-3:

- Acentuada diminuição na camada cuticular e birrefringência, com notável coloração esverdeada em luz polarizada.

Análises de Infravermelho FTIR:

Figura 48: Espectro de infravermelho das amostras A3S0, A3S1-1, A3S1-2 e A3S1-3.



Fonte: Imagem confeccionada pela autora.

- Não foram observados surgimentos ou desaparecimentos significativos de bandas nos espectros, indicando similaridades entre as quatro amostras. As atribuições de bandas serão detalhadas nas análises de infravermelho, juntamente com os espectros de aminoácidos.

Amostra A4: Descoloração Extrema - Louro Claríssimo (Altura de Tom 10)

Figura 49: Foto da amostra A4S0, com micrografias por microscópio de luz polarizada (ampliação de 100, 200 e 1000µm usando lentes polarizadas).



Fonte: Imagens e montagem pela autora.

- Descoloração extrema para louro claríssimo (tom 10).
- Visualmente saudável, sem birrefringência e com desgaste na camada cuticular.

Amostra A5: Coloração - Louro Escuro (Altura de Tom 6)

Figura 50: Foto da amostra A5S0, com micrografias por microscópio de luz polarizada (ampliação de 100, 200 e 1000µm usando lentes polarizadas).



Fonte: Imagens e montagem pela autora.

- Cabelo colorido como louro escuro (tom 6).

- Visualmente saudável, com birrefringência média e desgaste na camada cuticular.
- Amostra A6: Descoloração Parcial com Luzes - Louro Claro (Altura de Tom 9)**

Figura 51: Foto da amostra A6S0, com micrografias por microscópio de luz polarizada (ampliação de 100, 200 e 1000mm usando lentes polarizadas).



Fonte: Imagens e montagem pela autora.

- Descoloração parcial com luzes para louro claro (tom 9).
- Visualmente saudável, com birrefringência e desgaste na camada cuticular.

Amostra A7: Coloração - Castanho Claro (Altura de Tom 5)

Figura 52: Foto da amostra A7S0, com micrografias por microscópio de luz polarizada (ampliação de 100, 200 e 1000mm usando lentes polarizadas).



Fonte: Imagens e montagem pela autora.

- Cabelo colorido como castanho claro (tom 5).
- Visualmente saudável, com birrefringência e camada cuticular íntegra.

Amostra A8: Coloração - Castanho Claro (Altura de Tom 5)

Figura 53: Foto da amostra A8S0, com micrografias por microscópio de luz polarizada (ampliação de 100, 200 e 1000mm usando lentes polarizadas).



Fonte: Imagens e montagem pela autora.

- Cabelo colorido como castanho claro (tom 5).
- Visualmente saudável, com birrefringência média e camada cuticular íntegra.

Amostra A9: Coloração com Luzes - Louro Médio (Altura de Tom 7) e Louro Claro (Altura de Tom 9)

Figura 54: Foto da amostra A9S0, com micrografias por microscópio de luz polarizada (ampliação de 100, 200 e 1000mm usando lentes polarizadas).



Fonte: Imagens e montagem pela autora.

- Cabelo colorido como louro médio (tom 7) com luzes louro claro (tom 9).
- Visualmente saudável, birrefringência média e desgaste na camada cuticular.

Realizou-se a espectroscopia de infravermelho nas amostras A1S0, A1S1-1, A1S1-2, A1S1-3, A3S1-1, A3S1-2, A3S1-3, e nos aminoácidos valina, prolina, isoleucina e alanina. O objetivo foi identificar mudanças significativas na estrutura química do cabelo após os procedimentos, correlacionando com alterações visuais, sensoriais e microscópicas. No entanto, os espectros apresentaram semelhanças notáveis, não indicando mudanças substanciais.

Estudos anteriores também não revelaram alterações expressivas nos espectros de infravermelho após procedimentos químicos, contrastando com mudanças evidentes na espectroscopia Raman. As próximas etapas incluem análises das fibras por espectroscopia Raman.

Para compreender melhor os aminoácidos, realizou-se a análise do espectro de infravermelho da valina. O grupo metil da valina, evidenciado pelo estiramento simétrico em 2945 cm^{-1} , é característico. Estiramentos de ligações C-C e C-H, e ácido carboxílico, também foram observados.

A prolina, representada pelo estiramento NH₂ em 3375 cm^{-1} e estiramento axial S-C em 638 cm^{-1} , exibiu características específicas. O espectro de infravermelho da alanina revelou picos distintos, incluindo estiramento CH₃ em 3084 cm^{-1} e estiramento C-N em 1409 cm^{-1} .

Os espectros de infravermelho dos aminoácidos isoleucina e cisteína também foram analisados, destacando-se características específicas, como estiramentos CH₃ e S-S em suas respectivas regiões.

Ao comparar os espectros das amostras A1S0, A1S1-1, A1S1-2, A1S1-3, não foram observadas absorções relevantes em $2600\text{-}2550\text{ cm}^{-1}$, indicando possível supressão da absorção de estiramento S-H e S-S. Essa limitação pode ser superada com técnicas mais sensíveis, como a espectroscopia Raman.

Em resumo, as análises espectroscópicas de infravermelho forneceram insights sobre a composição química, mas a busca por mudanças sutis exige métodos mais específicos, reforçando a necessidade de análises complementares.

O espectro de infravermelho do aminoácido valina, obtido de um padrão Aldrich com 99% de pureza, lote 6024J.

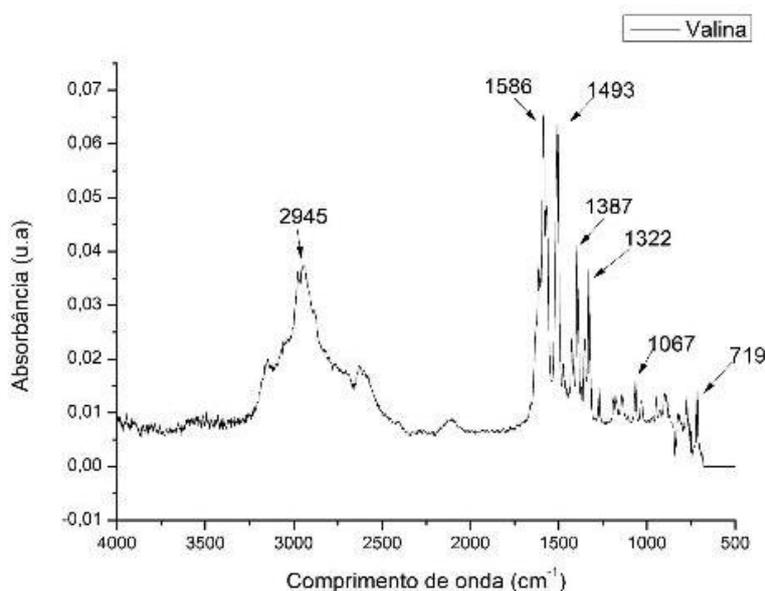


Figura 55: Espectro de infravermelho do aminoácido valina.

Fonte: Imagem confeccionada pela autora.

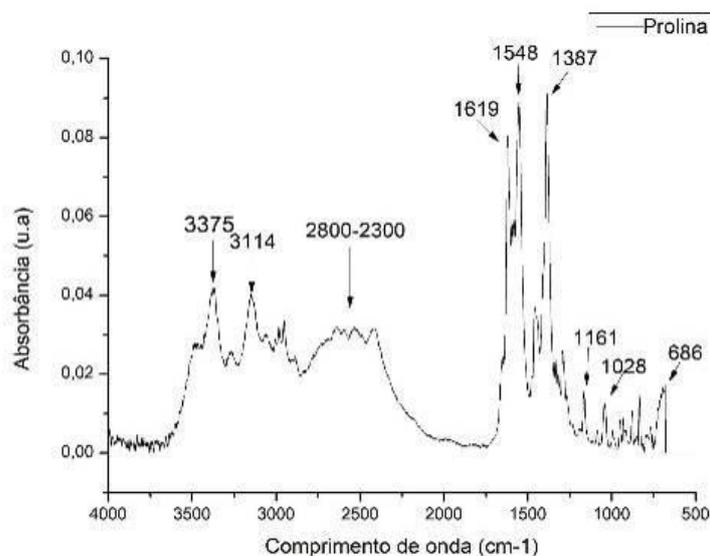
O grupo metil geralmente apresenta estiramento simétrico e assimétrico, a valina possui um grupo metila na cadeia lateral. O alongamento simétrico do grupo CH_3 geralmente ocorre na faixa de $2850\text{-}2950\text{ cm}^{-1}$ enquanto que o alongamento assimétrico aparece em $2950\text{-}3000\text{ cm}^{-1}$. No espectro obtido podemos ver que temos um pico bem determinado em 2945 cm^{-1} , que supõe-se ser do estiramento simétrico do grupo metil.

Tem-se o estiramento das ligações C-C e C-H que podem aparecer na faixa de $28000\text{ -}3100\text{ cm}^{-1}$ o qual existe, porém não é bem definido o que pode ocorrer pois há uma sobreposição de todos esses estiramentos formando uma banda rotovibracional.

A faixa do ácido carboxílico geralmente ocorre em $1650\text{-}1550\text{ cm}^{-1}$, sendo assim podemos atribuir o pico 1586 cm^{-1} ao ácido carboxílico. Os dubletos sobrepostos podem ser atribuídos ao isopropil. As bandas de $1000\text{-}800\text{ cm}^{-1}$ podem ser atribuídas à deformação angular C-H, assim como deformação angular para fora do plano do metileno em 719 cm^{-1} . Em relação ao grupo amina temos atribuições na literatura em $3350\text{-}3310$ sendo essa absorção fraca. Nessa região temos absorbância porém muito franca, não formando um pico bem definido.

O espectro de infravermelho do aminoácido prolina, obtido de um padrão Aldrich com 99% de pureza, lote 04412CR.

Figura 56: Espectro de infravermelho do aminoácido Prolina.

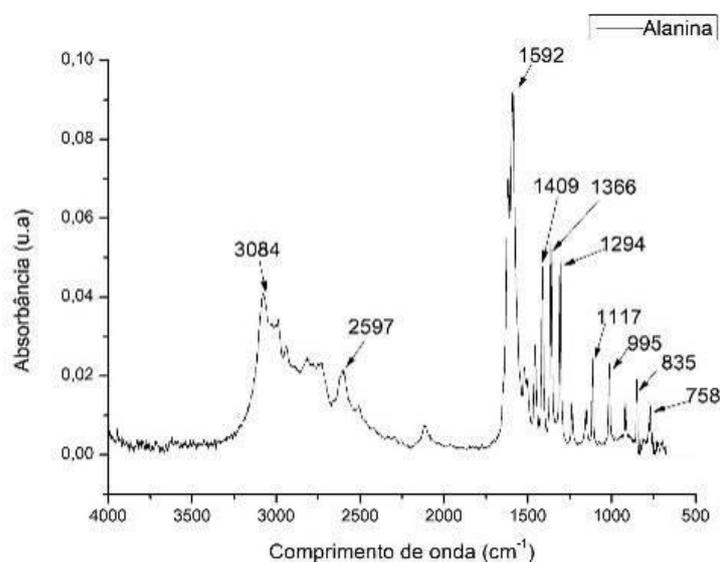


Fonte: Imagem confeccionada pela autora.

O estiramento NH_2 das ligações N-H geralmente aparecem em 3200-3500, pode-se observar um pico em 3375 que pode ser atribuído ao grupamento amina. As vibrações no anel pirrol são 670-1450, tem-se picos bem definidos em 1387, 1161, 1028 e 686 o qual atribui-se às vibrações do pirrol. Os estiramentos do grupo alifático (C-C e C-H) em 2800-3100, atribui-se a banda de 2800-2300 aos estiramentos alifáticos. Ácido carboxílico geralmente ocorre em 1650-1550 cm^{-1} , consegue-se ver um duplete bem definido entre 1619 e 1548 cm^{-1} , o qual acredita-se ser do ácido carboxílico.

O espectro de infravermelho do aminoácido alanina, obtido de um padrão Vetec com 99% de pureza, lote 0602557.

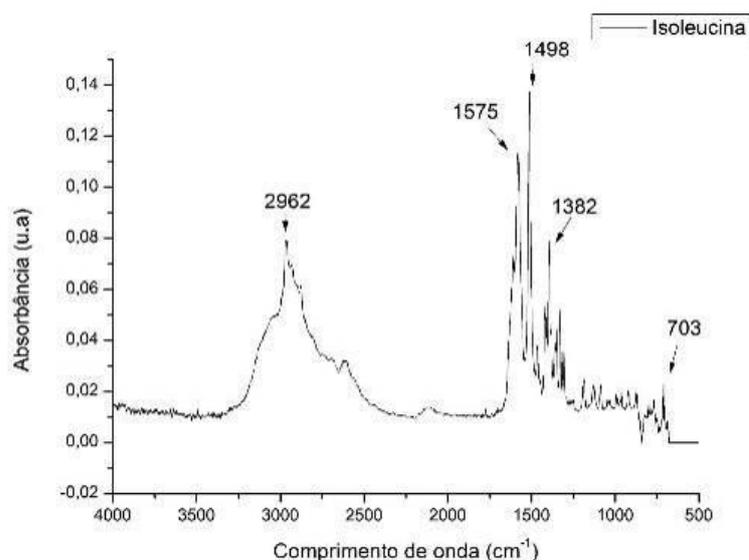
Figura 57: Espectro de infravermelho do aminoácido Alanina.



Fonte: Imagem confeccionada pela autora.

Pode-se atribuir o estiramento CH_3 à banda 3084 cm^{-1} , estiramento do ácido carboxílico em 1592 cm^{-1} , os picos 1409 , 1366 e 1294 cm^{-1} ao alongamento C-N. E a deformação angular do C-H e C-C em 1117 , 995 e 835 cm^{-1} . E a deformação angular do grupo metila em 758 cm^{-1} . Abaixo tem-se a estrutura molecular da alanina para melhor entendimento dos grupos funcionais citados nas atribuições.

Figura 58: Espectro de infravermelho do aminoácido Isoleucina.

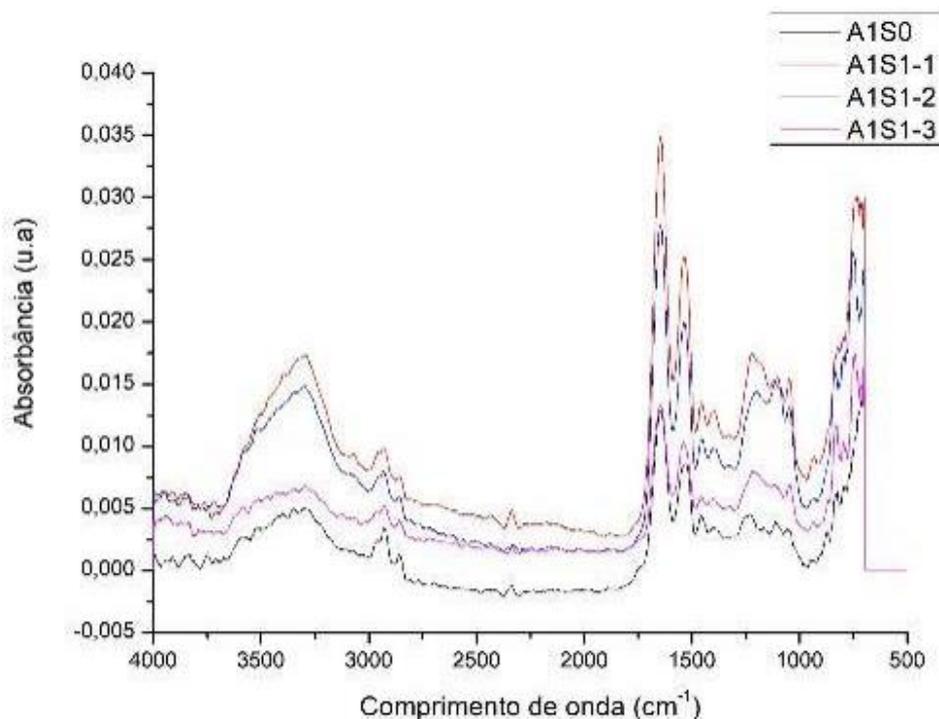


Fonte: Imagem confeccionada pela autora.

Os estiramentos CH_3 podem ser atribuídos ao pico 2962 cm^{-1} ; 1575 cm^{-1} ao ácido carboxílico, estiramento 1498 cm^{-1} ao alongamento da ligação C-N, e a deformação angular C-H e C-C 1382 cm^{-1} com o pico 703 cm^{-1} sendo atribuído à deformação angular CH_3 . Para as atribuições de bandas nos espectros das amostras optou-se por fazer na A1S0, A1S1-1, A1S1-2, A1S1-3 como já citados os espectros se assemelha muito e, portanto, acredita-se que as atribuições sejam válidas para ambos.

Observa-se um perfil bem semelhante aos espectros de aminoácidos, com bandas bem próximas. Para as amostra observou-se um máximo de absorção em 3310 cm^{-1} que pode-se atribuir ao estiramento do NH livre, uma banda com máximo em 2928 cm^{-1} que atribui-se aos estiramento assimétricos e simétricos do CH_3 ; 1647 cm^{-1} deformação da carbonila, 1526 cm^{-1} deformação do ácido carboxílico, e em 1189 cm^{-1} deformação da ligação C-H, por fim em 730 cm^{-1} tem-se a deformação angular da metila.

Figura 59: Espectro Infravermelho das amostras A1S0, A1S1-1, A1S1-2, A1S1-3.



Fonte: Imagem confeccionada pela autora.

O aminoácido cisteína tem grande importância quando falamos do cabelo e de suas transformações de forma e cor. Ao longo da revisão bibliográfica, pode-se ver que são as pontes de S-S que mais são afetadas pelos tratamentos. Infelizmente não obteve-se a disposição para a realização do espectro de infravermelho. Portanto, buscou-se o espectro de infravermelho da cisteína na literatura para discutirmos a sua semelhança com o espectro das amostras de cabelo.

As bandas de estiramento axial para ligações S-H estão compreendidas na região entre (2600-2550) cm^{-1} . Para a cisteína os valores encontrados para $\nu(\text{SH})$ foram 2594 cm^{-1} , 2552 cm^{-1} e 2507 cm^{-1} . Para a ligação S-C a literatura indica que as bandas de estiramento axial se encontram na região entre (700-600) cm^{-1} . Para o $\nu(\text{C-S})$ o valor encontrado foi igual a 638 cm^{-1} . A análise espectroscópica vibracional das principais bandas no espectro infravermelho pode ser encontrada na tabela 3.

Tabela 3: Principais bandas atribuídas utilizando espectroscopia de infravermelho da Cisteína.

Frequência (cm ⁻¹)	Atribuição
3179	$\nu(\text{O-H}), \nu(\text{N-H})$
2963	$\nu(\text{C-H})$
2594, 2552, 2507	$\nu(\text{S-H})$
1605, 1425	$\nu(\text{C=O})$
1547	$\delta(\text{N-H})$
1393	$\delta(\text{H-C-H})$
1348	$\delta(\text{C-N})$
1296, 1269	$\nu(\text{C-O})$
941	$\delta(\text{O-H})$
638	$\nu(\text{C-S})$

Fonte: Coleta de dados.

As bandas de estiramento axial para ligações S-S estão compreendidas na região entre (400-500) cm⁻¹. Para a Cistina o valor encontrado para $\nu(\text{S-S})$ foi 453 cm⁻¹. Para a ligação S-C a literatura indica que as bandas de estiramento axial foram 673 cm⁻¹. A análise espectroscópica vibracional das principais bandas no espectro infravermelho pode ser encontrada na tabela 4.

Tabela 4: Principais bandas atribuídas utilizando espectroscopia de infravermelho da Cistina.

Frequência (cm ⁻¹)	Atribuição
3429, 3021	$\nu(\text{O-H})$
2972, 2916	$\nu(\text{C-H})$
1624, 1485	$\nu(\text{C=O})$
1585	$\delta(\text{N-H})$
1406, 1381	$\delta(\text{H-C-H})$
1335	$\delta(\text{C-N})$
1294	$\nu(\text{C-O})$
961	$\delta(\text{O-H})$
673	$\nu(\text{C-S})$
453	$\nu(\text{S-S})$

Fonte: Coleta de dados.

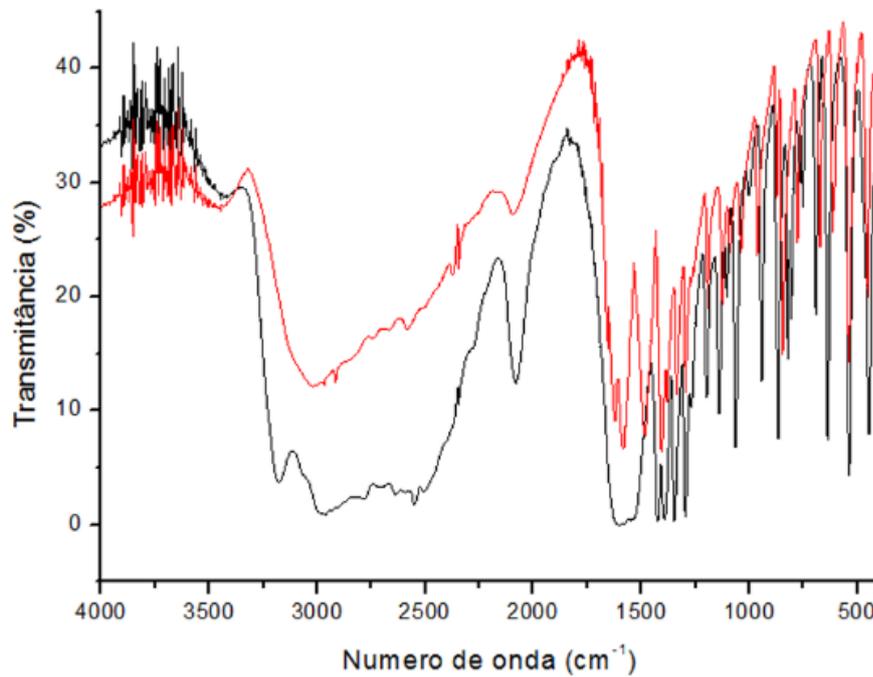


Figura 60: Espectros no infravermelho entre a Cisteína (preto) e a Cistina (vermelho).
Fonte: Farmacam (2023).

Em preto temos o espectro da Cisteína, enquanto o espectro da Cistina está em vermelho. Percebe-se uma clara diminuição no espectro da Cistina, na região entre (2600 – 2550) cm^{-1} caracterizada pelas ligações de estiramento axial S-H, por conta da perda do hidrogênio na oxidação. Ocorre também a presença de um estiramento axial S-S.

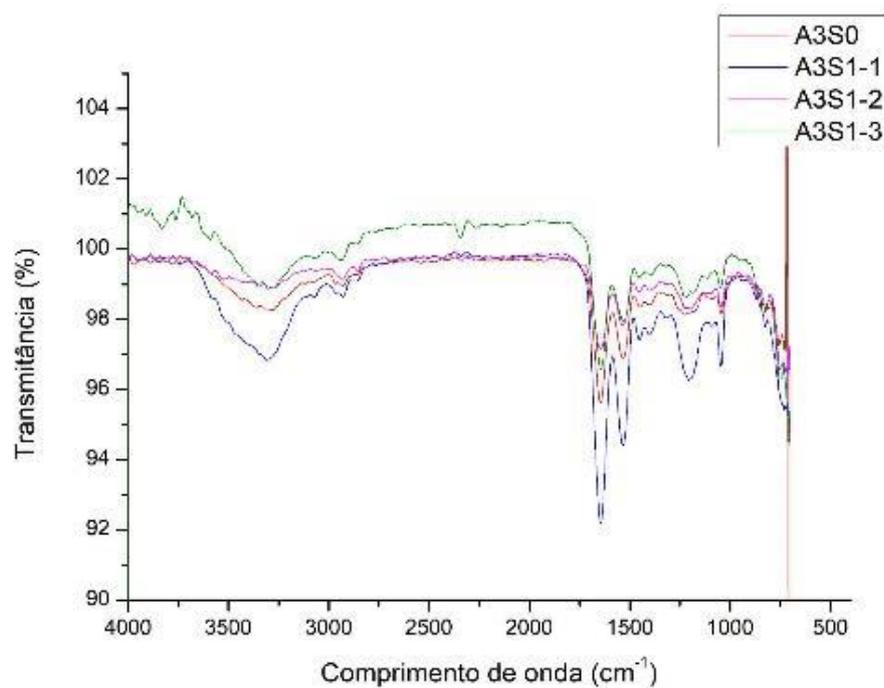


Figura 61: Espectro Infravermelho das amostras A3S0, A3S1-1, A3S1-2, A3S1-3 em transmitância.
Fonte: Imagem confeccionada pela autora.

8 CONCLUSÃO

O presente trabalho revela lacunas na exploração da vastidão da química capilar, com escassez de estudos recentes. A investigação de reações químicas em procedimentos estéticos, apoiada pela micrografia de luz polarizada, destaca danos nas camadas cuticulares e a diminuição da birrefringência, evidenciando desnaturação da fibra capilar.

Em relação à análise infravermelha, a técnica isolada mostra limitações na caracterização de ligações dissulfídicas, cruciais nos processos estéticos. A associação com espectroscopia Raman é sugerida para uma avaliação mais abrangente.

Os dados analisados indicam que o uso de oxidante de alta volumagem não só aumenta a fragilidade do fio, mas também não apresenta maior eficácia na descoloração. A eficácia dos protetores, denominados "plex", permanece inconclusiva, apesar de melhorias visuais aparentes em micrografias. A necessidade de análises térmicas (TGA) para avaliar a proteção das ligações dissulfídicas e o uso de protetores térmicos é ressaltada.

O estudo sugere perspectivas de pesquisa em áreas pouco exploradas, como o mecanismo de reações em alisamentos e a análise de produtos de decomposição de alisantes sem formol. Além disso, a continuidade dos estudos com espectroscopia Raman, microscopia eletrônica de varredura (MEV) e análises de máscaras de reconstrução em cabelos fragilizados é recomendada.

Quanto à perspectiva profissional, almeja-se aprimorar os serviços de cabeleireira, investindo em cursos e melhores produtos. A educação profissionalizante, especialmente na área da beleza, é um foco, incluindo cursos de aperfeiçoamento para profissionais já formados. Além disso, a divulgação científica nas redes sociais é destacada como meio de tornar a ciência acessível a todos.

Concluindo, a análise dos resultados revela a fragilidade causada pela combinação ou realização rápida de procedimentos químicos capilares. A necessidade de testes de mechas prévios é enfatizada para garantir a segurança e evitar danos irreparáveis, ressaltando a importância da precaução e da compreensão das complexidades da química envolvida nos processos estéticos capilares.

REFERÊNCIAS:

1. RATHI, S. K.; D'SOUZA, P. Shampoo and conditioners: What a dermatologist should know? **Indian Journal of Dermatology**, v. 60, n. 3, p. 248, 2015.
2. HALAL, John. **Tricologia e a química cosmética capilar**. 5. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2014. 304 p.
3. ROBBINS, C. R. **Chemical and physical behavior of Human Hair**. 5th ed. New York: Springer, 2012.
4. VICENTE, Evelyn Daniele Bergamo. **Estética capilar**. Evelyn Daniele Bergamo Vicente; Sabrina Hochheim: UNIASSELVI, 2017.
6. **Vendas de HPPC crescem 4,7% em 2020 e totalizam R\$ 122,4 bilhões**. Disponível em: <<https://abihpec.org.br/vendas-de-hppc-crescem-47-em-2020-e-totalizam-r-1224-bilhoes/>>.
7. **Números mostram a pujança dos negócios de beleza - Sebrae**. Disponível em: <<https://sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/numeros-mostram-a-pujanca-dos-negocios-de-beleza,dc88327896a76810VgnVCM1000001b00320aRCRD>>. Acesso em: 26 dez. 2023.
8. MORIN, Edgar. *Cultura de Massas no século XX*. volume 1. Neurose, . editora Forense Universitária. Rio de Janeiro: 1997
9. MANNING, J. The Sociology of Hair: Hair Symbolism Among College Students, *Social Sciences Journal*, v. 10, p. 35-48, 2011.
10. BANKHEAD, T.; JOHNSON, T. Self-Esteem, Hair-Esteem and Black Women with Natural Hair. *International Journal of Education and Social Science*. v. 1, n. 4, p; 92-102, 2014.
11. SILVA, B. G. F.; FARIAS, S. A. DE; SOUSA JÚNIOR, J. H. DE. O significado do sacrifício nos rituais de alisamento capilar e autoimagem feminina. **Revista de Ciências da Administração**, v. 22, n. 58, p. 8–21, 2021.
12. Popescu C, Gummer C. DSC of human hair: a tool for claim support or incorrect data analysis? *Int J Cosmet Sci*. 2016 Oct;38(5):433-9. doi: 10.1111/ics.12306. Epub 2016 Feb 15. PMID: 26780578.
13. LIMA, C. R. R. C. Caracterização físico-química e analítica de fibras capilares e ingredientes cosméticos para proteção. 2016. 210p. Tese (doutorado) – Faculdade de Ciências Farmacêuticas da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2016.
14. RICHENA, M. Alterações nos Cabelos não Pigmentados Causadas por Radiação Ultravioleta, Visível e Infravermelha. Mestrado, 2011, Unicamp.
15. RICHENA, M.; REZENDE, C.A. **Morphological degradation of human hair cuticle**

due to simulated sunlight irradiation and washing. 2016. DOI: 10.1016/j.jphotobiol.2016.06.002.

16. ZHANG, Y. et al. Serum Levels of Androgen-Associated Hormones Are Correlated with Curative Effect in Androgenic Alopecia in Young Men. **Medical Science Monitor**, v. 24, p. 7770–7777, 30 out. 2018.

17. FISCHER, T. W. et al. New effects of caffeine on corticotropin-releasing hormone (CRH)-induced stress along the intrafollicular classical hypothalamic–pituitary–adrenal (HPA) axis (CRH-R1/2, IP 3 -R, ACTH, MC-R2) and the neurogenic non-HPA axis (substance P, p75 NTR and TrkA) in ex vivo human male androgenetic scalp hair follicles. **British Journal of Dermatology**, v. 184, n. 1, p. 96–110, 24 jun. 2020.

18. MIRANDA-VILELA, A. L.; BOTELHO, A. J.; MUEHLMANN, L. A. An overview of chemical straightening of human hair: technical aspects, potential risks to hair fibre and health and legal issues. **International Journal of Cosmetic Science**, v. 36, n. 1, p. 2–11, 18 out. 2013.

19. DARIO, M. F.; BABY, A. R.; VELASCO, M. V. R. Effects of solar radiation on hair and photoprotection. **Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology**, v. 153, p. 240–246, 1 dez. 2015.

20. LEERUNYAKUL, K.; SUCHONWANIT, P. Asian Hair: A Review of Structures, Properties, and Distinctive Disorders. **Clinical, Cosmetic and Investigational Dermatology**, v. Volume 13, p. 309–318, abr. 2020.

21. HARDING, H. W. J.; ROGERS, G. E. ϵ -(γ -Glutamyl) lysine cross-linkage in citrulline-containing protein fractions from hair. **Biochemistry**, v. 10, n. 4, p. 624–630, 16 fev. 1971.

22. SWIFT, J. ALAN. The Mechanics of Fracture of Human Hair. **International Journal of Cosmetic Science**, v. 21, n. 4, p. 227–239, ago. 1999.

23. GARGANO, E. M. et al. Persulfate Reaction in a Hair-Bleaching Formula: Unveiling the Unconventional Reactivity of 1,13-Diamino-4,7,10-Trioxatridecane. **ChemistryOpen**, v. 7, n.

5, p. 319–322, 25 mar. 2018.

24. YU, Y. et al. Structure and mechanical behavior of human hair. **Materials Science and Engineering: C**, v. 73, p. 152–163, abr. 2017.

25. EL-KHORDAGUI, L.; BADAWEY, S. E.; HEIKAL, L. A. **Chapter 3 - Application of biosurfactants in the production of personal care products, and household detergents and industrial and institutional cleaners.** Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780128233801000058>>.

26. BARBOSA, A. B.; SILVA, R. R. Xampus. *Química Nova na Escola*, nº 2, Nov/1995.

27. NOGUEIRA, Ana Carolina Santos. Efeito da radiação ultravioleta na cor, na perda protéica e nas propriedades mecânicas do cabelo. **Campinas, Universidade Estadual de Campinas, São Paulo**, 2003.

28. TOKUNAGA, S.; TANAMACHI, H.; ISHIKAWA, K. Degradation of Hair Surface: Importance of 18-MEA and Epicuticle. **Cosmetics**, v. 6, n. 2, p. 31, 9 maio 2019.

29. TORRES, B. B. et al. [BDC] Bioquímica da Beleza. **www.bdc.ib.unicamp.br**, 1 fev. 2006.

30. VAUGHN, M.; VAN OORSCHOT, R.; BAINBUR-HUDSON, S. Hair color measurement and variation. **American Journal of Physical Anthropology**, v. 137, n. 1, p. 91–96, set. 2008.

31 **Produtos de higiene e beleza seguem aquecidos no Brasil - América Latina Português**
- **Kantar Worldpanel.** Disponível em:
<<https://www.kantarworldpanel.com/br/Releases/Produtos-de-higiene-e-beleza-seguem-aquecidos-no-Brasil>>. Acesso em: 20 jan. 2024.

32. **IP Trends In Hair Care Polymers.** Disponível em:
<https://www.happi.com/contents/view_features/2009-11-09/ip-trends-in-hair-care-polymers/>. Acesso em: 22 jan. 2024.

33 SAHLI, F. et al. Formation of methyl radicals derived from cumene hydroperoxide in

reconstructed human epidermis: an EPR spin trapping confirmation by using ^{13}C -substitution. **Free Radical Research**, v. 53, n. 7, p. 737–747, 1 jul. 2019.

34 SAKAMOTO, K. et al. **Cosmetic Science and Technology: Theoretical Principles and Applications**. [s.l.] Elsevier, 2017.

35 NELSON, D.L.; COX, M.M. **Princípios de Bioquímica de Lehninger**. 6. ed. São Paulo: Artmed, 2014.

36 PANDE, C. M.; ALBRECHT, L.; YANG, B. Hair photoprotection by dyes. **Journal of Cosmetic Science**, v. 52, n. 6, p. 377–389, 2001.

37. | **Cosmetics Online Brasil**. Disponível em: <<https://www.cosmeticsonline.com.br/artigo/424>>. Acesso em: 22 jan. 2024.

38 DARIO, M.F.; BABY, A.R.; VELASCO, M.V.R. Effects of solar radiation on hair and photoprotection. **Journal of Photochemistry & Photobiology, B: Biology**. v. 153, p. 240-246, 2015.

39 ALMEIDA, M. R.; MARTINEZ, S. T.; PINTO, A. C. Química de produtos naturais: plantas que testemunham histórias. **Revista Virtual de Química**, v. 9, n. 3, p. 1117-1153, 2017.

40. GANGA, Rita Maria Devós et al. Caracterização de frutos e árvores de populações naturais de *Hancornia speciosa* Gomes do cerrado. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 32, p. 101-113, 2010.

41 SANTOS, J. D; Caracterização de fios de cabelo antes e após tratamentos químicos e físicos PR espectroscopia Raman e no infravermelho e microscopia eletrônica. 2017. 82p. Dissertação (mestrado em química). Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2017.

42 BIONDO, S.; DONATI, B. **Cabelo: cuidados básicos, técnicas de corte, coloração e embelezamento**. 3. ed. Rio de Janeiro: Senac Nacional, 2013. 176 p.

43. **Empresa de private equity acquire a Olaplex**. Disponível em: <<https://cosmeticinnovation.com.br/empresa-de-private-equity-acquire-a-olaplex/>>. Acesso

em: 23 jan. 2024.

44. LYON, S., SILVA, R. C. da S. **Dermatologia estética**. Rio de Janeiro: MedBook, 2015.
45. FRANÇA, S. A. da. **Caracterização dos cabelos submetidos ao alisamento/relaxamento e posterior tingimento**. 2014. 147 p. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Fármacos e Medicamentos – Universidade de São Paulo (USP). São Paulo, Brasil.
46. BIONDO, S.; DONATI, B. **Cabelo: cuidados básicos, técnicas de corte, coloração e embelezamento**. 3. ed. Rio de Janeiro: Senac Nacional, 2013. 176 p.
47. DRAELOS, Z. D. **Dermatologia cosmética: produtos e procedimentos**. São Paulo, Ed. Gen, 2012, 532 p.
48. LEONARDI, G. R.; SPERS, V. R. E. **Cosmetologia e empreendedorismo: perspectivas para a criação de novos negócios**. São Paulo: Pharmabooks, 2015. 525 p.
49. FRANÇA, S. A. da. **Caracterização dos cabelos submetidos ao alisamento/relaxamento e posterior tingimento**. 2014. 147 p. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Fármacos e Medicamentos – Universidade de São Paulo (USP). São Paulo, Brasil.
50. MAIO, M. DE. **Tratado de medicina estética**. V. 1, 2. ed. São Paulo: Roca, 2011A. 527 P.
51. MACHADO, Rosiléa M. Lopes. **Terapia capilar**. Rio de Janeiro: Docslides, 2012. 70 slides, color. Disponível em: <<http://docslide.com.br/documents/apostila-terapia-capilar.html#>>. Acesso em: 20 mar. 2017.
52. KÖHLER, Rita de Cassia Oliveira. **A química da estética capilar como temática no ensino de química e na capacitação dos profissionais da beleza**. 2011. 112 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Química da Vida e Saúde, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011. Disponível em: <<http://docplayer.com.br/22185329-A-quimica-da-estetica->

capilar-como-tematica-no-ensino-de-quimica-e-na-capitacao-dos-profissionais-da-beleza.html>. Acesso em: 23 mar. 2017.

53. MANNING, J. The Sociology of Hair: Hair Symbolism Among College Students, *Social Sciences Journal*, v. 10, p. 35-48, 2011.

54. MARTINEZ, M. **Foliculite** in: *Brasil Escola*. Disponível em: <<http://www.infoescola.com/doencas/foliculite/>>. Acesso em: 23 mar. 2017.

Anexos:

Composição do descolorante IGORA:

Sua formulação é composta por:

Silicato de Sódio e Carbonato de Magnésio que fazem o controle do pH do produto para que o clareamento ocorra de maneira segura para os cabelos;

Persulfato de Potássio, Sódio e Amônia, ativos que auxiliam no clareamento dos fios;

Sílica, que absorve o excesso de oleosidade, deixando os cabelos flexíveis e hidratados;

Polímeros de Acrilato, que possuem alta tolerância à umidade e, dessa forma, evitam a formação de frizz;

Sulfato de Amônia, que facilita a ação das substâncias descolorantes, ou seja, abre os vasos capilares permitindo a penetração de pigmentos e corantes que alteram a cor dos fios;

Glicina, aminoácido que fortalece e repara a estrutura interna do cabelo ao mesmo tempo em que confere hidratação delicada aos fios;

Dimeticona e Óleo Mineral, responsáveis por promover hidratação e emoliência, deixando os cabelos macios e sedosos.

Schwarzkopf Igora Vario Blond Extra Power é indicado como descolorante para cabelos tingidos ou naturais.

Modo de usar: misture a quantidade necessária de Schwarzkopf Igora Vario Blond Extra Power com a Loção Ativadora. A proporção da mistura é de 1:2 (por exemplo, 35g do pó + 70 mL da loção ativadora). Deixe agir de 20 a 45 minutos. Avalie o cabelo a cada 5 minutos. Não acelere o processo com calor adicional de secador ou vapor. Não aplique sobre o cabelo previamente descolorido. Enxágue abundantemente após o tempo recomendado para atuação do produto. Em seguida, aplique shampoo e condicionador. É recomendada sua aplicação através de profissional.

Composição do pó descolorente LONDON:

Desenvolvido para proporcionar maior segurança em todos os processos de descoloração mesmo em cabelos sensíveis e quimicamente tratados, mantendo a integridade dos fios.

Benefícios: Mais segurança Fácil aplicabilidade – Fragrância suave – Clareamento

progressivo – Mantém a saúde do fio – Clareia até 8 tons

Ativos: – Algas marinhas vermelhas e marrons

Detalhes: – Linha: Multi Colors Fusion – Frasco: 400g

Resultado: maior proteção da massa capilar e do CMC, preservando ao máximo a fibra capilar sem atrapalhar o clareamento.

A informação contida no rótulo é: pode ser usado para todas as técnicas de mechas, balayagens, decapagens e clareamento global nas proporções de 1 para dois a 1 para 3, possibilitando um trabalho mais eficiente, seguro e com muita versatilidade.

Tempo de ação: deve ser cronometrado e supervisionado pelo profissional dependendo do grau de clareamento desejado. Após tempo de pausa enxaguar com água morna e shampoo.

Composição: Persulfato de Potássio, Silicato de Sódio, Persulfato de amônio, carbonato de magnésio, estearato de sódio, parafina líquida, goma xantana, alginato de sódio, ácido etilenodiaminotetracético, dióxido de silício, extrato de algas vermelhas e marrons, extrato de algas marinhas, fragrância.

Composição Hacker Protection: 3D London: protetor da fibra capilar, utilizado para procedimentos de mechas, coloração e alisamento com escudo de dupla proteção atuando e preservando os filamentos proteicos do cabelo. pH 4,0.

Benefícios: – Cabelos 2x mais protegidos – Mantém a saúde e beleza dos fios.

Ativos: – Nano sericina – Tecnologia SNA.

Detalhes: – Linha: 3D Fusion – Frasco: 200mL.

Resultado: Cabelos duas vezes mais protegidos preservando a saúde e beleza dos fios. Ideal para todos os procedimentos de mechas, coloração e alisamento.

– Conteúdo da Caixa: 01 Hacker Protection

O rótulo do produto informa:

Modo de usar: aplicar sobre os fios fragilizados e em seguida prosseguir processo químico desejado.

No site da marca e das lojas que comercializam o produto não temos a composição, abaixo temos a composição descrita no rótulo.

Composição: Aqua, Bis-Aminopropyl Dimethicone (and) Trideceth-12 (and) TEA-Dodecylbenzenesul fonate (and) Cetrimonium Chloride, Cyclopentasiloxane, PEG-40/PPG-8 Methylaminopropyl/Hydroxypropyl Dimethicone Copolymer, Panthenol Collagen, Glycerin, Macadamia Ternifolia Nut Oil, Hydrolyzed Wheat Protein, Grape Seed Oil Parfum, Lactic Acid, Phenoxyethanol, Disodium EDTA, BHT, Sodium PCA, Sodium Lactate, Arginine, Aspartic Acid, PCA, Glycine, Alanine, Serine. Valine, Proline, Treonine. Isoleucine,

Histidine, Phenylalanine, Methylchloroiso thiazolinone (and) Methylisothiazolinone