

UNIVERSIDADE ANHEMBI MORUMBI

GETÚLIO DE CASTRO LIMA

**AVALIAÇÃO DE FIBRA CAPILAR HUMANA APÓS APLICAÇÃO DE ÓLEO
OZONIZADO A PARTIR DE FT-IR: ESTUDO *in vitro***

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**MESTRADO EM ENGENHARIA BIOMÉDICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO STRICTO SENSU**

São José dos Campos, junho de 2023

UNIVERSIDADE ANHEMBI MORUMBI

GETÚLIO DE CASTRO LIMA

**AVALIAÇÃO DE FIBRA CAPILAR HUMANA APÓS APLICAÇÃO DE ÓLEO
OZONIZADO A PARTIR DE FT-IR: ESTUDO *in vitro***

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Engenharia Biomédica – Mestrado, da Universidade Anhembi Morumbi, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Biomédica.

Orientadora Profa. Dra. Adriana Barrinha Fernandes Moretti
Co-orientador: Prof. Dr. Carlos José de Lima

São José dos Campos, junho de 2023

DEDICATÓRIA

Em primeiro lugar, dedico a Deus este trabalho. Sem Ele eu não teria capacidade para desenvolvê-lo e as pessoas muito importantes em minha vida, minha esposa e meus filhos que tiveram a compreensão e paciência e que não se importaram com alguns momentos de distanciamento que precisei usar para esta árdua tarefa que me foi confiada pelo desejo de conhecer um pouco mais da área acadêmica, aos meus queridos pais que me incentivaram a sentiriam honrados por mais esta conquista. Dedico este trabalho também a todos que de forma tão generosa e com muita fé, se puseram diante de Deus em orações para que Ele me desse força e graça para a realização deste feito, portanto, a Deus toda glória e louvor e honra, pois só Ele é digno de tais coisas.

Como o Apóstolo Paulo em sua carta aos Filipenses 4:13, disse: “Posso todas as coisas naquele que me fortalece”, assim faço minhas suas palavras. “Por isso não desanimamos. Embora exteriormente estejamos a desgastar-nos, interiormente estamos sendo renovados dia após dia”, II Coríntios 4:16.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar quero agradecer a Deus e dedicar-lhe todo o meu louvor, pois mesmo em momentos difíceis e tenebrosos como o foi a pandemia, mesmo em meio a tantas provações, Ele, Deus me trouxe refrigério e paz quando achei que não conseguiria chegar até o final desta peleja. Então a Ele, toda Glória e honra e louvor, porque dele e por ele e para ele são todas as coisas.

Sou grato a Deus, por ser filho de pais dedicados e amorosos, que sempre me incentivaram a estudar, apesar de não estarem mais presentes entre nós.

Agradeço em especial, a Sidailda, minha querida esposa e aos meus filhos Lucas, Rafaela e Karoline, que tanto se dispuseram a crer que eu chegaria como vencedor no final desta batalha.

Agradeço a Profa. Dra. Adriana Barrinha Fernandes Moretti pelo incentivo e convite para fazer parte do corpo de mestrandos, e por toda sua dedicação nos momentos mais difíceis da minha vida, quando mesmo nas dificuldades e temores, sempre teve uma palavra de ânimo de apoio e paciência, para que eu continuasse até ao término desta árdua tarefa que me foi confiada. De igual modo, agradeço ao Prof. Dr. Carlos José de Lima e a todos os Professores, que com maestria nos trouxe esclarecimento devido nesta jornada.

Agradeço também a disponibilidade que o Pedro Marrafa teve para me ajudar na obtenção dos resultados do FT-IR das minhas amostras para esta dissertação. Não poderia esquecer de todos os colegas envolvidos neste período do mestrado que de uma forma ou de outra, compartilharam informações, e em especial a querida amiga Marcia Guelma e Valéria Antunes minha ex-professora e agora uma querida amiga pela disposição em me ajudarem sempre que precisei durante este período de dois anos.

Agradeço a colaboração da profa. Dra. Bianca Kawata pela colaboração e ajuda nos experimentos de Microscopia Eletrônica de Varredura.

Sou grato a todos os meus irmãos e amigos da Igreja Evangélica Assembleia de Deus onde congrego, e de igual modo ao Marcos Ferraz Henklein e sua esposa Vandelize Dias da Silva proprietários da Drogaria Farma Muito Mais que se dispuseram a estar em orações por minha vida e vitória. Dedico a eles também este trabalho.

RESUMO

A fibra capilar possui diversas estruturas com características individuais e complexas, sendo que a cutícula é responsável por preservar o córtex quando essa fibra sofre agressões químicas. O ozônio é uma molécula composta por três átomos de oxigênio. Ao se decompor libera uma molécula de oxigênio e um radical extremamente oxidante, que é capaz de oxidar as duplas e triplas ligações presentes nos óleos vegetais. A utilização do óleo de girassol ozonizado justifica-se devido ao seu alto teor de ácidos graxos, que atuam como um importante meio de transporte de vitaminas lipossolúveis. Nesse sentido, a hipótese seria que a aplicação de óleo ozonizado poderia favorecer a preservação da fibra capilar. O presente estudo teve como objetivo verificar possíveis alterações que o óleo ozonizado pode induzir na fibra capilar *in vitro* que foi submetida ou não ao processo de descoloração. Para tal, foram realizadas análise da superfície do fio através Microscopia Óptica, Microscopia Eletrônica de Varredura e a análise dos componentes químicos presentes na fibra capilar a partir de FT-IR. Como controle de qualidade do óleo ozonizado, foi realizada a sua análise físico-química, incluindo os seguintes parâmetros: índice de peróxido, densidade, viscosidade e pH. Foram ozonizados 500 mL de óleo de girassol, utilizando o Gerador de Ozônio que produz Ozônio a partir do efeito corona. A concentração de O₃ entregue foi de 48 mg. L⁻¹, com vazão de ¼ L min, por 240 min. No presente estudo, foram empregadas mechas de cabelo caucasiano castanho claro, sem tratamento químico, adquiridas de origem definida em Perucaria, SP Brasil. Para os testes de análise *in vitro*, foram utilizadas 3 mechas de cabelo humano natural, que foram designadas da seguinte forma: SD1 (sem descoloração), SD2 (sem descoloração mais óleo de girassol ozonizado) e SD3 (sem descoloração mais óleo de girassol *in natura*). Foram selecionadas também 3 mechas que passaram pelo processo de descoloração e distribuídas da seguinte forma: uma mecha clareada padrão (D1), uma mecha clareada com óleo de girassol ozonizado (D2) e uma mecha clareada com óleo de girassol *in natura* (D3). O óleo de girassol *in natura* e o ozonizado apresentaram efeitos semelhantes em relação à superfície da fibra capilar. Após o processo de descoloração, a fibra capilar apresentou mudanças perceptíveis, como: abertura das cutículas e amostra do córtex. Também foi observado uma diminuição nas bandas de 2920 cm⁻¹ e 2851 cm⁻¹ na fibra que sofreu o processo de descoloração (D1) quando se compara com a fibra SD1, demonstrando que esta fibra sofreu uma agressão por conta do processo de oxidação causada pela descoloração. As bandas espectrais de 1192 cm⁻¹ e 1040 cm⁻¹ correspondem a oxidação da cistina e ácido sulfônico respectivamente, das amostras SD1 e D1, apresentaram maior intensidade no grupo D1 devido ao processo de oxidação. A análise dos espectros médios das fibras capilares descoloridas tratadas com óleo ozonizado e *in natura*, mostrou bandas espectrais 2920 cm⁻¹, 2851 cm⁻¹, 1633 cm⁻¹, 1527 cm⁻¹ e 1235 cm⁻¹ com intensidades e picos muito semelhantes, praticamente sobrepostos. Com base nestas informações, o óleo de girassol ozonizado poderia ser aplicado na fibra capilar *in natura* e descolorida sem causar danos, apesar de ter peróxidos e o pH mais ácido. Sendo assim, o óleo de girassol ozonizado não agride a fibra capilar, apresentando potencial de favorecer a adesão e alinhamento das cutículas. No entanto, novos estudos são necessários para confirmar este fato, e estudos *in vivo* serão necessários.

Palavras-chave: Engenharia biomédica. Óleo de girassol ozonizado. Fibra capilar. FT-IR. Óleos vegetais.

ABSTRACT

EVALUATION OF HUMAN CAPILLARY FIBER AFTER APPLICATION OF OZONIZED OIL FROM FT-IR: *in vitro* STUDY

The hair fiber has several structures with individual and complex characteristics, and the cuticle is responsible for preserving the cortex when this fiber undergoes chemical aggression. Ozone is a molecule composed of three oxygen atoms, when it decomposes it releases an oxygen molecule and an extremely oxidizing radical, which is capable of oxidizing the double and triple bonds present in vegetable oils. The use of ozonated sunflower oil is justified due to its high content of fatty acids, which act as an important means of transporting fat-soluble vitamins. In this sense, the hypothesis would be that the application of ozonized oil could favor the preservation of the hair fiber. The present study aimed to verify possible alterations that the ozonized oil can induce in the *in vitro* hair fiber that was not submitted to the discoloration process. For this purpose, analysis of the hair surface was carried out through Optical Microscopy, Scanning Electron Microscopy and the analysis of the chemical components present in the hair fiber from FT-IR. As a quality control of the ozonized oil, its physical-chemical analysis was carried out, including the following parameters, peroxide index, density, viscosity and pH. 500 mL of sunflower oil were ozonized using the Ozone Generator that produces ozone from the corona effect. The delivered O₃ concentration was 48 mg. L⁻¹, with a flow rate of ¼ L min, for 240 min. In the present study, locks of light brown Caucasian hair without chemical treatment were used, acquired from a defined origin in Perucaria, SP Brazil. For the *in vitro* analysis tests, 3 locks of natural human hair were used, which were designated as SD1 (without bleaching), SD2 (without bleaching plus ozonized sunflower oil) and SD3 (without bleaching plus *in natura* sunflower oil). Also selected were 3 strands that went through the discoloration process and distributed as follows: a standard lightened strand (D1), a strand lightened with ozonated sunflower oil (D2) and a strand lightened with *in natura* sunflower oil (D3). Sunflower oil *in natura* and ozonated showed similar effects in relation to the surface of the hair fiber. After the discoloration process, the hair fiber showed perceptible changes, such as: opening of the cuticles and sample of the cortex. A decrease in the peaks of 2920 cm⁻¹ and 2851 cm⁻¹ was also observed in the fiber that underwent the discoloration process (D1) when compared to the SD1 fiber, demonstrating that this fiber suffered an aggression due to the oxidation process caused by discoloration. The spectral bands of 1192 cm⁻¹ and 1040 cm⁻¹ correspond to the oxidation of cystine and sulfonic acid respectively, from samples SD1 and D1, showed greater intensity in group D1 due to the oxidation process. The analysis of the average spectra of bleached hair fibers treated with ozonized oil and *in natura*, showed spectral bands 2920 cm⁻¹, 2851 cm⁻¹, 1633 cm⁻¹, 1527 cm⁻¹ and 1235 cm⁻¹ with very similar intensities and peaks, practically superimposed. Based on this information, ozonated sunflower oil could be applied to fresh and bleached hair fiber without causing damage, despite having peroxides and a more acidic pH. Therefore, ozonized sunflower oil does not harm the hair fiber, with the potential to favor the adhesion and alignment of the cuticles. However, further studies are needed to confirm this fact, including *in vivo* studies.

Keywords: Biomedical engineering. Ozonized sunflower oil. Hair fiber, FT-IR. Vegetable oils.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 OBJETIVOS	15
2.1 Objetivo geral.....	15
2.2 Objetivos específicos.....	15
3 JUSTIFICATIVA	15
4 REVISÃO DE LITERATURA.....	16
4.1 Estrutura do Cabelo	16
4.2 Cutícula ou estrato córneo	16
4.3 Córtex	17
4.4 Medula	17
5. AGENTES DESCOLORANTES	18
5.1 Composição química do pó descolorante	19
5.2 Mecanismo de ação dos descolorantes e danos na fibra capilar	20
6. ÓLEOS VEGETAIS NO TRATAMENTO DA FIBRA CAPILAR.....	20
6.1 Óleo de Girassol (OG)	21
6.2 Óleo Ozonizado (OO)	22
6.3 Mecanismos de ação do ozônio	23
7. DIAGNÓSTICO DA FIBRA CAPILAR.....	24
7.1 Microscopia Óptica	24
7.2 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).....	24
7.3 Espectroscopia de absorção na região do infravermelho com transformada de Fourier (FT-IR)	25

8 MATERIAL E MÉTODO	25
8.1 Sistema Reator de Coluna de Borbulhamento empregado para ozonização do óleo vegetal	25
8.1.1 Local do Estudo e Dosagem de Ozônio Aplicada	26
8.1.2 Dosagem de Ozônio Aplicada	28
8.2 Parâmetros Físico-Químicos.....	29
8.2.1 Índice de Peróxido	29
8.2.2 Densidade aparente.....	29
8.2.3 Viscosidade	29
8.2.4 Determinação do valor do pH.....	29
8.3 Preparo das amostras de cabelo	29
8.4 A análise da Microscopia Óptica (MO)	31
8.5 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)	31
8.6 Espectroscopia de absorção na região do infravermelho com transformada de Fourier (FT-IR)	32
9. RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
9.1 Densidade do óleo de girassol antes e após ozonização	33
9.2 Índice de Peróxido	34
9.3 Viscosidade	34
9.4 Microscopia Óptica (MO)	36
9.5 Microscopia de Varredura Eletrônica (MEV)	37
9.6 Espectroscopia de absorção na região do infravermelho com transformada de Fourier (FT-IR)	39
10 CONCLUSÃO.....	47
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Estrutura da fibra capilar	18
Figura 2 – Método de ozonização (reator coluna de borbulhamento (“bubble column reactor”, BCR)	26
Figura 3 - Gerador de ozônio da marca MS-Instruments (modelo: MSG3, feito no Brasil)..	27
Figura 4 - 4A. Amostra do óleo de girassol <i>in natura</i> . 4B. Amostra do óleo de girassol Ozonizado	28
Figura 5 - Imagem fotográfica das mechas <i>in natura</i> e descolorida	30
Figura 6 - Amostra de fibra capilar preparada para o processo de FT-IR/ATR. (6A). Espectrômetro de infravermelho modelo Frontier (6B) usado na pesquisa.....	33
Figura 7 - Mechas Natural Padrão (SD1) e Mechas Descolorida (D1), na Microscopia Óptica, objetiva 100.....	37
Figura 8 - Imagens obtidas por meio do MEV das amostras do cabelo, as imagens estão separadas nos seguintes grupos: A - Fibra Natural padrão, B - Fibra Natural com Óleo de Girassol <i>in natura</i> , C - Fibra Natural com Óleo de Girassol ozonizado, D- Fibra Descolorida, E - Fibra Descolorida com Óleo de Girassol <i>in natura</i> , F – Fibra Descolorida com Óleo de Girassol Ozonizado.....	39
Figura 9 - Espectros médio de absorção na região do FT-IR de amostras das mechas de cabelo caucasiano natural e descolorido antes e após o tratamento com óleo de girassol natural e ozonizado aplicados nas mechas.....	41
Figura 10 - Espectros médio de absorção na região do FT-IR de amostras das mechas de cabelo caucasiano natural e descolorido SD1, D1.....	43
Figura 11 - Espectros médios obtidos a partir de FT-IR dos grupos experimentais avaliados SD1, SD2 e SD3.....	44
Figura 12 - Espectros médios obtidos a partir de FT-IR dos grupos experimentais avaliados D1, D2 e D3	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Componentes do Pó descolorante.....	20
Tabela 2 - Análise composicional do óleo de girassol.....	22
Tabela 3 - Divisão dos grupos experimentais SD1, SD2, SD3 e D1, D2, D3.....	31
Tabela 4 - Densidade do óleo de girassol antes e após ozonização.....	34
Tabela 5 - Índice de Peróxido das amostras de óleo de girassol antes e após a ozonização.....	34
Tabela 6 - Viscosidade do óleo de girassol <i>in natura</i> e ozonizado.....	35
Tabela 7 - Valores do pH do óleo de girassol <i>in natura</i> e ozonizado.....	35
Tabela 8 - Bandas espectrais dos componentes da fibra capilar a partir do FT-IR.....	40

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ATP	Adenosina trifosfato
AGE	Ácidos Graxos Essenciais
AGPI	Ácidos Graxos Poliinsaturados
C	Carbono
C=C	Ligações Insaturadas
cm	Centímetros
ERO	Espécies Reativas de Oxigênio
CMC	Camada de Membrana Celular
BCR	Reator de Coluna de Borbulhamento (“bubble column reactor”)
OH ⁻	Hidroxila
FT-IR	Espectroscopia na região do Infravermelho com Transformada de Fourier
H	Hidrogênio
H ₂ O ₂	Peróxido de hidrogênio
IP	Índice de Peróxido
OG	Óleo de Girassol
OGO	Óleo de Girassol Ozonizado
OO	Óleo Ozonizado
L	Litro
min	Minutos
mL	Mililitros
AOD	<i>Applied Ozone Dosage</i>
OFR	Ozone Feed Rate
MO	Microscopia Óptica
MEV	Microscopia de Varredura Eletrônica
RDC	Resolução da Diretoria Colegiada
O	Oxigênio (átomo)
O ₂	Oxigênio (molécula)
O ₃	Ozônio
pH	Potencial Hidrogeniônico
S	Enxofre
S-S	Cadeia de Dissulfeto
C-S	Ligação Dissulfídica

SO ₃ H	Ácido Sulfônico
S-O-S	Monóxido de Cistina
SO ₂ -S	Dióxido de Cistina
UV	Ultravioleta
18-MEA	Ácido 18-metileicosanóico
OO	Óleo Ozonizado

1 INTRODUÇÃO

A fibra capilar possui várias estruturas com características individuais, complexas e homogêneas com relação a sua composição molecular, sendo elas: cutículas, córtex e medula que pode estar ou não presente na fibra capilar. A cutícula é responsável pela preservação do córtex quando esta fibra sofre agressão química com processos que podem trazer danos a mesma (COLENCI, 2007). Um exemplo de agressão química a qual a fibra pode ser submetida é a descoloração, que gera danos morfológicos, induzindo a oxidação de resíduos de cistina da matriz do córtex, debilitando o complexo da membrana celular (CMC) (MASUCHI, 2008

O gás ozônio é a forma alotrópica triatômica do oxigênio (O_3). Trata-se de uma molécula instável e altamente reativa que se decompõe gerando uma molécula de oxigênio e um radical extremamente oxidante. Devido ao seu efeito oxidante, superior ao do cloro, é capaz de inativar eficientemente bactérias, vírus, fungos e substâncias orgânicas prejudiciais ao ser humano, sendo que uma das principais vantagens do uso do ozônio é que ele não deixa resíduos ambientais (BOCCI, 2011).

O ozônio solubilizado na água é difícil de manter sua estabilidade por muito tempo, pois, sua meia vida é curta, de aproximadamente 110 h se mantida sob refrigeração de 7° C e sofre redução de nove horas a 20°C. O uso do óleo de girassol ozonizado ou não, se justifica devido seu alto teor de ácidos graxos que funcionam como um importante meio de transporte de vitaminas lipossolúveis (MASUCHI, 2008). No entanto, ao se ozonizar o óleo vegetal este reage com duplas e triplas ligações presentes nas moléculas de lipídeos, gerando assim, cetonas, aldeídos, peróxido de hidrogênio e radicais livres, que aumentam a sua estabilidade e o tempo de prateleira quando comparado a água ozonizada (Criegee, 1975). O uso de óleos vegetais ozonizados é promissor na aplicação capilar, devido a seu efeito microbicida no local a ser tratado (BOCCI, 2011; PARK, 2010).

Neste sentido, a hipótese seria de que a aplicação de óleo de girassol ozonizado poderia favorecer a preservação da fibra capilar. De acordo com Colenci (2007), na cutícula está presente o complexo da membrana celular (CMC), cuja função é manter as cutículas unida (MONTEIRO, 2018; FARIAS, 2022). O CMC é constituído de 2% de cistina, além de proteínas, lipídeos e outros componentes que conferem caráter hidrofílico (ARAÚJO, 2015; MONTEIRO, 2018).

O presente estudo é inovador, a literatura é extremamente escassa com relação ao tema abordado. O estudo de Park (2010) sugeriu o uso do ozônio para tratar de problemas da pele e

no couro cabeludo, contudo não avalia especificamente o efeito ozônio na fibra capilar (PARK, 2010)

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar as alterações *in vitro* que o óleo de girassol ozonizado pode causar na fibra capilar humana, submetida ou não ao processo de descoloração, a partir da análise de superfície da fibra capilar por Microscopia Óptica, Microscopia de Varredura Eletrônica (MEV) e análise química através de Infravermelho com transformada de Fourier (FT-IR).

2.2 Objetivos específicos

1. Analisar parâmetros físico-químicos, como o índice de Peróxido, densidade, viscosidade e pH do óleo de girassol ozonizado.
2. Comparar as alterações induzidas pelo óleo de girassol *in natura* e ozonizado na fibra capilar *in natura*;
3. Comparar as alterações induzidas pelo óleo de girassol *in natura* e ozonizado na fibra capilar submetida a descoloração.

3 JUSTIFICATIVA

Além dos tratamentos químicos e térmicos, as fibras capilares são danificadas pela radiação solar, alisamento diário, condicionamento e outros fatores. Os cosméticos são muito importantes porque são formulados para proteger as fibras capilares dos danos causados por estes processos. Os óleos vegetais se destacam como ingredientes, seguindo uma disposição em todo mundo de incorporá-los nas formulações para cuidados com a pele e os cabelos, pois são atribuídas diversas aplicações para tratamento da fibra capilar. Os óleos vegetais eram comumente usados por todas as civilizações antigas, para limpeza, condicionamento e até para deixar os cabelos perfumados, e ainda, a seleção de óleo dependia da disponibilidade dos materiais trazidos pelas rotas comerciais da época. Hoje, o desejo do consumidor de manter uma vida saudável, associado a questão da preservação do meio ambiente, leva a busca por produtos com formulações naturais, que, incorporados ao cosmético, promovem uma ação benéfica à fibra capilar (ARAUJO, 2015; SILVA, 2021; SIMMONDS, 2020).

De acordo com Travagli (2010) a ozonioterapia favorece a proliferação de fibroblastos, que induz a construção de matrizes intercelulares com consequente proliferação de

queratinoblastos, principal componente da queratina. Park (2015), em seu estudo destacou o uso do ozônio no tratamento de infecções de pele e couro cabeludo. Neste sentido, a avaliação do efeito do óleo ozonizado sobre a fibra capilar *in vitro* é um estudo pioneiro, tem como intuito verificar possíveis alterações que óleo ozonizado pode induzir na fibra capilar que foi submetida ou não ao processo de descoloração. Possivelmente não terá o mesmo efeito na fibra capilar *in natura*, e isto devido a sua própria preservação natural. O tema abordado é relevante porque pode servir de base para outros estudos que visem o desenvolvimento de produtos com este ingrediente, com finalidade terapêutica ou não, uma vez que a literatura é escassa quando se trata da ação do óleo ozonizado especificamente sobre a fibra capilar. Além disso, atualmente há no mercado novos produtos que contemplam o uso de óleo ozonizado para a aplicação de ozônio medicinal e em estética, incluindo a aplicação no couro cabeludo.

4 REVISÃO DE LITERATURA

4.1 Estrutura do Cabelo

A fibra capilar é composta por três estruturas que são: estrato córneo (cutículas externas), córtex e medula. Um dos fatores a ser considerado nas fibras do cabelo é que há uma quantidade de aminoácido cistina, que pode passar por um processo de degradação e sofrer oxidação nas ligações de dissulfeto. Mesmo após vários anos depois da morte de uma pessoa, a cistina continua estável, portanto, suas características permanecerão sem mudanças. A estrutura alfa hélice (uma proteína) que torcida de um dos lados da fibra formam um longo cordão de proteína, sendo caracterizadas segundo o tipo de cabelo (afro, caucasiano ou asiático), de forma que quando estes fios são alisados é criado uma espécie de elasticidade. A estrutura alfa hélice possui uma longa sequência de microfibrilas desconhecidas, que unidas contribuem para a formação de uma maior estrutura que formam as células do córtex, que, por sua vez, envolvem a medula (MOURA, 2010; LIMA, 2016).

4.2 Cutícula ou estrato córneo

É a camada mais externa que faz a cobertura da fibra capilar, sem forma definida, sem cor e que estão sobrepostas como escama de peixe. É a uma parte importante do cabelo humano, normalmente é a primeira a sofrer os danos causados pelos produtos cosméticos usados na coloração, descoloração, relaxamento, entre outros que causam a degradação desta fibra. Além dos produtos químicos, são empregados os tratamentos térmicos, como é o caso das pranchas

usadas em alisamentos, sendo que a temperatura elevada pode causar danos irreversíveis para a fibra capilar (MOURA, 2010; ANTOS, 2017; GAMA, 2010).

A cutícula é composta por quatro subunidades. São elas: a epicutícula, camada A, e as camadas mais internas, a endocutícula e exocutícula. A epicutícula com 12% de cistina, considerada a camada mais externa, hidrofóbica e resistente a processos químicos redutores e oxidativos (COLENCI, 2007). O ácido 18-metileicosanóico (18-MEA) ácido graxo na superfície da fibra capilar que confere a cutícula a propriedade hidrofóbica (TOKUNAGA, 2019). A camada A, é uma estrutura mais resistente e que concentra mais ou menos 30% de cistina localizada logo abaixo da epicutícula, camada que proporcionam resistência física, mas também proporcionam resistência química. A exocutícula que se localiza logo abaixo da camada A, com 15% de cistina e possui a maior região da cutícula e por fim, a endocutícula que é a parte mais interna da cutícula, com aproximadamente 3% de cistina (SANTOS, 2017; GAMA, 2010; GOSHIYAMA, 2019).

4.3 Córtex

O córtex determina uma grande parte da fibra capilar, correspondendo a aproximadamente (75% a 90%). Ali estão dispostas estruturas alongadas e contínuas na mesma direção da fibra, onde estão localizadas as microfibrilas que medem de 0,1-0,4 μm , e constituem filamentos de microfibrilas envolvidas por uma matriz amorfa. Da mesma forma que a cutícula, é responsável pela resistência e elasticidade do fio de cabelo. É no córtex que está a melanina responsável pela cor e proteção contra radiação. É no córtex que ocorrem as transformações químicas e onde há maior degradação da fibra capilar por processos oxidativos (MOURA, 2010; GAMA, 2010; LIMA, 2016; GOSHIYAMA, 2019; SANTOS, 2017).

4.4 Medula

Compõe uma pequena quantidade da massa do cabelo e se localiza no centro da fibra. Pode estar presente, ausente ou distribuída de forma fragmentada, podendo estar presente em cabelos mais grossos e menos presente em cabelos finos, com alto teor de lipídeos e pouco em cistina. Possui espaços que podem sofrer desidratação ocasionando alterações na cor e brilho do cabelo e suas funções não foram totalmente elucidadas (MOURA; GAMA, 2010; LIMA, 2016; SANTOS, 2017; CORDEIRO, 2013;) (Figura 1).

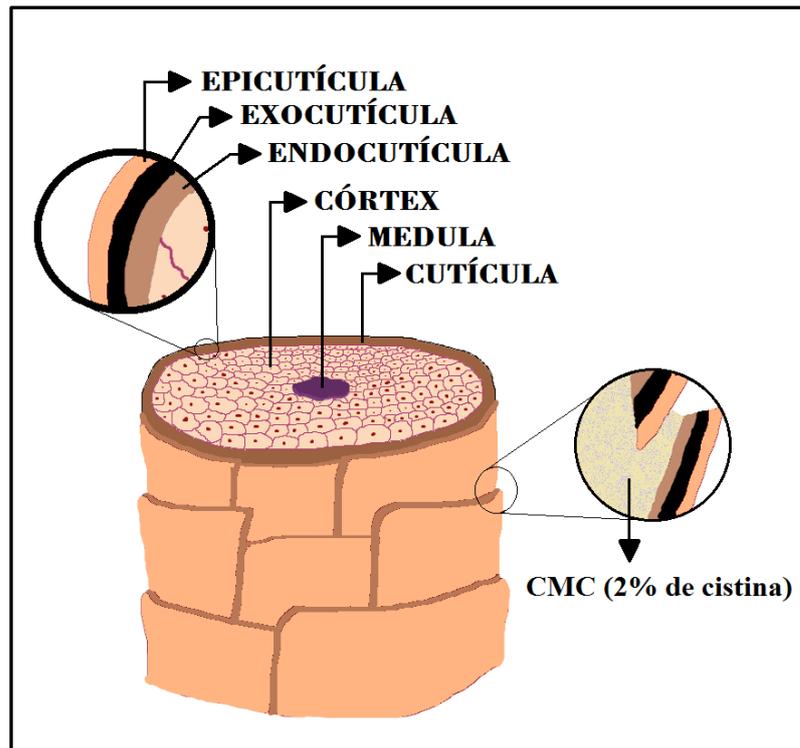


Figura 1: Estrutura da fibra capilar.

Fonte: Autor, 2023

5. AGENTES DESCOLORANTES

A descoloração causa danos morfológicos levando a perda de características estéticas ou mesmo queda de cabelo por quebra, e segundo Maurício (2019), é o processo químico mais agressivo pois, além de oxidar os resíduos de cistina da matriz do córtex, debilita o complexo da membrana celular (CMC). É necessária observação mais apurada por parte dos profissionais sobre o estado real da fibra capilar antes do uso de qualquer produto que possa causar danos, como corantes oxidativos e clareadores, e é interessante atentar para o mecanismo de ação destes agentes. Mulheres gregas para se tornarem mais insinuantes, usavam água de lixívia (um descolorante) que tinha origem na lavagem das cinzas do fogo mergulhadas em um pote de água fria e descansadas por algumas horas. Depois eram coadas transformando-se em um descolorante de sais alcalino, como a hidroxila resultante da combustão da madeira (SANTOS, 2017; COLENCI, 2007).

Segundo Santos (2017) e Colenci (2007), o clareamento do cabelo ocorre por meio de um produto comercial, geralmente em duas etapas distintas: Na primeira etapa com a ação de um oxidante que varia entre 20 e 40 Volumes (de 6% a 12% de peróxido de hidrogênio). Quando os grânulos estão disponíveis, eles são descoloridos de acordo com a ação do agente oxidante. Na segunda etapa, são comumente utilizados persulfatos, processo que envolve um

mecanismo de degradação química da eumelanina. A mistura do persulfato de potássio ou amônia em meio básico (pH 9 a 11) que serve para acelerar o processo de clareamento da fibra capilar onde há a necessidade de um entumescimento das camadas das escamas (SANTOS, 2017; COLENCI, 2007; MAURICIO, 2019). Segundo Colenci (2007), a descoloração causa danos na cutícula, como o aumento de porosidade, perda de brilho, aumento da hidrofobicidade, e outras características como a capacidade de absorção como por exemplo: água, cosméticos e no grau de entumescimento, danos nos grânulos de melanina e nas células corticais, o interior da fibra fica com espaços vazios. A principal reação que ocorre é a quebra de várias ligações importantes como a pontes de dissulfetos da cistina pelo produto descolorante. Neste processo ocorre clivagem oxidativa do grupamento S-S e a formação do ácido cisteico, e na medida que a cistina diminui, a concentração de ácido cisteico aumenta (LIMA, 2016).

É importante frisar que as camadas de cutículas são ricas em ácido graxos, e que o ácido 18-metileicosanóico (18-MEA) representa cerca de 30-40% do total desses ácidos graxos. O córtex é protegido por esta camada de cutícula. Os danos causados nesta região interferem na degradação da cistina, embora o mecanismo exato não seja conhecido. Uma hipótese é que esta fotodegradação provoca quebra de ligações C-S diferente da oxidação química gera quebra de ligação S-S (ABURJAI, 2003). As reações químicas em cabelos claros são mais fortes do que em cabelos escuros, pois a melanina protege a queratina no início da ação do meio ambiente. Isto se dá porque há um sistema de grupos carbonilas e duplas ligações conjugadas. A ruptura é maior depois do processo de descoloração, pois a concentração do ativo descolorante, o pH (pH entre 9,5 e 11) e o tempo de ação influenciam na descoloração e causam deformação da estrutura capilar (SANTOS, 2017; COLENCI, 2007; MAURICIO, 2019; LIMA, 2016).

5.1 Composição química do pó descolorante

Há evidências de que o peróxido de hidrogênio, o principal componente dos sistemas de descoloração capilar, reage mais rapidamente com a melanina do que com as demais proteínas capilares. No entanto, como o cabelo é constituído principalmente de proteínas, contém uma grande porcentagem de agrupamentos oxidáveis, como, por exemplo, ligações de dissulfeto da matriz cortical e da cutícula, sendo assim, a degradação das proteínas do cabelo também ocorre durante o clareamento. Para haver maior rapidez no processo de clareamento são empregados os persulfatos de potássio ou amônia, em um pH alcalino (9,5-11) sendo combinado pelo hidróxido de sódio e amônia (SANTOS, 2017; ROBBINS, 2000). A Tabela 1 apresenta os principais componentes químicos do pó descolorante.

Tabela 1: Principais componentes do Pó descolorante.

Componentes	Porcentagem (%)
Persulfato de potássio	27
Silicato de sódio	26
Persulfato de amônio	25
Sílica	20
Lauril sulfato de sódio	1,8
EDTA dissódico	0,2

Fonte: Adaptado de: ROBBINS, 2000.

5.2 Mecanismo de ação dos descolorantes e danos na fibra capilar

As composições alcalinas dos peróxidos de hidrogênio e amônia respectivamente, tem ação reguladora do pH da porção cosmética e age na fibra dispersando e diluindo as melaninas, o que proporciona a mudança na cor da fibra que vai variar do tom de preto ao louro claro opaco dependendo do grau de clareamento desejado. Nesta ação do descolorante pode-se perceber a cor avermelhada, alaranjada e amareladas que se revelam visivelmente (MONTEIRO, 2018; SANTOS, 2017). Neste caso, ocorre em um processo lento de descoloração e que ainda não é bem esclarecido, mas a dissolução ocorre com a clivagem das ligações. Sendo assim, a descoloração é um processo que induz a quebra da estrutura polimérica da melanina. Não somente a oxidação ocorre nas melaninas, ela destrói as ligações dissulfídicas da queratina e por este motivo causa o dano na estrutura do cabelo. Nas cutículas a mudança do pH pode causar a formação de lacunas ou poros tornando a fibra fraca e quebradiça nas melaninas, o que gera uma fibra capilar mais frágil e mais susceptível à umidade (RABELO, 2017; ROBBINS, 2000).

6. ÓLEOS VEGETAIS NO TRATAMENTO DA FIBRA CAPILAR

Os óleos vegetais são obtidos por diversas fontes naturais, apresentam um grande potencial de uso na indústria, tanto cosmética quanto alimentícia. São substâncias insolúveis em água, constituídas por compostos químicos como ácidos graxos e seus derivados (CORREIA, 2014; RABELO, 2017).

Pelas suas atividades benéficas não abrasivas, os óleos vegetais têm sido procurados com maior interesse para as formulações cosméticas e tem conquistado maior espaço neste

ambiente pelas suas propriedades emulsificantes, emolientes e espessantes, devido a sua fonte de ácidos graxos, ésteres e álcoois graxos (SILVA, 2021; SOUZA, 2022).

Os ácidos graxos podem ser saturados, monoinsaturados ou poli-insaturados e desempenham três funções essenciais. São elas: integrantes estruturais das membranas biológicas; atuam como precursores de mensageiros intracelulares e, nesse caso, são oxidados produzindo adenosina trifosfato (ATP), essenciais ao ser humano, e podem ser insaturados (com cadeias duplas de carbono) ou saturados (apenas ligações simples entre os carbonos). Os ácidos graxos poli-insaturados (AGPI), notadamente o linoleico e linolênico, por não serem sintetizados pelo organismo, constituem-se em Ácidos Graxos Essenciais (AGE) (SOUZA, 2022).

A maioria dos óleos vegetais são gerados a partir das sementes oleaginosas por processos de extração que originam um óleo bruto, que a seguir passa por um processo de refino. Este processo pode ser dividido em quatro etapas: pré-tratamento (seleção e limpeza das sementes, secagem, descasque, trituração e cozedura), obtenção (extração, eliminação dos solventes), refinação (degomagem, neutralização, branqueamento e desodorização), e pode ocorrer ainda alguma modificação química como hidrogenação, inter esterificação e fracionamento (RABELO, 2017). Os óleos vegetais têm várias atribuições devido a seus ativos, como: estimulante capilar, para tratamentos dos fios, principalmente trazendo proteção e melhora das propriedades sensoriais da fibra capilar, como brilho e textura, e atua até na prevenção contra alopecias. Os efeitos observados na fibra capilar a partir do uso dos óleos depende diretamente do tipo da constituição química do óleo vegetal empregado, do posicionamento dos triglicerídeos com seus vários ácidos graxos, do tamanho de moléculas, da posição das cadeias duplas de carbono, e a geometria de cada ligação dupla (ABURJAI, 2003; ARAÚJO, 2015).

6.1 Óleo de Girassol (OG)

O óleo de girassol, pode ser utilizado topicamente em diversos tratamentos. Quando em contato com o corpo, ele estimula o sistema imunológico, ativando a circulação, através da oxigenação dos tecidos e nutrientes. Pela sua alta concentração de ácidos graxos possui propriedades importantes no processo de regeneração dos tecidos acelerando o processo inflamatório estimulando a cicatrização por meio da angiogênese e epitelização. Segundo Farias (2021) ainda protege a pele contra a infecções por *Staphylococcus aureus*.

Os óleos vegetais, comumente usados em pomadas e cremes como produtos para embelezar os cabelos, são conhecidos por suas propriedades de trazer uma aparência saudável a estes cabelos. Hoje algumas propriedades similares são incluídas em formulações cosméticas, mas substituir os compostos naturais destes óleos utilizados, nem sempre é possível, portanto, com maior controle na obtenção dos ativos naturais destes óleos, ingredientes a partir de vegetais vem tendo destaque na indústria cosmética. O *Helianthus annuus L.* conhecido popularmente como girassol, é da família *Compositae*, nativo da América do Norte, foi utilizado como planta ornamental até o século XVII (CORREIA, 2014). Hoje é cultivado em várias partes do mundo e atinge milhões de hectares. De modo geral, o consumo de óleo de girassol tem aumentado devido às propriedades funcionais de seus ácidos graxos mono e poli-insaturados (Tabela 2) (CORREIA, 2014; ARAÚJO, 2015; RABELO, 2017).

O cultivo de girassol apresenta características desejáveis sob o ponto de vista agrônômico, como o ciclo curto, a elevada qualidade e rendimento em óleo, que fazem dela uma boa opção aos produtores brasileiros (GOSHIYAMA, 2019), além de se adaptar a diferentes condições climáticas (CASTELO-BRANCO, 2011). Seu cultivo poder ser realizado durante o ano todo. Na extração mecânica obtém-se o óleo como produto principal e a torta como subproduto. A torta do girassol pode ser utilizada na produção de rações animais e adubo, contendo 40% de proteína, teor de óleo entre 7 e 9% (LIMA, 2016).

Tabela 2: Análise composicional do óleo de girassol.

Ácidos graxos	Nomenclatura	Resultados (%)
C 16:0	Ácido palmítico	4
C 18:0	Ácido esteárico	1,47
C 18:1	Ácido oleico	49,02
C 18:2	Ácido linoleico	45,35
Outros	-----	0,11

Fonte: Adaptada de CORREIA, 2014.

6.2 Óleo Ozonizado (OO)

Os ácidos graxos, componente mais abundantes nos óleos insaturados tem um papel importante na ozonização de óleos, destacando-se o ácido linoleico que é encontrado com abundância no óleo de girassol (De Almeida, 2016). A reação do ozônio com os ácidos graxos ocorre com as duplas ligações carbono-carbono ($C = C$) deste óleo que resulta em produtos de ozonização estáveis como: ozonídeos, aldeídos, peróxidos, diperóxidos, poliperóxidos,

hidroperóxidos (DÍAZ, 2006) dependendo das condições de reação, com a possibilidade de uso terapêutico.

De acordo com Criegee (1975) com muitas poucas exceções, as ligações duplas são clivadas quantitativamente sob condições extremamente suaves, geralmente a 78 °C ou abaixo, em soluções diluídas em ácidos ou em bases. Os produtos desta clivagem são aldeídos e/ou cetonas ou seus derivados de peróxido, ou no caso de aldeídos, seus produtos de oxidação são ácidos carboxílicos. De acordo com Rensi (2014), o óleo de girassol ozonizado tem grande potencial terapêutico quando se trata do tratamento da acne, pois ele é um potente agente biocida. No entanto, de acordo com Travagli (2010), o uso criterioso do ozônio (O_3) parece providencial porque, antes de tudo, elimina os patógenos e depois, ao liberar oxigênio (O_2), ativa a proliferação de fibroblastos, e com isto a construção da matriz intercelular com consequente proliferação de queratinoblastos (principal componente da queratina), (RENSI, 2014; TRAVAGLI, 2010).

6.3 Mecanismos de ação do ozônio

De acordo com Travagli (2010), primeiro elimina os patógenos, e, ao liberar oxigênio, atua na proliferação de fibroblastos induzindo a constituição da matriz intercelular e ativando a multiplicação de queratinoblastos é isto que ocasiona o processo de cicatrização. O gás ozônio (O_3), reage com substâncias lipídicas insaturadas, isto é, com as ligações duplas de carbonos dos ácidos graxos produzindo espécies ativas para o uso terapêutico nas camadas mais externas da pele.

A ozonização dos óleos é responsável pela oxidação das ligações duplas/triplas ligações entre átomos de carbono das moléculas lipídicas, resultando em novas moléculas estáveis, como cetonas e aldeídos, e espécies instáveis, como peróxido de hidrogênio, e radicais como a hidroxila (GUINESI, 2011; SECHI, 2001; TRAVAGLI, 2010).

As moléculas que compõem os óleos vegetais possuem dupla ligação $C = C$ em sua estrutura, portanto, pode-se esperar que o contato do ozônio com essas substâncias gere novos compostos pela reação em veículos oleosos, e assim, teria algumas vantagens sobre os meios gasosos ou aquosos, uma vez que o óleo permanece em contato com a superfície por um longo período, exercendo suas funções por mais tempo. De acordo com Moureu (2015) a melhor alternativa para se manter a estabilidade do óleo ozonizado é estando acondicionado em geladeira ou em baixa temperatura.

7. DIAGNÓSTICO DA FIBRA CAPILAR

Vários métodos estão disponibilizados para a caracterização de óleo ozonizado dentre eles FT-IR, NMR (Ressonância magnética nuclear), ressonância magnética nuclear de carbono-13 (^{13}C NMR), determinação de valores de peróxido e acidez, medições de viscosidade e outros métodos (SADOWSKA, 2008).

7.1 Microscopia Óptica

De acordo com Colenci (2007), a partir da microscopia óptica (MO) pode-se observar de forma mais clara tanto as deformidades mais superficiais da fibra capilar, isto é, a ocorrência de degradação nas camadas de cutículas submetida a algum tipo de processo químico, bem como os benefícios que produtos com a capacidade de beneficiar esta fibra, como os hidratantes ou outro produto específico para sua melhoria trazendo um realinhamento das camadas de cutículas que foram modificadas por tais processos (DIEFENBACH, 2019).

7.2 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

De acordo com Gama, (2010) a microscopia eletrônica de varredura emprega um feixe de elétrons incidente na amostra, sob vácuo, através de um filamento capilar de tungstênio, desfavorável à aplicação de uma diferença de potencial (de 0,5 a 30 kV), que acelera os elétrons e aquece o filamento, produzindo emissão secundária de elétrons e retrodifusão. A emissão de elétrons por emissão de radiação é usada para obter dados sobre a amostra. Para que essa emissão de elétrons ocorra, é importante que a amostra seja preparada com uma fina camada de metais pesados (ouro, pó de carbono, platina, etc.), processo chamado *sputtering*, sendo utilizado para aumentar a refletividade. Variações na topografia da amostra afetam o padrão de dispersão de elétrons, fazendo com que as depressões pareçam mais escuras e as saliências mais brilhantes, criando um efeito 3D de uma imagem virtual no monitor ao transcodificar a energia emitida.

Segundo Lima (2016), o MEV é uma ferramenta muito utilizada para a analisar a fibra capilar dando uma extensão maior dos danos causado na camada mais visível da fibra capilar como no caso das cutículas que passaram por processos químicos como a oxidação por descoloração e coloração. Ainda afirma que estes espaços entre as camadas de cutícula podem ser bem visualizados pela micrografia obtida. Além disso, esta ferramenta pode ajudar na avaliação dos efeitos de produtos químicos (oxidação) que podem causar a quebra das ligações de dissulfeto de cistina e converterem em ácido cisteico, monóxido de cistina ($\text{R-SO}_2\text{-R}$) e dióxido de cistina ($\text{R-SO}_2\text{-R}$) e ainda, há evidências que podem mostrar deformações ou como

as camadas de cutícula da fibra capilar pode sofrer com a aplicação de qualquer processo químico seja ele agressivo ou não, isto fica mais evidenciado com o MEV a preservação desta fibra capilar (GOSHIYAMA, 2019; ARAUJO, 2015).

7.3 Espectroscopia de absorção na região do infravermelho com transformada de Fourier (FT-IR)

A espectroscopia de absorção na região do infravermelho, é uma ferramenta poderosa que tem sido usada em diversas áreas do conhecimento para identificação de componentes químicos e elucidar dentre outra, o estudo da química dos componentes que estão presentes na fibra capilar, no caso a queratina, sendo capaz de fornecer dados importantes para relação entre componentes que são adicionados nesta fibra, como, por exemplo a descoloração, o uso de tratamentos cosméticos e outro processos não agressivos como óleos vegetais, de forma que no FT-IR, pode-se avaliar como estes componentes se comportam na fibra e de que forma esta fibra é alterada por estes. Com esta técnica, podemos ter uma produção substancial de informações químicas para uma melhor avaliação do estudo da fibra capilar (SANTOS, 2017).

Ainda segundo Souza (2012), a FT-IR é uma técnica rápida, não é necessário preparo de amostras e é facilmente manuseável. Esta técnica permite a análise qualitativa de compostos orgânicos, porque os modos característicos de vibração de cada grupo provocam o aparecimento de bandas no espectro infravermelho em frequências específicas, que também são influenciadas pela presença de grupos funcionais próximos. O FT-IR pode produzir espectro que aparentemente livre de saturação de pico ou saturação de banda que são observadas nos espectros de técnica diferente e que são paralelas a esta.

Estudos de FT-IR, demonstraram que algumas bandas de absorbância foram identificadas em amostras de cabelos que sofreram clivagem das cadeias de S-S (Lima, 2016), produzindo assim, o ácido cisteico ou sulfônico (SO_3H), bem como o monóxido de cistina (-S-O-S) e dióxido de cistina (- SO_2 -S-) (LIMA, 2016; COLLENCI, 2007).

8 MATERIAL E MÉTODO

8.1 Sistema Reator de Coluna de Borbulhamento empregado para ozonização do óleo vegetal

A ozonização de óleos vegetais foi realizada através de um sistema denominado reator de coluna de borbulhamento (*bubble column reactor*, BCR). Com este sistema há um favorecimento da transferência por borbulhamento do gás para meios aquosos, ou seja, utilizando partes porosas, o gás que sobe no meio líquido formando uma coluna de bolhas

pequenas, sabendo-se que o líquido tem altura média em relação a proveta porque a altura da coluna é maior que a do líquido, então o tempo de contato das bolhas é maior. Este processo de reator de coluna de borbulhamento é o mesmo da ozonização de óleo que tradicionalmente envolve o uso de um difusor, uma ferramenta porosa de aço inoxidável (sinterizado) que permite a produção de pequenas bolhas permitindo assim maior transporte de ozônio para o meio líquido (BOCCI, 2011) Ainda de acordo com De Paula (2021) os difusores de bolhas possuem um dispositivo poroso para dispersar o gás em pequenas bolhas no fundo da coluna do líquido, permitindo que bolhas de tamanho menores subam com maior lentidão até o alto da coluna e assim se dissolvam no líquido.

A Figura 2 apresenta um esquema da ozonização do óleo de girassol a partir do método de reator coluna de borbulhamento.

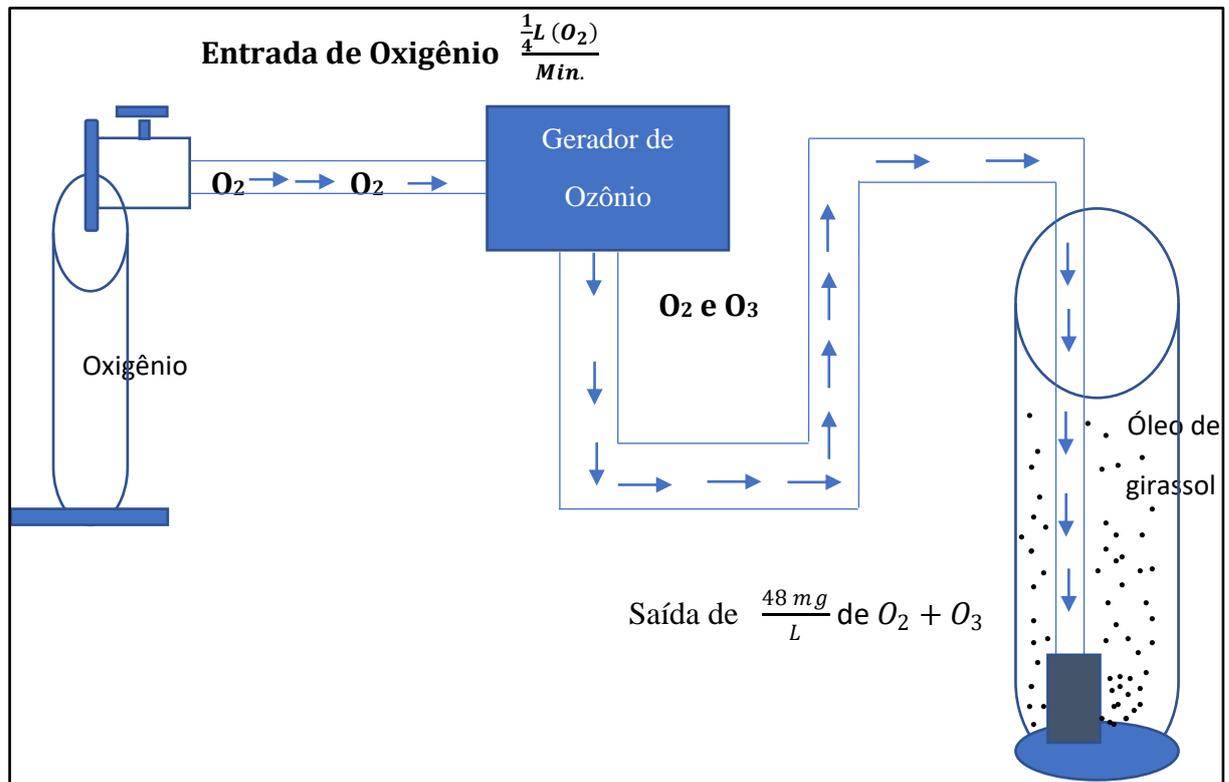


Figura 2: Esquema representativo do processo de ozonização do óleo de reator de coluna de borbulhamento

Fonte: Autor, 2023

8.1.1 Local do Estudo e Dosagem de Ozônio Aplicada

A ozonização do óleo foi realizada no Centro de Inovação de Tecnologia e Educação (CITÉ), nos laboratórios de Biotecnologia, Desinfecção e Esterilização, onde foi efetuado o método coluna de borbulhamento do gás ozônio no óleo de girassol empregando-se um difusor de inox sinterizado. Inicialmente foi ozonizado 500 mL de óleo de girassol da marca LISA,

empregando-se o Gerador de ozônio da marca (O&L 1.5M, Ozone & Life, São José dos Campos, Brasil) que produz Ozônio a partir do efeito corona. A concentração de O_2 fornecida foi de 48 mg. L^{-1} , com uma vazão de $\frac{1}{4} \text{ L}(O_2) / \text{min}$, durante 240 min., após ter sido separado em uma Proveta de 1 L (Figura 3).



Figura 3. Imagem fotográfica do aparato adaptado para ozonização do óleo de girassol.
Fonte: Autor, 2022.

Na Figura 4 é apresentada a imagem fotográfica dos óleos de girassol, antes e depois a ozonização. Cabe destacar que visualmente as amostras são idênticas, sendo que o óleo ozonizado apresenta odor característico.

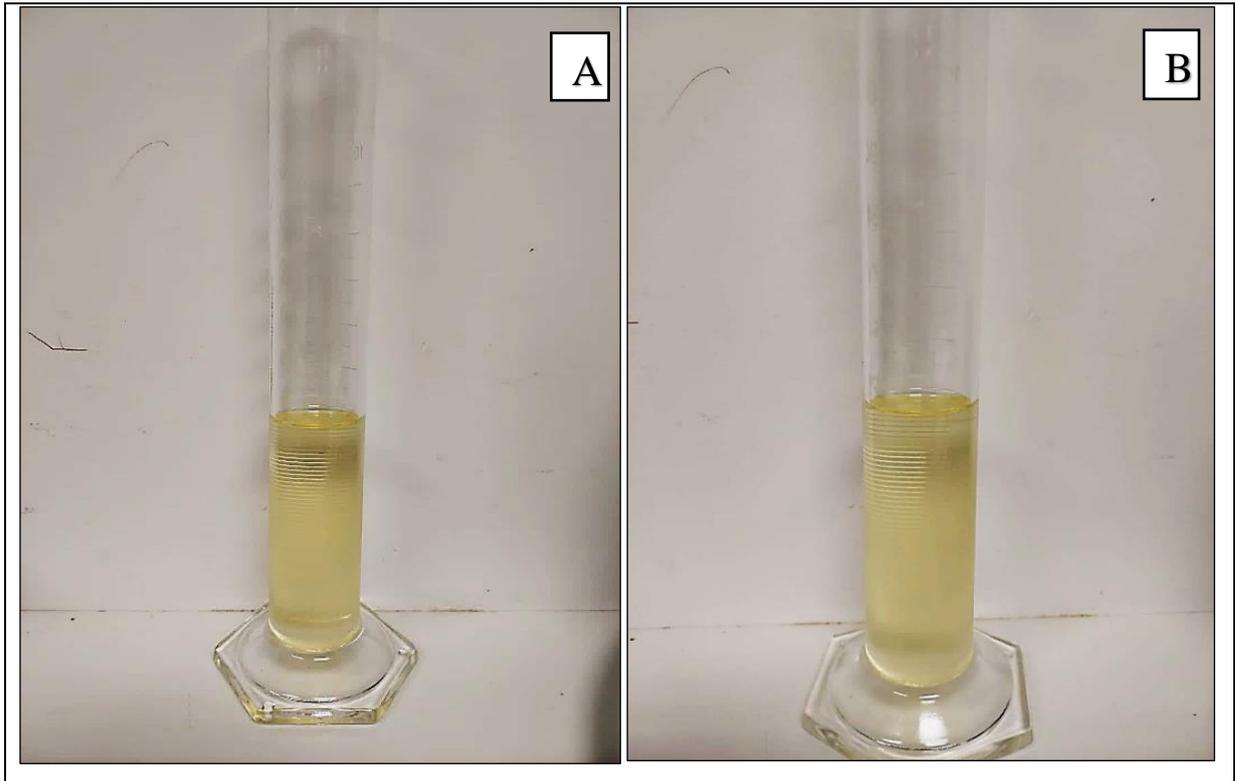


Figura 4. Imagens fotográficas da amostra do óleo de Girassol *in natura* (4A). Amostra do óleo de Girassol ozonizado (4B).

Fonte: Autor, 2022.

8.1.2 Dosagem de Ozônio Aplicada

A dose de ozônio aplicada (*Applied Ozone Dosage* - AOD) fornecida pelo gerador de ozônio nos testes realizados foi quantificada de acordo com as diretrizes apresentadas por van Leeuwen (2015). O fluxo de oxigênio de entrada do gerador de ozônio foi equivalente a $\frac{1}{4}$ L(O₂) / min, e produziu na saída uma concentração de ozônio de 48 mg. L⁻¹, ou seja, a taxa de alimentação de ozônio (*Ozone Feed Rate* - OFR) foi equivalente a OFR = 0,012g. L⁻¹. A dosagem de ozônio aplicada ao óleo de girassol, portanto, consistiu no tempo de 240 minutos utilizados para incorporar a máxima concentração de ozônio no óleo com volume específico equivalente a 500 mL. Sendo assim, a dose de ozônio incorporada ao óleo de girassol é equivalente a 5,76 g. L⁻¹.

Para calcular a Dosagem de Ozônio O₃ Aplicado (AOD), foi utilizada a fórmula descrita a seguir:

$$\text{AOD} = \left(\frac{\text{OFR}}{\text{Min}} \times 240 \text{ Min} \right) \div 0,5 \text{ L}$$

Onde AOD é a dose de ozônio aplicada; OFR é a taxa de alimentação de ozônio; 240 é o tempo de ozonização e 0,5 é o volume em massa por litro utilizado na ozonização do óleo de girassol.

Então: $AOD = \left(\frac{0,012 \text{ g}}{\text{Min}} * 240 \text{ Mins.} \right) : 0,5 \text{ L} \rightarrow \frac{2,88}{\text{g}} : 0,5 \text{ L} = \frac{5,76 \text{ g}}{\text{L}}$. A quantidade de Ozônio entregue foi de: $\frac{5,76 \text{ g}}{\text{L}}$ como descrito acima.

8.2 Parâmetros Físico-Químicos

8.2.1 Índice de Peróxido

O índice de peróxido é utilizado para indicar o controle do processo de ozonização e avaliar a estabilidade dos produtos gerados nesta ozonização (TRAVAGLI, 2010). Neste estudo, foi analisado o índice do peróxido do óleo ozonizado de acordo com literatura relacionada e dos experimentos foram realizados relacionando-as com técnicas já descritas em outros estudos. Para determinação do Índice de Peróxido foi realizado de acordo o protocolo da *European Pharmacopeia 7th Ed* (FRANCE, 2010).

8.2.2 Densidade aparente

O teste para determinar a densidade foi realizado em temperatura ambiente média (21^o C) e em triplicata. Inicialmente foi realizada a pesagem da proveta vazia, após isto, adicionou-se 10 mL do óleo (sem ozonizar ou ozonizado) e pesou-se novamente. Para realizar o cálculo da densidade foi empregada a seguinte fórmula:

$$D = \text{massa (g)/volume (mL)}$$

8.2.3 Viscosidade

A medida da viscosidade foi realizada utilizando o viscosímetro digital (Brookfield DV-I Modelo LVDV-I) com suporte, do reservatório deste instrumento foi necessário a adição de 400 mL do óleo de girassol, e as leituras foram realizadas em quintuplicata.

8.2.4 Determinação do valor do pH

A verificação do pH foi realizada a partir de um equipamento PHmetro (Fabricante: GEHAKA, modelo PG3000). Primeiramente, o equipamento foi calibrado com soluções padrão e posteriormente a verificação em triplicata de cada amostra de óleo de girassol *in natura* e óleo de girassol ozonizado.

8.3 Preparo das amostras de cabelo

No presente estudo foram preparadas mechas de cabelo sem tratamento químico caucasiano de cor castanho-claro, adquiridas com origem definida na Perucaria, SP Brasil.

A mechas que foram selecionadas apresentavam aproximadamente 1000 mg (1g), com 15 cm de comprimento cada. Todas as mechas foram lavadas com Lauril Sulfato de Sódio 0,9% (LESS) (Bianquímica™) por aproximadamente 2 minutos, para a retirada de impurezas e padronização das amostras e após este processo foram secas na estufa para secagem (modelo MA 033 – MARCONI), por 24 horas a 37°C para padronização do processo.

As mechas separadas para descoloração, foram descoloridas com pó descolorante (Yama®) e água-oxigenada cremosa (Yama®) de 40 volumes (12% de peróxido de hidrogênio). O preparo da mistura para descoloração foi de 1:2, respectivamente. A mistura obtida foi aplicada a cada mecha individualmente com pincel. Na sequência todas as mechas foram acondicionadas em um recipiente plástico com tampa, no tempo de 60 minutos. Após este período, as mechas foram lavadas com água corrente até que todo o produto da descoloração fosse retirado. As mechas foram lavadas novamente com Lauril Sulfato de Sódio 0,9% (LESS) (Bianquímica™) para retirada de todos os resíduos da descoloração e após este processo foram secas na estufa para secagem e esterilização (modelo MA 033 – MARCONI), por 24 horas para padronização do processo. A figura 5 apresenta a imagem fotográfica da mecha contendo as fibras capilares *in natura* e descolorida.



Figura 5. Imagem fotográfica das mechas *in natura* e descolorida.

Fonte: Autor, 2023

Os óleos foram aplicados nas mechas com o intuito de verificar as possíveis alterações que o óleo de girassol *in natura* ou ozonizado induziriam na fibra capilar. Os referidos óleos foram aplicados nas fibras capilares durante 25 minutos, à temperatura ambiente, para garantir a adesão do óleo nos fios. Após esta etapa as mechas foram novamente lavadas com Lauril

Sulfato de Sódio 0,9% (LESS) (BianquímicaTM) para retirada do residual do óleo. Para os testes de análise *in vitro*, foram definidos os seguintes grupos experimentais: seis (06) mechas de cabelos naturais humanos, sendo que três (03) mechas naturais foram divididas da seguinte forma: uma (01) mecha natural (SD1), uma (01) mecha natural com óleo de girassol ozonizado (SD2) e uma (01) mecha natural com óleo de girassol *in natura* (SD3). Outras três (03) mechas foram separadas para o processo de descoloração e distribuídas da seguinte forma: uma (01) mecha descolorida padrão (D1), uma (01) mecha descolorida com óleo de girassol ozonizado (D2) e uma (01) mecha descolorida com óleo de girassol *in natura* (D3) (Tabela 3).

Tabela 3: Grupos experimentais SD1, SD2, SD3 e D1, D2, D3 empregados no presente estudo.

Mechas de cabelos sem Descoloração			Mechas de cabelos Descoloridos		
SD1	SD2	SD3	D1	D2	D3
Controle (cabelo natural)	Cabelo natural + óleo de girassol ozonizado	Cabelo natural + óleo de girassol <i>in natura</i>	Cabelo descolorido	Cabelo descolorido + óleo de girassol ozonizado	Cabelo descolorido + óleo de girassol <i>in natura</i>

Fonte: Auto, 2022.

8.4 A análise da Microscopia Óptica (MO)

Para a análise microscópica, foi utilizado um Microscópio Biológico Nikon, da marca ECLIPSE E200, câmera PRIME CAM, Capture V2.3 – *Revolutionary Computational Imaging Software* para a observação morfológica da camada externa bem como a disposição das cutículas da fibra capilar natural e descolorida antes e após a aplicação do óleo de girassol *in natura* e o óleo de girassol ozonizado. Cada amostra devidamente preparada foi colocada individualmente sobre uma lâmina de vidro para microscopia e recoberta com uma lamínula. Todas as lâminas foram analisadas na objetiva de 100x.

8.5 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

Esta técnica foi realizada visando analisar como a fibra capilar se comporta frente ao uso do óleo de girassol ozonizado e *in natura* em cabelo natural e em cabelo descolorido conforme os grupos apresentados na figura 8 e suas respectivas amostras. Nesta figura na micrografia de varredura eletrônica é possível avaliar as modificações morfológicas da estrutura

capilar que passaram por processo de descoloração que tenha causado a degradação da mesma e avaliar as alterações que ocorreram nesta fibra após o tratamento com óleo de girassol *in natura* e óleo de girassol ozonizado. Para a realização da microscopia de varredura eletrônica (MEV) as amostras foram metalizadas com o equipamento (Denton Vacuum Desk II, Moorestown, NJ) com o intuito de promover a condutividade. O MEV empregado foi (Tescan, VEGA 3 LMU, Czech).

8.6 Espectroscopia de absorção na região do infravermelho com transformada de Fourier (FT-IR)

Na espectroscopia no infravermelho, foi utilizada a técnica de Reflexão Total Atenuada Universal (UATR), onde a preparação da amostra consistiu no enrolado de pequenas partes conforme figura 6A, que foi utilizada para ser prensados por um espectrômetro de infravermelho (FT-IR/ FIR) (Perkin Elmer) (Figura 6B), modelo Frontier. O aparelho executou uma média de 16 varreduras e tempo de 2 segundos por varredura, abrangendo uma faixa espectral de 450 a 4000 cm^{-1} , a resolução foi ajustada em 4 cm^{-1} . Os espectros foram analisados e normalizados empregando-se o software o OriginPro (2018). Inicialmente, foi determinada a linha de base de cada espectro individualmente. Cada linha de base foi então subtraída de seu espectro original, na sequência as novas curvas foram plotadas e normalizadas seguindo os seguintes passos: Analysis > Mathematics > Normalize curves. Cabe salientar que as curvas foram normalizadas em relação ao ponto máximo da curva de maior intensidade e recalculadas no modo manual.

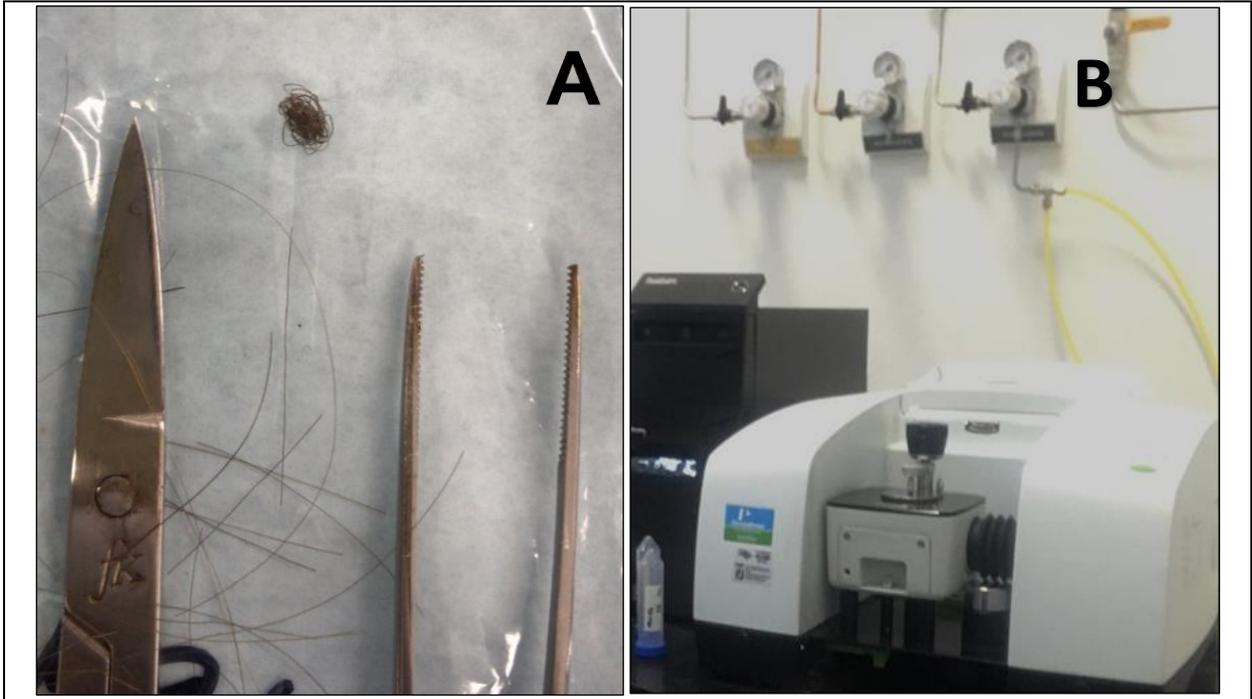


Figura 6. Amostra de fibra capilar preparada para o processo de FT-IR-ATR. (6A). Espectrômetro de infravermelho modelo Frontier (6B) usado na pesquisa.

Fonte: Adaptado de Marrafa, 2022.

9. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com a finalidade de realizar o controle de qualidade do óleo de girassol ozonizado ou não, foram realizadas análises físico-químicas avaliadas conforme descrição seguir:

9.1 Densidade do óleo de girassol antes e após ozonização

A Tabela 4 apresenta a densidade encontrada do óleo de Girassol *in natura* e do óleo de Girassol ozonizado. A densidade referente ao óleo de girassol *in natura* está de acordo com o recomendado pela Resolução da Diretoria Colegiada (RDC) n. 482 de 23 de setembro de 1999 anexo 5. A densidade do óleo de Girassol ozonizado apresentou valor similar ao óleo *in natura*, indicando assim que procedimento de ozonização empregado não alterou significativamente a densidade do óleo. De acordo com Travagli (2010) convém analisar os aspectos físicos e químicos dos óleos ozonizados, cuja importância é fundamental para validar a qualidade do produto que será obtido neste processo.

Tabela 4: Densidade do óleo de girassol antes e após ozonização

Densidade (g/mL) \pm DP	<i>in natura</i>	ozonizado
Óleo de girassol	0,918 \pm 0,1	0,928 \pm 0,1

DP = Desvio Padrão

9.2 Índice de Peróxido

A Tabela 5 apresenta o Índice de Peróxido (IP) do óleo de girassol *in natura* e ozonizado. De acordo com os dados obtidos verificou-se que o IP da amostra *in natura* está de acordo com o recomendado pela literatura (TRAVAGLI, 2010; CAMPESTRE IND. E COM. DE ÓLEOS VEGETAIS LTDA, (1974); SANCHEZ, 2011). Após a ozonização do óleo houve um aumento significativo do IP, sendo que este aumentou em aproximadamente 33 vezes quando comparado ao controle. O estudo de Sanchez (2011) também demonstrou um aumento significativo do IP após a ozonização (87,3 meq/kg óleo). No referido estudo foi empregado um frasco de vidro com capacidade de 1,5 litros, a quantidade de óleo de girassol foi de 1 litro, sendo que o método empregado foi o de reator de coluna de borbulhamento, durante seis horas a um fluxo de 2,0 L/min de oxigênio, com uma concentração de 30 mg/L de ozônio.

O estudo de Jacinto (2022) demonstrou um aumento significativo do IP após a ozonização (5920 meq/kg óleo), sendo que foi utilizado um reator de aço inox empregando-se o método de borbulhamento. O tempo de ozonização foi de 24 horas e o fluxo de Ozônio fornecida pelo gerador foi de 21 g de O₃/h, e a dosagem de 80 g de O₃/Kg de óleo. No total foram ozonizados 30 Kg de óleo.

Tabela 5: Índice de Peróxido das amostras de óleo de girassol antes e após a ozonização.

Índice de Peróxido (meq/Kg óleo) \pm DP	<i>in natura</i>	Ozonizado
Óleo de girassol	3,3 \pm 0,82	109,3 \pm 0,72

DP = Desvio Padrão

9.3 Viscosidade

Na Tabela 6 foram apresentados os resultados das medidas de viscosidade do óleo de Girassol *in natura* e ozonizado, verificou-se que não houve um aumento significativo da viscosidade após a ozonização.

Tabela 6: Viscosidade do óleo de girassol *in natura* e ozonizado

Viscosidade (mPa.s) \pm DP	<i>in natura</i>	Ozonizado
Óleo de girassol	58,3 \pm 0,44	58,87 \pm 1,07

DP = Desvio Padrão

A viscosidade é um parâmetro físico-químico que demonstra a ruptura das duplas ligações e formação dos peróxidos na ozonização do óleo de girassol (TRAVAGLI, 2010; SECHI, 2001). De acordo com Sadowska (2008) a viscosidade diminui com o aumento da insaturação das cadeias gordurosas e com o aumento da temperatura. De acordo com Julien Vinet (2021) os óleos ozonizados são viscosos e o aumento desse parâmetro depende do índice de peróxido, índice de iodo, tempo, da concentração e vazão do gás. Julien Vinet (2021) afirma no seu estudo que o IP ainda corresponde à quantidade de oxigênio ativo presente em 1 kg de amostra (unidades: meq de oxigênio ativo por kg de amostra). Julien Vinet (2021) não especifica a viscosidade, porém, afirma que a viscosidade está relacionada a matéria-prima na presença de água devido a tendência do erro padrão que foram obtidos com ensaios volumétricos, o que ele atribui a maior viscosidade dos compostos. Este fato pode ser devido ao protocolo empregado por JULIEN Vinet, o qual empregou a vazão de gás em 30 L/h com tempo que variou de 0 a 7 h, à temperatura ambiente. De acordo com Travagli (2010) e Nascimento (2020), quanto maior for o tempo de ozonização, mais viscoso o óleo será, pois depende do tempo de da quantidade de óleo a ser ozonizado.

9.4 Determinação do pH

A Tabela 7 apresenta o pH do óleo de Girassol *in natura* e do óleo de Girassol ozonizado. O pH é um indicador de extrema importância, pois mede a acidez de uma solução, o que é fundamental em produtos de beleza, pois, sua alteração pode causar problemas aos usuários, como alergias e queimaduras. Devido à maior afinidade das micelas com a hidroxila (OH^-), o pH alcalino tem uma maior interação com a sujeira, e assim, uma ação de limpeza mais forte.

Tabela 7: Valores do pH do óleo de girassol *in natura* e ozonizado

Valor do pH \pm DP	<i>in natura</i>	Ozonizado
Óleo de girassol	6.9 \pm 0,1	4.0 \pm 0,1

DP = Desvio Padrão

Segundo Abraham (2009) o pH ideal para o cabelo e couro cabeludo deve estar entre 4,1 e 4,9. De acordo com Sales (2021) o pH ácido mantém as cutículas de cabelo seladas. No entanto, para fins dermatológicos é em torno de 5,5 para aproximar o pH da pele e evitar seu ressecamento devido as camadas gordurosas não removidas (VINEYARD, 2014).

Ainda segundo Barbosa e Silva (1995) a pele humana tem uma certa acidez, com pH entre 3 e 5, enquanto o pH do cabelo fica entre 4 e 5, esta acidez é causada por efeito da produção de ácidos graxos pelas glândulas sebáceas, assim o uso de determinados tipos de xampu podem causar mudanças no pH do cabelo, causando alteração na estrutura do cabelo. Segundo Lima (2012) o pH de um produto abaixo de 5,0 não é um grande problema, visto que o pH da pele está em torno de 5,5 e o pH do couro cabeludo entre 4,2 e 5,6.

9.4 Microscopia Óptica (MO)

A Microscopia Óptica (MO) foi utilizada com o objetivo de verificar possíveis alterações nas superfícies das amostras de fibra capilar, antes e após o processo de descoloração e aplicação de óleo de girassol *in natura* e ozonizado. De acordo a figura 7 pode-se observar que as amostras do grupo SD1 apresentaram-se preservadas, sendo que as características naturais da fibra foram mantidas, as cutículas estão inalteradas, uniformemente alinhadas e sobrepostas. Quando se comparou as mechas com aplicação de óleo de girassol ozonizado (SD2) e óleo de girassol *in natura* (SD3) com a SD1 observou-se que ambos os óleos induziram para um melhor alinhamento e sobreposição das camadas de cutículas. As amostras do grupo D1 apresentaram as cutículas entumecidas, o que favorece a abertura das cutículas. As amostras dos grupos D2 e D3 comparadas ao grupo D1, demonstraram que a adição de óleo na fibra capilar favoreceu o alinhamento e a sobreposição das camadas de cutícula. As amostras do grupo D1 apresentaram alterações visíveis, caracterizadas pelo entumecimento e abertura das cutículas induzidas processo de descoloração quando comparada as amostras do SD1.

As imagens obtidas a partir da Microscopia óptica da fibra capilar natural está de acordo com o que está descrito na literatura (COLENCI, 2007), sendo que se pode observar os efeitos negativos que os agentes descolorantes podem causar nesta fibra capilar após a descoloração. Foi possível verificar deformidades na superfície. Foi possível verificar também os benefícios que produtos à base de óleo vegetal podem trazer a esta fibra, como a melhora do realinhamento das cutículas que foram modificadas por descoloração ou outro processo químico que tenha degradado esta fibra capilar (Figura 7).

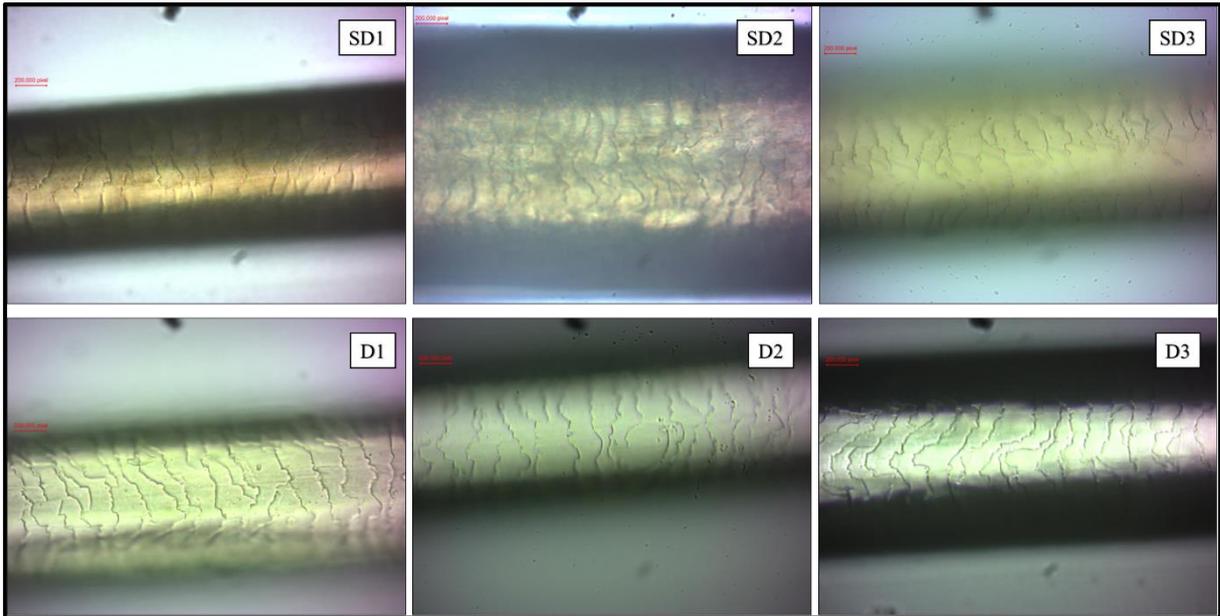


Figura 7: Imagem fotográfica obtidas por MO das mechas Naturais Padrão (SD1, SD2 e SD3) e Mechas Descoloridas (D1, D2 E D3), na objetiva 100.

Fonte: Autor, 2022.

9.5 Microscopia de Varredura Eletrônica (MEV)

A Microscopia Eletrônica de Varredura foi empregada com o intuito de verificar possíveis alterações nas superfícies das amostras de fibra capilar, antes e após o processo de descoloração e aplicação de óleo de girassol *in natura* e ozonizado. Conforme a figura 8A, verificou-se que a fibra capilar natural sem nenhum processo químico, apresentou as camadas de cutículas de forma organizada, como um telhado com cada camada sobrepostas. As cutículas apresentaram desgaste natural, devido provavelmente a exposição à radiação UV e até mesmo, decorrente de processos de lavagem que esta fibra vem recebendo temporalmente. Além disso, a maioria das cutículas desta fibra natural estão alinhadas e mais próximas umas das outras, isto é, estão mais unidas. Algumas cutículas estão mais levantadas devido ao desgaste natural. A figura 8B e C apresenta a fibra natural que recebeu o óleo Girassol *in natura* e ozonizado, respectivamente. A análise comparativa demonstrou que a aplicação do óleo ozonizado apresentou o padrão de distribuição e característica das cutículas de forma semelhante às amostras que receberam o óleo de girassol *in natura*. Ao comparar as imagens 8B e C com grupo controle, verificou-se que as cutículas após a aplicação dos óleos apresentaram-se de forma mais alinhada, sendo que as características da superfície da fibra capilar foram mantidas. É importante salientar que aplicação tanto do óleo *in natura* quanto ozonizado apresentaram características semelhantes com relação à superfície em relação à disposição das camadas de

cutículas, à ozonização não parece interferir neste processo. Cabe destacar que na amostra 8C foi perceptível a presença de sujidades decorrentes do manuseio.

A figura 8D apresenta a fibra capilar após o processo de descoloração. São perceptíveis degradações na fibra devido ao efeito da oxidação causada pelo processo químico. Ao comparar com as cutículas da fibra de cabelo natural (Figura 8A) com as submetidas a descoloração (8D), verificou-se que estão mais abertas e levantadas, sendo que, uma das fibras (indicada pela seta em verde) está completamente degradada, com as camadas de cutícula destruídas, sendo possível visualizar seu córtex. Ao comparar a figura 8E e figura F, verificou-se ao padrão de distribuição das cutículas e que as lesões observadas foram semelhantes nos dois grupos. Com relação à comparação das amostras descoloridas (8D) com as amostras que receberam óleo *in natura* e ozonizado (8E e F) pode-se observar que a aplicação do óleo de girassol ozonizado ou não, proporcionou um maior alinhamento das camadas de cutículas que ainda estavam preservadas. As alterações ocorridas corroboram as descritas na literatura no que se refere a degradação ocasionada pelo uso de produtos químicos como a descoloração ou outra química que venha alterar de alguma forma sua morfologia (SANTOS, 2017; LIMA, 2010; LIMA, 2016; GOSHIYAMA, 2019; ARAUJO, 2015).

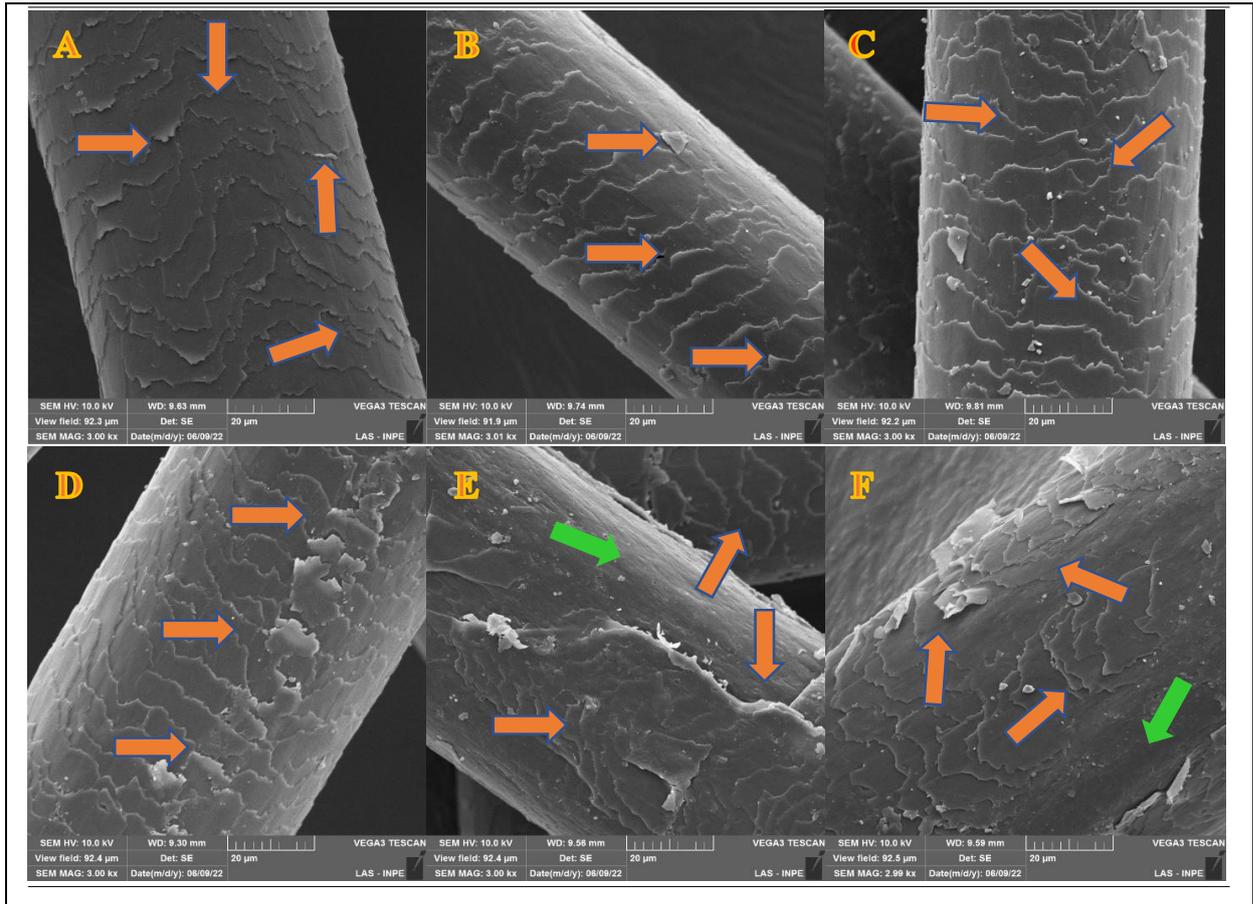


Figura 8: Imagens obtidas por meio do MEV das amostras do cabelo, as imagens estão separadas nos seguintes grupos: A — Fibra Natural padrão, B — Fibra Natural com Óleo de Girassol *in natura*, C — Fibra Natural com Óleo de Girassol Ozonizado, D — Fibra Descolorida, E — Fibra Descolorida com Óleo de Girassol *in natura*, F — Fibra Descolorida com Óleo de Girassol Ozonizado. As setas em laranja indicam descamação da cutícula, enquanto, que, as setas em verde indicam a exposição do córtex da fibra capilar.

Fonte: Autor, 2022.

9.6 Espectroscopia de absorção na região do infravermelho com transformada de Fourier (FT-IR)

É de grande importância a observação das bandas de absorção na região do infravermelho características da fibra capilar natural com o intuito de comparar com a fibra capilar descolorida, com ou sem a aplicação do óleo de girassol ozonizado, pois, permite monitorar o comportamento destes grupos funcionais que, de acordo com a literatura servem para avaliar os benefícios que tratamentos cosméticos podem trazer a fibra capilar virgem e descolorida (LIMA, 2016).

A Tabela 8 apresenta as bandas espectrais descritas na literatura a partir do FT-IR. Os picos foram selecionados pela importância de se poder comparar os efeitos de produtos de descoloração no que tange as alterações das estruturas orgânicas da fibra capilar quando

submetidas a tais agressões químicas, seja por meio de uma coloração, ou descoloração. Estes picos mostram as alterações sofridas, que vão desde a oxidação da queratina até a oxidação da cistina, que são primordiais para a preservação da fibra capilar estando ela natural ou com processos químicos mais agressivos (LIMA, 2016; FARIAS, 2021; SILVA 2019; COLENCI, 2007; MAURICIO, 2019).

Tabela 8: Bandas espectrais dos componentes da fibra capilar a partir do FT-IR.

Grupos funcionais	Número de Ondas / cm^{-1}	
	Literatura	Caucasiano Natural
CH_3 Assimétrico	2919-2920	2920
CH_2 Simétrico	2849-2851	2851
Amida I	1690-1600	1633
Amida II	1575-1480	1527
Amida III	1320-1210	1235
Monóxido de cistina	1071-1072	1192
Ácido sulfônico	1040-1042	1040

Fonte: Adaptado de LIMA, 2016

A figura 9 apresenta os espectros médios obtidos a partir de FT-IR de todos os grupos experimentais avaliados. Nesta são evidenciadas as principais bandas espectrais presentes na fibra capilar, são elas: as bandas espectrais de 2920 cm^{-1} e 2851 cm^{-1} referentes a CH_3 e CH_2 originados de aminoácidos assimétricos e simétrico, respectivamente (LIMA, 2016). Essas bandas espectrais representam o complexo da membrana celular (CMC), tem como função de garantir a ligação das células corticais com a medula, promovendo as condições efetivas de propagação das moléculas para dentro da fibra capilar. Além disso, o CMC está ligeiramente entre as camadas de cutículas com a função de mantê-las unidas (COLENCI, 2007; ARAÚJO, 2022; FARIAS, 2022). Ainda segundo Lima (2016) as bandas de amida A e B foram detectadas nos picos 3277 cm^{-1} e 3073 cm^{-1} respectivamente com importância na estrutura da água e manutenção das proteínas juntas.

As bandas espectrais de 1633 cm^{-1} , 1527 cm^{-1} , 1235 cm^{-1} , estão relacionados a amida I, amida II e amida III (LIMA, 2016,) respectivamente, e podem sinalizar o efeito oxidativo do processo de descoloração ou clareamento e demonstrar como a ação do óleo de girassol *in natura* e ozonizado pode afetar a fibra após sua aplicação. Isto fica demonstrado pelo aumento de seus respectivos picos. De acordo com Lima (2016) os picos de 1192 cm^{-1} e

1040 cm^{-1} (LIMA, 2016) estão relacionados com o estiramento do SO_2 , sugerindo o produto da oxidação da cistina, que aparece em forma de um ombro na banda da amida III., esses picos podem estar relacionadas a oxidação do aminoácido cistina e indica que o cabelo foi submetido a ação cosmética, e as regiões na faixa entre 1200 cm^{-1} e 1000 cm^{-1} denotam evidência de alterações decorrentes de tratamentos químicos como clareamento (descoloração, coloração e ondulação) (LIMA, 2016).

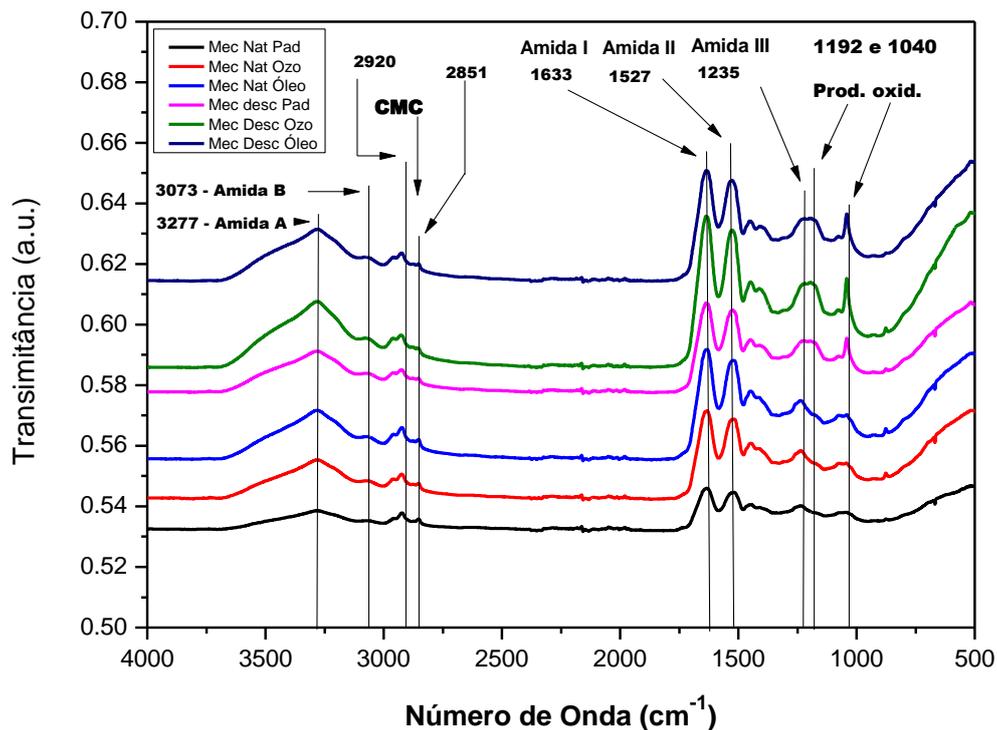


Figura 9 Espectros médio de absorção na região do IR de amostras das mechas de cabelo caucasiano natural e descolorido antes e após o tratamento com óleo de girassol natural e ozonizado aplicados nas mechas.

Avaliação da Mecha Natural Padrão (SD1) com a mecha natural padrão descolorida (D1) por Espectroscopia Infravermelho com transformada de Fourier – FT-IR.

A Figura 10 apresenta os espectros médios obtidos a partir de FT-IR dos grupos experimentais avaliados SD1 e D1, respectivamente, com o intuito de observar as alterações induzidas pela descoloração na fibra capilar. Ao comparar as amostras SD1 e D1 verificou-se que as bandas espectrais 1633 cm^{-1} , 1527 cm^{-1} e 1235 cm^{-1} , não apresentaram mudanças nos perfis de intensidade nas mechas D1 do que nas mechas SD1. Estas bandas espectrais estão

relacionadas com as amidas I, amidas II e amidas III respectivamente, e foram identificadas nas amostras dos grupos SD1 e D1.

De acordo com a figura 10, o pico 1040 (MAURICIO, 2019; LIMA, 2016), apresenta intensidade maior no grupo D1, devido ao processo de oxidação decorrente da descoloração, resultando da quebra de pontes de dissulfeto, é possível observar também, uma banda em torno de 1192 que se refere ao produto da oxidação da cistina que é demonstrada como a formação de um ombro partindo da banda da amida III (LIMA, 2016).

Segundo Lima, (2016) o CMC é considerado importante quando se trata de um meio pelo qual é permitido a entrada de substância à fibra capilar, portanto nesta região se observa uma diminuição expressiva nos picos de 2920 cm^{-1} e 2851 cm^{-1} na fibra que sofreu o processo de descoloração (D1) quando se compara com a fibra SD1, demonstrando que esta fibra sofreu uma agressão por conta do processo de oxidação causada pela descoloração.

Com relação ao pico de 1451 cm^{-1} não foram observadas alterações na fibra capilar *in natura* quando comparado a descolorida, indicando assim sendo que o processo de oxidação por descoloração **não** induziu a perda de lipídeos.

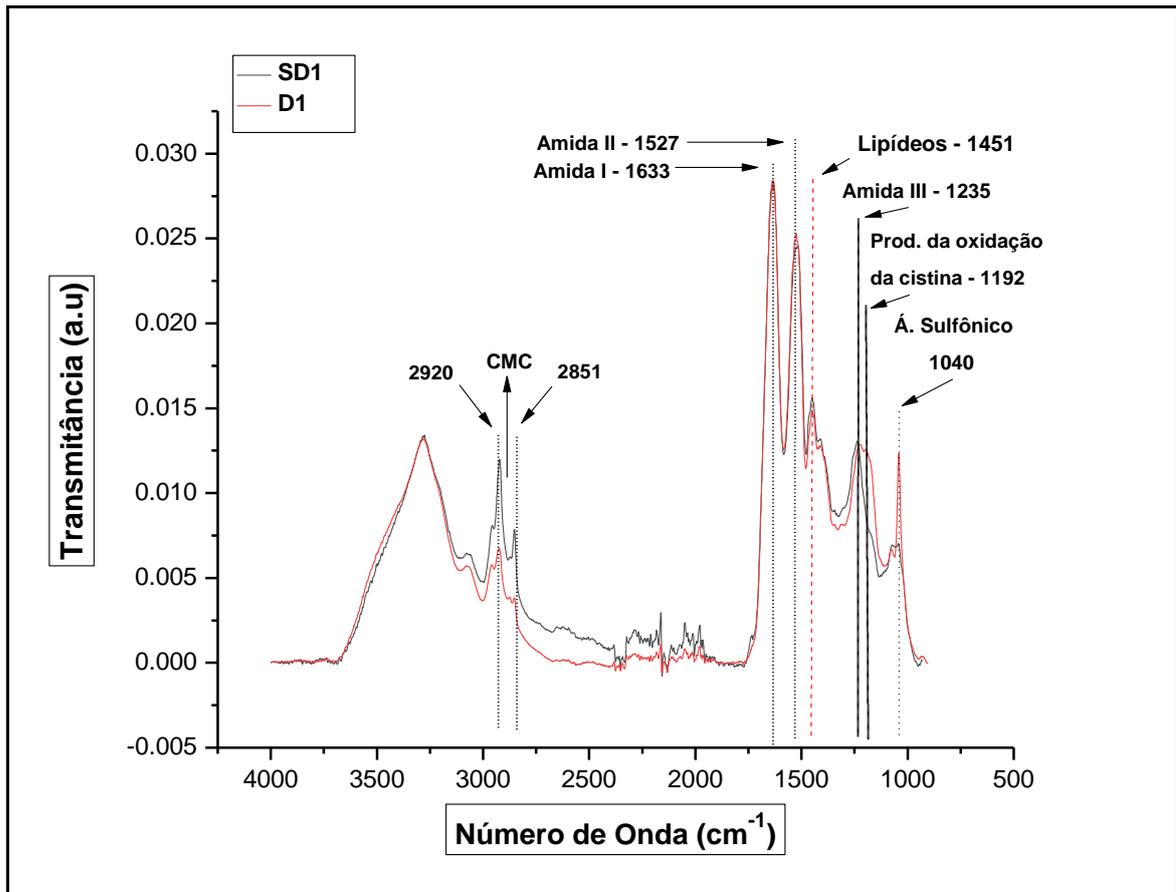


Figura 10 Espectros médio de absorção na região do IR de amostras das mechas de cabelo caucasiano natural sem descoloração (SD1) e descolorido (D1).

Avaliação da Mecha Natural Padrão (SD1) com a mecha natural padrão com óleo de girassol ozonizado (SD2) e mecha natural padrão com óleo de girassol *in natura* (SD3) por Espectroscopia Infravermelho com transformada de Fourier – FT-IR.

A Figura 11 apresenta os dados referentes aos espectros médios das amostras do FT-IR dos grupos SD1, SD2 e SD3, com o intuito de verificar quais alterações que o óleo *in natura* ou ozonizado induzem na fibra capilar natural. Pode-se observar na figura 11 que não houve alteração na intensidade dos picos de interesse relacionados a fibra capilar, sendo que estes se encontram praticamente sobrepostos em todos os grupos analisados.

Em um cabelo natural que não está descolorido, quando se aplica o óleo de girassol *in natura* ou ozonizado, aparentemente não se observa nenhuma alteração significativa nos espectros, inclusive no espectro de 1451 cm^{-1} , possivelmente porque depois que o óleo foi aplicado nas mechas, depois elas foram lavadas e este óleo foi removido e se mantém o pico de 1451 cm^{-1} que é natural do cabelo. O que pode explicar isto, é que quando se aplica o óleo na

superfície do cabelo, houve absorção dele ainda que tenha sido pouca absorção e que não foi detectada com maior clareza na visualização dos picos. De acordo com Mayer (2017) O feixe transmite alguns dos comprimentos de onda além da superfície reflexiva e, quando um material (no caso a fibra de cabelo com óleo) que absorve seletivamente a radiação entra em contato com a superfície, o feixe perde energia nos comprimentos de onda que o material absorve. De acordo com esta posição quando aplicado este óleo, ele cria uma película na superfície do cabelo dificultando a reflectância da luz que incide sobre a amostra. Essa reflectância ou efeito pelicular pode ter atrapalhado na detecção da intensidade do pico de 1451 cm^{-1} , que está relacionado aos lipídeos.

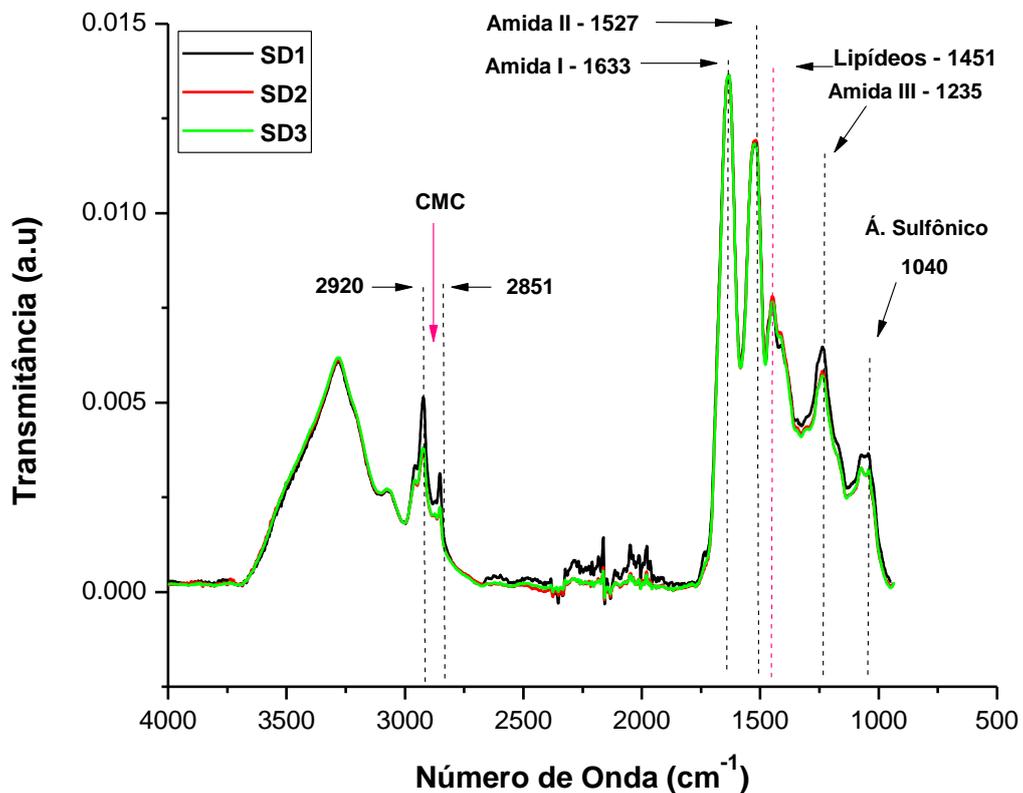


Figura 11: Espectros médios obtidos a partir de FT-IR dos grupos experimentais avaliados SD1, SD2 e SD3.

Avaliação da Mecha Natural Padrão descolorida (D1), mechas natural padrão com óleo ozonizado (D2) e mecha natural padrão com óleo *in natura* (D3) por Espectroscopia Infravermelho com transformada de Fourier – FT-IR.

Na figura 12 são comparados os espectros médios obtidos por FT-IR das amostras da fibra capilar descolorida padrão (D1), descolorida com óleo ozonizado (D2) e descolorida com óleo *in natura* (D3), com o objetivo de verificar possíveis alterações que a aplicação de óleo ozonizado ou não pode induzir na fibra capilar.

Podemos observar na figura 12 que não houve alteração na intensidade dos picos de interesse relacionados a fibra capilar, sendo que estes se encontram praticamente sobrepostos em todos os grupos analisados.

Nos picos 1633 cm^{-1} , 1527 cm^{-1} e 1235 cm^{-1} que estão relacionados a amida I, II e III respectivamente pode-se perceber que não houve o aumento de intensidade destes, quando aplicado o óleo de girassol ozonizado na fibra capilar *in natura* em relação à fibra capilar descolorida com aplicação do óleo de girassol *in natura*, estas bandas são sensíveis às alterações em sua conformação podendo ocorrer degradação em sua cadeia. As respectivas amidas sofreram degradação após o processo químico por descoloração ou outro processo químico que podem degradar a fibra capilar (MAURICIO, 2019; LIMA, 2016).

De acordo com Lima (2016), cabelos que não sofreram algum tipo de processos químico tem a sua estrutura organizada com é o caso da α -helicoidal, estrutura organizada estabelecida no córtex. Esta por sua vez está relacionada com a deformação de N-H (amida II) no pico 1535 cm^{-1} . A fibra capilar quando sofre algum processo químico sua cadeia é modificada e passam a cadeia de proteína estendida, a estrutura de folha β (β -sheet) que, segundo Lima (2016), está relacionada com amida III no pico 1235 cm^{-1} . Quando se observa os picos das mechas de cabelos tratadas com descolorante e aplicado o óleo de girassol ozonizado e *in natura*, pode-se perceber as alterações nas mechas pela sobreposição dos respectivos picos, devido à degradação ocasionada pela oxidação destes componentes na fibra capilar. Sendo assim, no modelo que foi usado no presente estudo verificou-se que o óleo de girassol ozonizado não apresentou interferência direta na constituição bioquímica da fibra capilar descolorida, mesmo apresentando maiores quantidades de peróxidos e pH ácido.

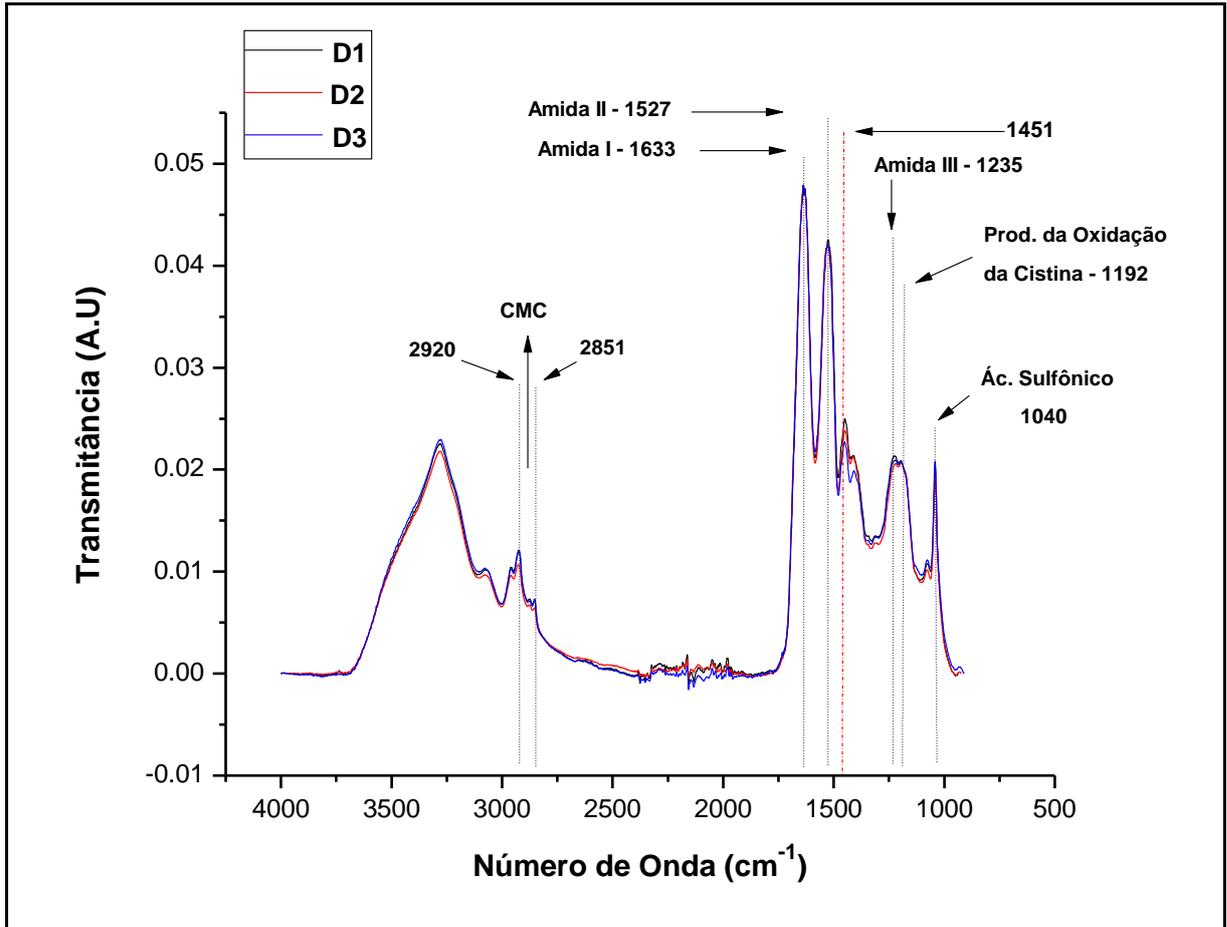


Figura 12. Espectros médios obtidos a partir de FT-IR dos grupos experimentais avaliados D1, D2 e D3.

10 CONCLUSÃO

De acordo com os resultados e as condições experimentais empregadas verificou-se que a densidade e a viscosidade do óleo de girassol não sofreram alterações significativas após a ozonização. Em contrapartida, a ozonização do óleo de girassol induziu um aumento significativo do índice de peróxido, cerca de 33 vezes maior do que as amostras controle.

Ao analisar as imagens da fibra capilar no MEV, foi possível constatar que a fibra capilar natural apresentou as camadas de cutículas de forma organizada semelhante a um telhado, com as camadas sobrepostas. A análise comparativa das fibras capilares naturais que receberam o óleo Girassol *in natura* e ozonizado demonstrou que tanto o óleo *in natura* quanto ozonizado apresentou efeitos semelhantes com relação à superfície, no sentido de favorecer o alinhamento das camadas de cutículas. No entanto, após o processo de descoloração, a fibra capilar apresentou alterações perceptíveis devido ao efeito da oxidação causada pelo processo químico. As amostras descoloridas que receberam *óleo in natura* e ozonizado apresentaram um maior alinhamento das camadas de cutículas que ainda estavam preservadas. Os resultados obtidos a partir da microscopia óptica corroboraram com a Microscopia Eletrônica de Varredura.

Em relação ao FT-IR, o pico 1040 cm^{-1} apresentou intensidade maior no grupo D1, devido ao processo de oxidação decorrente da descoloração, resultando da quebra de pontes de dissulfeto. É possível observar também, uma banda em torno de 1192 cm^{-1} que se refere ao produto da oxidação da cistina, que é demonstrada como a formação de um ombro partindo da banda da amida III. Na região do CMC foi possível observar uma diminuição nos picos de 2920 cm^{-1} e 2851 cm^{-1} na fibra que sofreu o processo de descoloração (D1) quando comparado com a fibra SD1, demonstrando que esta fibra sofreu uma agressão por conta do processo de oxidação causada pela descoloração.

A análise dos espectros médios das fibras capilares descoloridas que foram tratadas com o óleo ozonizado e *in natura*, apresentaram bandas espectrais com intensidades e picos muitos similares, assim como, as fibras capilares *in natura*. Com base nestas informações, o óleo de girassol ozonizado poderia ser aplicado na fibra capilar *in natura* e descolorida sem causar danos, apesar de ter peróxidos e o pH mais ácido. O óleo de girassol ozonizado não agride a fibra capilar, apresentando potencial de favorecer a adesão e alinhamento das cutículas. No entanto, novos estudos são necessários para confirmar este fato, incluindo estudos *in vivo*.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAHAM, L. S. et al. Tratamentos estéticos e cuidados dos cabelos: uma visão médica (parte 2). **Surgical & Cosmetic Dermatology**, v. 1, n. 4, p. 178-185, 2009.

ARAÚJO, L. A. **Desenvolvimento de formulações cosméticas contendo óleos vegetais para proteção e reparação capilar**. 2015, 90 p. Tese (Doutorado em Ciências) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

ABURJAI, T.; NATSHEH, F. M. Plants used in cosmetics. **Phytotherapy Research**, v. 17, n. 9, p. 987-1000, 2003.

BARBOSA, A.; SILVA, R. Xampus. Química Nova na Escola. N.2. Novembro 1995

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. RESOLUÇÃO Nº 482, DE 23 DE SETEMBRO DE 1999. Visando a proteção à saúde da população e da necessidade de fixar a identidade e as características mínimas de qualidade a que devam obedecer aos ÓLEOS E GORDURAS VEGETAIS. RDC n. 482 de 23 de setembro de 1999

BOCCI, V. Physical-chemical properties of ozone—natural production of ozone: the toxicology of ozone. In: _____. **OZONE: A new medical drug**, Dordrecht: Springer, 2011. p. 1-4.

CAMPESTRE IND. E COM. DE ÓLEOS VEGETAIS LTDA. Ficha Técnica Óleo De Girassol. São Bernardo do Campo – SP. Disponível em: https://www.campestre.com.br/pdf/ficha_tecnica_oleo_de_girassol.pdf. Acesso em: 26 de maio de 2023.

CASTELO-BRANCO, V. N.; TORRES, A. G. Capacidade antioxidante total de óleos vegetais comestíveis: determinantes químicos e sua relação com a qualidade dos óleos. **Revista de Nutrição**, v. 24, p. 173-187, 2011.

COLENCI, A. V. P. **Efeito de formulação contendo biopolímero quitosana sobre a fibra capilar caucasiana**. 2007. 102 p. Dissertação (Mestrado em Bioengenharia) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

CORDEIRO, R. Ê. P. et al. Reaproveitamento do caroço da azeitona para produção de sabonete esfoliante: Uma produção sustentável. **Revista Eletrônica TECCEN**, v. 6, n. 1/2, p. 05-09, 2013.

CORREIA, I. M. S. et al. Avaliação das potencialidades e características físico-químicas do óleo de Girassol (*Helianthus annuus* L.) e Coco (*Cocos nucifera* L.) produzidos no Nordeste brasileiro. **Scientia plena**, v. 10, n. 3, 2014.

CRIEGEE, R. Mechanism of Ozonolysis. *Angewandte Chemie International Edition in English*. Wiley. v. 14, n. 11, p. 745-752, 1975.

DE ALMEIDA, N. R. et al. Óleos vegetais ozonizados: Produção, caracterização química e potencial terapêutico. *Ozonized vegetable oils: Production, chemical characterization and*

therapeutic potential. In: HOLT, B. Vegetable Oil. Nova Science Publishers: Nova Iorque, p. 129-160, 2016.

DE PAULA, K. J. S.; URRUCHI, W. M. I.; FREIRE, M. H. S. Determinação da concentração de ozônio em diferentes tipos de soluções aquosas para uso na prática clínica. **Global Academic Nursing Journal**, v. 2, n. 1, p. e64, 2021.

DÍAZ, M. F. et al. Estudo comparativo de azeite de oliva ozonizado e óleo de girassol ozonizado. **Revista da Sociedade Brasileira de Química**, v. 17, p. 403-407, 2006.

DIEFENBACH, S. S.; DA SILVA, W. L.; LOURENÇO, J. B. Adsorção de azul de metileno utilizando cabelo humano natural e calcinado. **Disciplinarum Scientia**, v. 20, n. 1, p. 85-98, 2019.

FARMACOPEIA EUROPEIA 7a edição, Strasbourg: Council of Europe, 2011.

FARIAS, T. L. S. Desenvolvimento e caracterização de membranas de poli (ϵ -caprolactona) eletrofiadas e modificados graxos com heparina e ingredientes essenciais para aplicação biomédica. 2021. 63 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2021.

GUINESI, A. S. et al. Óleos ozonizados: uma análise qualitativa e quantitativa. **Revista Odontológica Brasileira**, v. 22, p. 37-40, 2011.

GAMA, R. M. **Avaliação do Dano da Haste Capilar Ocasionado por Tintura Oxidativa Aditivadas ou não de Substância Condicionadoras**. 2010. 181 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Farmacêuticas) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

GOSHIYAMA, A. M. **Avaliação das propriedades das fibras capilares tratadas com alisante ácido com diferentes valores de pH**. 2019. 101 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Farmacêuticas). Universidade de São Paulo, São Paulo, 2019.

JACINTO, G. S. **Caracterização química e monitoramento biológico de óleos vegetais com diferentes graus de ozonização**. 2022. 98 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Farmacêuticas) – Universidade do Vale do Itajaí, Itajaí, 2022

LIMA, C. R. R. C. **Caracterização físico-química e analítica de fibras capilares e ingrediente cosméticos para proteção**. 2016. 211 fls. Tese (Doutorado em Ciências Farmacêuticas) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.

LIMA, G. C. G.; COMARELLA, L. Sugestão de desenvolvimento de formulações de xampu-sabonete auxiliares no tratamento da dermatite seborreica. **Revista Uniandrade**, v. 13, n. 2, p. 160-174, 2012.

MARRAFA, P. A. L. I. **Avaliação dos efeitos do gás ozônio em fibra capilar humana: um estudo preliminar *in vitro***. 2022. 69 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Biomédica) – Universidade Anhembi Morumbi, São José dos Campos, 2022.

MASUCHI, M. H. et al. Quantificação de TBHQ (terc butil hidroquinona) e avaliação da estabilidade oxidativa em óleo de girassol comercial. **Química nova**, v. 31, n. 5, pág. 1053-1057, 2008.

MAYER, J. G. **Comparação da análise de ácidos graxos trans em biscoito por cromatografia gasosa acoplada a espectrometria de massas (CG-EM) e por espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier e reflectância total atenuada (FT-IR-ATR)**. 2017. 114 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Aplicadas a produtos para Saúde) – Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2017.

MAURICIO, L. P. A. **Caracterização da Integridade Estrutural da Fibra Capilar Tratada com Diferentes Produtos Químicos**. 2019. 109 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Textil) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2019.

MONTEIRO, E. C. **Flexabrasão aplicada à avaliação da fotodegradação de fibras capilares**. 2018. 154 p. Dissertação (Mestrado em Metrologia) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.

MOURA, E. R. D. **Alopecias Cicatriciais Primárias: Revisão de chados Histopatológicos de 37 Pacientes do Departamento de Dermatologia do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo no Período de 2000 a 2005**. 2010. 120 f. Dissertação (Mestrado em Dermatologia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

MOUREU, S. et al. Influence of Storage Temperature on the Composition and the Antibacterial Activity of Ozonized Sunflower Oil. **Ozone: Science & Engineering**, v. 38, n. 2, p. 143-149, 2015.

NASCIMENTO, B. Z.; COSTA, A. P. O. Hidroxilação dos óleos de girassol, milho e crambé e caracterização química dos polióis vegetais obtidos. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 25, n. 3, 2020.

PARK, S. Y. The Study on Safety of Olive Oil Production Ozonized of Hair and Skin Improvement. **Journal of the Korean Oil Chemists' Society**, v. 32, n. 3, p. 583-587, 2015.

RABELO, D. M.; HENRIQUES, B. O.; LABANCA, R. A. Avaliação da rotulagem de óleos vegetais segundo a legislação vigente: itens obrigatórios e opcionais. **A Barriguda: Revista Científica**, v. 7, n. 1, p. 23-34, 2017.

RENSI, A. M. V. et al. Avaliação do efeito de óleos ozonizados de girassol e coco no controle Propionibacterium acnes. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA BIOMÉDICA, XXIV, 2014, Uberlandia, **Anais...** Uberlandia, SBEB, 2014, p. 1164-1166.

ROBBINS, C. R., **Chemical and Physical Behavior of Human Hair**, SPRINGER-Verlag Ed., 4ª ed, 2000.

SADOWSKA J. et al. Characterization of ozonated vegetable oils by spectroscopic and chromatographic methods. **Chemistry and Physics of Lipids**, v. 151, n. 2, p. 85-91, 2008.

SALES, F. C. et al. Análise de características organolépticas de Ph de shampoos líquidos. **Journal of Exact Sciences**, v. 30, n. 1, 2021.

SANTOS, J. D. **Caracterização de Fios de Cabelos antes e após tratamentos químicos e físicos por espectroscopia Raman e infravermelho e microscopia eletrônica**. 2017. 82 p. Dissertação (Mestrado em Química). Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2017.

SECHI, L. A. et al. Antibacterial activity of ozonized sunflower oil (Oleozon). **Journal of applied microbiology**, v. 90, n. 2, p. 279-284, 2001.

SILVA, L. S. S.; SANTOS, J. S. Aplicabilidade dos óleos vegetais em tônicos capilar: uma revisão. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 15, p. e124101522725-e124101522725, 2021.

SIMMONDS, M. S. J.; MARSH, J. M. Produtos de Origem Vegetal para os Cabelos. **Cosmetics & Toiletries, Brasil**, v. 32, 2020.

SOUZA, A. M.; POPPI, R. J. Experimento didático de quimiometria para análise exploratória de óleos comestíveis por espectroscopia no infravermelho médio e análise de componentes principais: um tutorial, parte I. **Química nova**, v. 35, n. 1, pág. 223-229, 2012.

SOUZA, L. C. et al. Prospecção Tecnológica da Utilização dos Ácidos Graxos de Óleos Vegetais na Indústria de Cosméticos. **Cadernos de Prospecção**, v. 15, n. 2, p. 541-556, 2022.

TRAVAGLI, V. et al. Ozone and Ozonated Oils in Skin Diseases: a review. **Mediators Of Inflammation**, v. 2010, p. 1-9, 2010.

TOKUNAGA, S.; TANAMACHI, H.; ISHIKAWA, K. Degradação da superfície capilar: Importância do 18-MEA e da epicutícula. **Cosméticos**, v. 6, n. 2, pág. 31, 2019.

VINET, J. et al. Iodine and Peroxide Index Rapid Determination by Mid- and Near-infrared Spectroscopy in Ozonated Sunflower Oil and Ozonated Fats. **Ozone: Science & Engineering**, v. 44, n. 4, p. 1-14, 2021.

VINEYARD, P. M.; FREITAS, P. A. M. Estudo e caracterização do processo de fabricação de sabão utilizando diferentes óleos vegetais. **38ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química**, Águas de Lindóia, v. 25, 2014.