



SCHEILA DAIANA FAUSTO ALVES

**EFEITO DE TENSOATIVOS E RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA NA SOLIDEZ DA COR
DE CABELOS TINGIDOS**

CAMPINAS

2013



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE QUÍMICA

SCHEILA DAIANA FAUSTO ALVES

EFEITO DE TENSOATIVOS E RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA NA SOLIDEZ DA COR DE CABELOS
TINGIDOS

ORIENTADORA: PROFA. DRA. INÉS JOEKES

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO APRESENTADA AO INSTITUTO
DE QUÍMICA DA UNICAMP PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
MESTRA EM QUÍMICA NA ÁREA DE FÍSICO-QUÍMICA.

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO FINAL DA DISSERTAÇÃO DEFENDIDA
POR SCHEILA DAIANA FAUSTO ALVES, E ORIENTADA PELA PROFA. DRA. INÉS JOEKES.

ASSINATURA DA ORIENTADORA

CAMPINAS
2013

**FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA POR DANIELLE DANTAS DE SOUSA -
CRB8/6490 - BIBLIOTECA DO INSTITUTO DE QUÍMICA DA UNICAMP**

Al87e Alves, Scheila Daiana Fausto (1988-).
 Efeito de tensoativos e radiação ultravioleta na
 solidez da cor de cabelos tingidos / Scheila Daiana
 Fausto Alves. – Campinas, SP: [s.n.], 2013.

 Orientador: Inés Joeques.

 Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de
 Campinas, Instituto de Química.

 1. Cor do cabelo. 2. Espectroscopia de reflectância
 difusa. 3. Espectrofotometria. 4. Tintura oxidativa. I.
 Joeques, Inés. II. Universidade Estadual de Campinas.
 Instituto de Química. III. Título.

Informações para Biblioteca Digital

Título em inglês: Color fading of dyed hair caused by surfactants and ultraviolet radiation

Palavras-chave em inglês:

Hair color
Diffuse reflectance spectroscopy
Spectrophotometry
Oxidative hair dye

Área de concentração: Físico-Química

Titulação: Mestra em Química na área de Físico-Química

Banca examinadora:

Inés Joeques [Orientadora]
Laudemir Carlos Varanda
Renê Alfonso Nome Silva

Data de defesa: 31/07/2013

Programa de pós-graduação: Química

A ciência nunca resolve um problema
sem criar pelo menos outros dez.
(George Bernard Shaw)

E você aprende que realmente pode suportar...que realmente é forte,
e que pode ir muito mais longe depois de pensar que não se pode mais.
(William Shakespeare)

Dedico...

Aos meus pais, Adão e Idete, que sempre me incentivaram e acreditaram no meu potencial.

Ao Jackson, que será sempre meu maninho.

Ao Luciano, que cuida tanto de mim e é tão companheiro.

Agradeço...

Inicialmente, à Inés pela orientação e por todo o carinho.

Aos meus pais, que me ensinaram a importância do conhecimento. Obrigada por todo apoio, amor e carinho.

Ao meu irmão Jackson, por me apoiar e pelo carinho.

Ao Luciano, pela cumplicidade, imenso apoio e por acreditar tanto em mim.

Às minhas cunhadas Andrea e Cristina pelo incentivo, e à minha sobrinha Helena pelas alegrias.

Àquela que escolhi como avó, Vó Bimba.

Às minhas amigas de república, Elys, Natalia e Maisa pelos bons momentos de convivência e pela amizade para a vida toda.

Aos amigos de graduação Lucas (Gex), Satto, Thiago e Herbert.

Ao Matheus, pela companhia, consultorias, parcerias e amizade.

Ao Rafael, que parece sempre estar me testando. Obrigada pela amizade e por ser tão prestativo.

À Marina Novelli, pela alegria contagiante e se mostrar amiga em tão pouco tempo.

Aos colegas de laboratório pela convivência agradável e boas conversas durante o café: Aline, André, Anita, Débora, Marina, Michele, Natália, Pedro e Vivi.

Aos funcionários da CPG, Bel, Gabriela e Miguel, por serem tão atenciosos e prestativos.

À Claudia Martelli por ser tão solícita e simpática.

Ao Daniel do laboratório de ensino, por me permitir usar o tensiômetro com tanta liberdade.

Ao Prof. João Carlos de Andrade pelos ensinamentos e gentileza.

Ao Prof. Bertran pelas conversas de físico-química e de tantas outras coisas.

À minha professora do ensino médio, Célia Teston, que me ensinou a amar a química.

À Ana Carolina Nogueira pelas ideias e por fornecer os tensoativos.

À Capes pela concessão da bolsa de estudos.

Por fim, agradeço a todos que me ajudaram de alguma forma na realização deste trabalho.

Súmula Curricular

Formação

Bacharel em Química com Atribuições Tecnológicas, Ênfase em Materiais – Universidade de São Paulo (USP), 2010.

Experiência

- Iniciação Científica (03/2008 a 07/2008)

Instituto de Física de São Carlos - USP

Projeto: Síntese, preparação e caracterização de filmes de polímeros conjugados luminescentes para estudos da eficiência de emissão.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Eduardo Gontijo Guimaraes

Agência de Fomento: CNPq

- Estágio em Pesquisa e Desenvolvimento (03/2010 – 07/2010)

Embrapa (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária)

Projeto: Compósitos e blendas de produtos renováveis

Supervisor: Dr. José Manoel Marconcini

Idiomas

Inglês: avançado

Espanhol: básico

Outras atividades

Programa de Estágio Docente (PED C): Disciplina QF-331 - Físico-Química (2s/2012).

EFEITO DE TENSOATIVOS E RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA NA SOLIDEZ DA COR DE CABELOS TINGIDOS

Dissertação de Mestrado de Scheila Daiana Fausto Alves

Orientadora: Profa. Dra. Inés Joeques

Instituto de Química – Universidade Estadual de Campinas

Caixa Postal 6154, CEP 13083-970, Campinas, SP-Brasil

Resumo

Os cabelos tingidos, como é de conhecimento comum, desbotam com o passar do tempo. Estudos mostram que tanto cabelos naturais quanto tingidos apresentam desbotamento quando expostos à radiação ultravioleta, e este mesmo fenômeno também é observado em outras fibras naturais. Além disso, o processo de lavagem tem grande influência nesta perda de cor. No entanto, há poucos estudos que combinem os efeitos da radiação ao de tensoativos, utilizados no processo de lavagem.

Neste trabalho, estudamos a permanência da cor em cabelos Caucasianos tingidos frente à exposição à radiação UV-Vis e a três diferentes tensoativos, coco glucosídeo, cocoil sarcosinato de sódio e coco sulfato de sódio, de mesma cadeia apolar e diferente grupo polar. Cabelos castanhos foram oxidados antes do tingimento. Cabelos loiros foram tingidos sem oxidação prévia. Cabelos castanhos e loiros sem tingir foram usados como controles. Foram simulados danos diários por meio de irradiação em lâmpada de vapor de mercúrio e lavagens, em 30 ciclos sequenciais de 8 h de irradiação e uma lavagem. As diferenças de cor foram medidas por espectrofotometria de reflectância difusa.. Foram obtidos espectros no UV-Vis das soluções de lavagem com os diferentes tensoativos.

Como esperado, todas as mechas, naturais e tingidas, apresentaram diferença de cor. No caso das mechas sem tingir, os espectros das soluções de lavagem correspondem aos das melaninas. No caso das mechas tingidas, as soluções de lavagem têm o mesmo perfil de absorbância que as soluções de tintura. As mechas oxidadas e tingidas desbotaram mais que as que foram apenas tingidas. Observou-se diferença entre o efeito dos tensoativos apenas nas mechas que foram tingidas. Tanto para o cabelo castanho oxidado e tingido quanto para o cabelo loiro tingido, a ordem de extração do pigmento é: coco sulfato de sódio > cocoil sarcosinato de sódio > coco glucosídeo, concordando com o respectivo índice HLB.

COLOR FADING OF DYED HAIR CAUSED BY SURFACTANTS AND ULTRAVIOLET RADIATION

Master Thesis of Scheila Daiana Fausto Alves

Advisor: Prof. Dr. Inés Joekes

Institute of Chemistry – University of Campinas

PO Box 6154, CEP 13083-970, Campinas, SP-Brasil

Abstract

It is well known that dyed hair fades with time. There are studies showing that dyed and natural hair, besides other natural fibers, have their color lightened when exposed to ultraviolet radiation. Furthermore, shampooing has a big effect on this color lightening. However, there are few studies combining the effects of radiation and surfactants.

In this work, we studied the color durability in dyed Caucasian hair when exposed to radiation and three surfactants, coco glucoside, sodium cocoyl sarcosinate and sodium coco sulfate, with same carbonic chain and different polar groups. Brown hair was chemically bleached before dyeing and blond hair was dyed without previous oxidation. Brown and blond hair with no dyeing was used as control. Simulation of diary damages was done by a mercury vapor lamp and washing cycles, in 30 sequential cycles of 8 h of irradiation and one shampooing. Color changes were measured by diffuse reflectance spectroscopy (DRS), using CIELab system. UV-Vis spectra were obtained from washing solutions with the different surfactants.

All tresses, natural and dyed, showed color changes. UV-Vis spectra of the washing solutions of the hair without dyeing are consistent with melanin spectra. Dyed hair washing solutions spectra have the same profile of the dye solutions. The chemically bleached and dyed tresses faded more than the only dyed ones. Differences among the surfactants were observed only in the dyed tresses. The pigment removal order for both, oxidized and dyed and only dyed tresses is: sodium coco sulfate > sodium cocoyl sarcosinate > coco glucoside, agreeing with their HLB index.

Lista de Figuras

Figura 1: Estrutura morfológica da fibra capilar.	1
Figura 2: Micrografia eletrônica de varredura do córtex do cabelo.	2
Figura 3: Micrografia eletrônica de transmissão de um corte transversal de cabelo comum. ⁵	2
Figura 4: Reação de formação da dopaquinona. ⁹	4
Figura 5: Estruturas propostas para a eumelanina (esquerda) e feomelanina (direita). ⁹	4
Figura 6: Proposta de alterações estruturais na melanina durante a oxidação química. ¹¹	5
Figura 7: Esquema da reação de oxidação de tintura permanente e exemplos de corantes. Adaptado de C.R. Robbins. ¹	7
Figura 8: Espectro de emissão da lâmpada de vapor de mercúrio. ²¹	14
Figura 9: Metodologia utilizada neste trabalho.	15
Figura 10: Tensão de superfície em função da concentração para o cocoil sarcosinato de sódio, em duplicata de solução e quintuplicata de medida.....	17
Figura 11: Tensão de superfície em função da concentração para o coco sulfato de sódio, em duplicata de solução e quintuplicata de medida.	17
Figura 12: Tensão de superfície em função da concentração para o coco glucosídeo, em duplicata de solução e quintuplicata de medida.....	18
Figura 13: Coordenadas dos parâmetros de cor do sistema CIELAB.	20
Figura 14: Luminosidade (L*) em função do numero de ciclos de tratamento com água para as mechas de cabelo Caucasiano castanho padrão descoloridas e tingidas de castanho. Ensaios realizados em triplicata de mecha, com vinte medidas para cada uma. Todos os valores foram agrupados em uma única caixa. UR ca. 50 %.	25
Figura 15: Luminosidade (L*) em função do numero de ciclos de tratamento com CSS para as mechas de cabelo Caucasiano castanho padrão descoloridas e tingidas de castanho. Ensaios realizados em triplicata de mecha, com vinte medidas para cada uma. Todos os valores foram agrupados em uma única caixa. UR ca. 50 %.	26
Figura 16: Luminosidade (L*) em função do numero de ciclos de tratamento com CSaS para as mechas de cabelo Caucasiano castanho padrão descoloridas e tingidas de castanho. Ensaios realizados em triplicata de mecha, com vinte medidas para cada uma. Todos os valores foram agrupados em uma única caixa. UR ca. 50 %.	26
Figura 17: Luminosidade (L*) em função do numero de ciclos de tratamento com CG para as mechas de cabelo Caucasiano castanho padrão descoloridas e tingidas de castanho. Ensaios	

realizados em triplicata de mecha, com vinte medidas para cada uma. Todos os valores foram agrupados em uma única caixa. UR ca. 50 %.	27
Figura 18: Parâmetro verde-vermelho (a*) em função do numero de ciclos de tratamento com água para as mechas de cabelo Caucasiano castanho padrão descoloridas e tingidas de castanho. Ensaio realizado em triplicata de mecha, com vinte medidas para cada uma. Todos os valores foram agrupados em uma única caixa. UR ca. 50 %.	27
Figura 19: Parâmetro verde-vermelho (a*) em função do numero de ciclos de tratamento com CSS para as mechas de cabelo Caucasiano castanho padrão descoloridas e tingidas de castanho. Ensaio realizado em triplicata de mecha, com vinte medidas para cada uma. Todos os valores foram agrupados em uma única caixa. UR ca. 50 %.	28
Figura 20: Parâmetro verde-vermelho (a*) em função do numero de ciclos de tratamento com CSaS para as mechas de cabelo Caucasiano castanho padrão descoloridas e tingidas de castanho. Ensaio realizado em triplicata de mecha, com vinte medidas para cada uma. Todos os valores foram agrupados em uma única caixa. UR ca. 50 %.	28
Figura 21: Parâmetro verde-vermelho (a*) em função do numero de ciclos de tratamento com CG para as mechas de cabelo Caucasiano castanho padrão descoloridas e tingidas de castanho. Ensaio realizado em triplicata de mecha, com vinte medidas para cada uma. Todos os valores foram agrupados em uma única caixa. UR ca. 50 %.	29
Figura 22: Parâmetro azul-amarelo (b*) em função do numero de ciclos de tratamento com água para as mechas de cabelo Caucasiano castanho padrão descoloridas e tingidas de castanho. Ensaio realizado em triplicata de mecha, com vinte medidas para cada uma. Todos os valores foram agrupados em uma única caixa. UR ca. 50 %.	29
Figura 23: Parâmetro azul-amarelo (b*) em função do numero de ciclos de tratamento com CSS para as mechas de cabelo Caucasiano castanho padrão descoloridas e tingidas de castanho. Ensaio realizado em triplicata de mecha, com vinte medidas para cada uma. Todos os valores foram agrupados em uma única caixa. UR ca. 50 %.	30
Figura 24: Parâmetro azul-amarelo (b*) em função do numero de ciclos de tratamento com CSaS para as mechas de cabelo Caucasiano castanho padrão descoloridas e tingidas de castanho. Ensaio realizado em triplicata de mecha, com vinte medidas para cada uma. Todos os valores foram agrupados em uma única caixa. UR ca. 50 %.	30
Figura 25: Parâmetro azul-amarelo (b*) em função do numero de ciclos de tratamento com CG para as mechas de cabelo Caucasiano castanho padrão descoloridas e tingidas de castanho. Ensaio realizado em triplicata de mecha, com vinte medidas para cada uma. Todos os valores foram agrupados em uma única caixa. UR ca. 50 %.	31

Figura 26: Diferença em cromaticidade (DC*) em função do numero de ciclos de tratamento para as mechas de cabelo Caucasiano castanho padrão descoloridas e tingidas de castanho, com (■) água, (■) coco glucosídeo, (■) coco sulfato de sódio e (■) cocoil sarcosinato de sódio.	33
Figura 27: Diferença em cromaticidade (DC*) em função do numero de ciclos de tratamento para as mechas de cabelo Caucasiano loiro padrão tingidas de castanho, com (■) água, (■) coco glucosídeo, (■) coco sulfato de sódio e (■) cocoil sarcosinato de sódio.	33
Figura 28: Espectro no UV-Vis das soluções de lavagem acumuladas de 10 ciclos do Caucasiano castanho natural com (■) água, (■) coco glucosídeo, (■) coco sulfato de sódio e (■) cocoil sarcosinato de sódio.	34
Figura 29: Espectro no UV-Vis das soluções de lavagem acumuladas de 10 ciclos do Caucasiano loiro natural com (■) água, (■) coco glucosídeo, (■) coco sulfato de sódio e (■) cocoil sarcosinato de sódio.....	35
Figura 30: Espectro de resposta no UV-Vis para as soluções aquosas de tintura 0,2 % m/m (■) sem e (■) com irradiação (1 h).....	36
Figura 31: Espectro de resposta no UV-Vis das soluções de lavagem do primeiro ciclo para o cabelo Caucasiano castanho padrão (descolorido e tingido de castanho), com (■) água, (■) coco glucosídeo, (■) coco sulfato de sódio e (■) cocoil sarcosinato de sódio.	37
Figura 32: Espectro de resposta no UV-Vis das soluções de lavagem do primeiro ciclo para o cabelo Caucasiano castanho loiro tingido de castanho, com (■) água, (■) coco glucosídeo, (■) coco sulfato de sódio e (■) cocoil sarcosinato de sódio.....	37
Figura 33: Resposta em 450 nm dos ciclos acumulados para as soluções de lavagem do cabelo Caucasiano castanho padrão descolorido e tingido com (■) água, (■) coco glucosídeo, (■) coco sulfato de sódio e (■) cocoil sarcosinato de sódio.....	38
Figura 34: Resposta em 620 nm dos ciclos acumulados para as soluções de lavagem do cabelo Caucasiano castanho padrão descolorido e tingido com (■) água, (■) coco glucosídeo, (■) coco sulfato de sódio e (■) cocoil sarcosinato de sódio.....	39
Figura 35: Resposta em 450 nm dos ciclos acumulados para as soluções de lavagem do cabelo Caucasiano loiro padrão tingido com (■) água, (■) coco glucosídeo, (■) coco sulfato de sódio e (■) cocoil sarcosinato de sódio.....	39
Figura 36: Resposta em 620 nm dos ciclos acumulados para as soluções de lavagem do cabelo Caucasiano loiro padrão tingido com (■) água, (■) coco glucosídeo, (■) coco sulfato de sódio e (■) cocoil sarcosinato de sódio.....	40
Figura 37: Luminosidade (L*) em função do numero de ciclos de tratamento com água para as mechas de cabelo Caucasiano loiro padrão tingidas de castanho. Ensaio realizado em triplicata	

de mecha, com vinte medidas para cada uma. Todos os valores foram agrupados em uma única caixa. UR ca. 50 %.....	47
Figura 38: Luminosidade (L^*) em função do numero de ciclos de tratamento com CSS para as mechas de cabelo Caucásiano loiro padrão tingidas de castanho. Ensaio realizado em triplicata de mecha, com vinte medidas para cada uma. Todos os valores foram agrupados em uma única caixa. UR ca. 50 %.....	48
Figura 39: Luminosidade (L^*) em função do numero de ciclos de tratamento com CSaS para as mechas de cabelo Caucásiano loiro padrão tingidas de castanho. Ensaio realizado em triplicata de mecha, com vinte medidas para cada uma. Todos os valores foram agrupados em uma única caixa. UR ca. 50 %.....	48
Figura 40: Luminosidade (L^*) em função do numero de ciclos de tratamento com CSaS para as mechas de cabelo Caucásiano loiro padrão tingidas de castanho. Ensaio realizado em triplicata de mecha, com vinte medidas para cada uma. Todos os valores foram agrupados em uma única caixa. UR ca. 50 %.....	49
Figura 41: Parâmetro verde-vermelho (a^*) em função do numero de ciclos de tratamento com água para as mechas de cabelo Caucásiano loiro padrão tingidas de castanho. Ensaio realizado em triplicata de mecha, com vinte medidas para cada uma. Todos os valores foram agrupados em uma única caixa. UR ca. 50 %.....	49
Figura 42: Parâmetro verde-vermelho (a^*) em função do numero de ciclos de tratamento com CSS para as mechas de cabelo Caucásiano loiro padrão tingidas de castanho. Ensaio realizado em triplicata de mecha, com vinte medidas para cada uma. Todos os valores foram agrupados em uma única caixa. UR ca. 50 %.....	50
Figura 43: Parâmetro verde-vermelho (a^*) em função do numero de ciclos de tratamento com CSaS para as mechas de cabelo Caucásiano loiro padrão tingidas de castanho. Ensaio realizado em triplicata de mecha, com vinte medidas para cada uma. Todos os valores foram agrupados em uma única caixa. UR ca. 50 %.....	50
Figura 44: Parâmetro verde-vermelho (a^*) em função do numero de ciclos de tratamento com CG para as mechas de cabelo Caucásiano loiro padrão tingidas de castanho. Ensaio realizado em triplicata de mecha, com vinte medidas para cada uma. Todos os valores foram agrupados em uma única caixa. UR ca. 50 %.....	51
Figura 45: Parâmetro azul-amarelo (b^*) em função do numero de ciclos de tratamento com água para as mechas de cabelo Caucásiano loiro padrão tingidas de castanho. Ensaio realizado em triplicata de mecha, com vinte medidas para cada uma. Todos os valores foram agrupados em uma única caixa. UR ca. 50 %.....	51

Figura 46: Parâmetro azul-amarelo (b^*) em função do número de ciclos de tratamento com CSS para as mechas de cabelo Caucasiano loiro padrão tingidas de castanho. Ensaios realizados em triplicata de mecha, com vinte medidas para cada uma. Todos os valores foram agrupados em uma única caixa. UR ca. 50 %..... 52

Figura 47: Parâmetro azul-amarelo (b^*) em função do número de ciclos de tratamento com CSS para as mechas de cabelo Caucasiano loiro padrão tingidas de castanho. Ensaios realizados em triplicata de mecha, com vinte medidas para cada uma. Todos os valores foram agrupados em uma única caixa. UR ca. 50 %..... 52

Figura 48: Parâmetro azul-amarelo (b^*) em função do número de ciclos de tratamento com CSS para as mechas de cabelo Caucasiano loiro padrão tingidas de castanho. Ensaios realizados em triplicata de mecha, com vinte medidas para cada uma. Todos os valores foram agrupados em uma única caixa. UR ca. 50 %..... 53

Figura 49: Espectro de resposta no UV-Vis das soluções de lavagem do segundo ciclo para o cabelo Caucasiano castanho padrão (descolorido e tingido de castanho), com (■) água, (■) coco glucosídeo, (■) coco sulfato de sódio e (■) cocoil sarcosinato de sódio. 53

Figura 50: Espectro de resposta no UV-Vis das soluções de lavagem do terceiro ciclo para o cabelo Caucasiano castanho padrão (descolorido e tingido de castanho), com (■) água, (■) coco glucosídeo, (■) coco sulfato de sódio e (■) cocoil sarcosinato de sódio. 54

Figura 51: Espectro de resposta no UV-Vis das soluções de lavagem do quarto ciclo para o cabelo Caucasiano castanho padrão (descolorido e tingido de castanho), com (■) água, (■) coco glucosídeo, (■) coco sulfato de sódio e (■) cocoil sarcosinato de sódio. 54

Figura 52: Espectro de resposta no UV-Vis das soluções de lavagem do quinto ciclo para o cabelo Caucasiano castanho padrão (descolorido e tingido de castanho), com (■) água, (■) coco glucosídeo, (■) coco sulfato de sódio e (■) cocoil sarcosinato de sódio. 55

Figura 53: Espectro de resposta no UV-Vis das soluções de lavagem acumuladas do ciclo 6 ao 10 para o cabelo Caucasiano castanho padrão (descolorido e tingido de castanho), com (■) água, (■) coco glucosídeo, (■) coco sulfato de sódio e (■) cocoil sarcosinato de sódio. 55

Figura 54: Espectro de resposta no UV-Vis das soluções de lavagem acumuladas do ciclo 11 ao 15 para o cabelo Caucasiano castanho padrão (descolorido e tingido de castanho), com (■) água, (■) coco glucosídeo, (■) coco sulfato de sódio e (■) cocoil sarcosinato de sódio. 56

Figura 55: Espectro de resposta no UV-Vis das soluções de lavagem acumuladas do ciclo 16 ao 20 para o cabelo Caucasiano castanho padrão (descolorido e tingido de castanho), com (■) água, (■) coco glucosídeo, (■) coco sulfato de sódio e (■) cocoil sarcosinato de sódio. 56

Figura 56: Espectro de resposta no UV-Vis das soluções de lavagem acumuladas do ciclo 21 ao 30 para o cabelo Caucasiano castanho padrão (descolorido e tingido de castanho), com (■) água, (■) coco glucosídeo, (■) coco sulfato de sódio e (■) cocoil sarcosinato de sódio.	57
Figura 57: Espectro de resposta no UV-Vis das soluções de lavagem do segundo ciclo para o cabelo Caucasiano loiro padrão tingido de castanho, com (■) água, (■) coco glucosídeo, (■) coco sulfato de sódio e (■) cocoil sarcosinato de sódio.....	57
Figura 58: Espectro de resposta no UV-Vis das soluções de lavagem do terceiro ciclo para o cabelo Caucasiano loiro padrão tingido de castanho, com (■) água, (■) coco glucosídeo, (■) coco sulfato de sódio e (■) cocoil sarcosinato de sódio.....	58
Figura 59: Espectro de resposta no UV-Vis das soluções de lavagem do quarto ciclo para o cabelo Caucasiano loiro padrão tingido de castanho, com (■) água, (■) coco glucosídeo, (■) coco sulfato de sódio e (■) cocoil sarcosinato de sódio.....	58
Figura 60: Espectro de resposta no UV-Vis das soluções de lavagem do quinto ciclo para o cabelo Caucasiano loiro padrão tingido de castanho, com (■) água, (■) coco glucosídeo, (■) coco sulfato de sódio e (■) cocoil sarcosinato de sódio.....	59
Figura 61: Espectro de resposta no UV-Vis das soluções de lavagem acumuladas do ciclo 6 ao 10 para o cabelo Caucasiano loiro padrão tingido de castanho, com (■) água, (■) coco glucosídeo, (■) coco sulfato de sódio e (■) cocoil sarcosinato de sódio.	59
Figura 62: Espectro de resposta no UV-Vis das soluções de lavagem acumuladas do ciclo 11 ao 15 para o cabelo Caucasiano loiro padrão tingido de castanho, com (■) água, (■) coco glucosídeo, (■) coco sulfato de sódio e (■) cocoil sarcosinato de sódio.	60
Figura 63: Espectro de resposta no UV-Vis das soluções de lavagem acumuladas do ciclo 16 ao 20 para o cabelo Caucasiano loiro padrão tingido de castanho, com (■) água, (■) coco glucosídeo, (■) coco sulfato de sódio e (■) cocoil sarcosinato de sódio.	60
Figura 64: Espectro de resposta no UV-Vis das soluções de lavagem acumuladas do ciclo 21 ao 30 para o cabelo Caucasiano loiro padrão tingido de castanho, com (■) água, (■) coco glucosídeo, (■) coco sulfato de sódio e (■) cocoil sarcosinato de sódio.	61
Figura 65: Vista lateral do sistema de irradiação utilizado.	61
Figura 66: Vista superior do sistema de irradiação utilizado.	62

Lista de Tabelas

Tabela 1: Concentração micelar crítica da literatura e determinada experimentalmente e teor de ativo (informado pelo fabricante e determinado experimentalmente) dos tensoativos.	18
Tabela 2: Potência e dose de energia da lâmpada de vapor de mercúrio para cada tipo de mecha.	19
Tabela 3: Parâmetros de cor e variabilidade intrínseca da cor das mechas de cabelo Caucasiano naturais e tingidas.	21
Tabela 4: Diferenças nos parâmetros de cor para as mechas de cabelo Caucasiano castanho padrão após os trinta ciclos de tratamento com tensoativos e radiação.	23
Tabela 5: Diferenças nos parâmetros de cor para as mechas de cabelo Caucasiano loiro padrão após os trinta ciclos de tratamento com tensoativos e radiação.	23
Tabela 6: Diâmetro dos fios (μm) de cabelo Caucasiano padrão loiro e castanho (virgem, tingido e após os ciclos de tratamento).	24
Tabela 7: Diferenças nos parâmetros de cor das mechas de cabelo Caucasiano castanho descoloridas e tingidas após os 30 ciclos de tratamento.	31
Tabela 8: Diferenças nos parâmetros de cor das mechas de cabelo Caucasiano loiro tingidas após os 30 ciclos de tratamento.	32
Tabela 9: Valores médios das respostas das soluções de lavagem dos trinta ciclos acumulados para o cabelo castanho (descolorido) e loiro tingidos, em 450 e 620 nm.	40

Lista de abreviações

a*	Coordenada de cor verde-vermelho
b*	Coordenada de cor azul-amarelo
c.m.c.	Complexo de membrana celular
CMC	Concentração micelar crítica
CSaS	Coccol sarcosinato de sódio
CSS	Coco sulfato de sódio
CG	Coco glucosideo
Da*	Diferença de cor na coordenada verde-vermelho
Db*	Diferença de cor na coordenada azul-amarelo
DC*	Diferença de cromaticidade
DE*	Diferença total de cor
DL*	Diferença na coordenada luminosidade
ERD	Espectroscopia de Reflectância Difusa
L*	Coordenada de luminosidade
LSS	Lauril sulfato de sódio
UV	Ultravioleta
Vis	Visível

Índice

1. Introdução	1
1.1. <i>Cabelo: morfologia e composição química</i>	1
1.1.1. Cor dos cabelos	3
1.1.2. Coloração artificial	4
1.1.3. Xampu	8
1.1.4. Radiação UV-vis	8
1.2. <i>Radiação UV-Vis em fibras naturais</i>	8
1.3. <i>O desbotamento de cabelos tingidos</i>	10
2. Objetivos	11
3. Parte Experimental	12
3.1. <i>Materiais</i>	12
3.1.1. Cabelo padrão	12
3.1.2. Tensoativos	12
3.1.3. Oxidante químico e tintura	13
3.1.4. Lâmpada de vapor de mercúrio	13
3.2. <i>Métodos</i>	14
3.2.1. Preparação e limpeza das mechas	14
3.2.2. Oxidação química	15
3.2.3. Tingimento	15
3.2.4. Caracterização dos tensoativos	16
3.2.5. Ciclos de tratamento	19
3.2.6. Espectrofotometria de Refletância Difusa (ERD)	20
3.2.7. Espectrofotometria no UV-Vis	22
3.2.8. Diâmetro dos fios	22
4. Resultados	23
4.1. <i>O efeito dos tensoativos sobre a cor dos cabelos não tingidos</i>	23
4.2. <i>Diâmetro dos fios</i>	24
4.3. <i>Mudanças de cor dos cabelos tingidos após os ciclos de tratamento</i>	24
4.3.1. Cabelo Caucasiano castanho oxidado e tingido	24
4.3.2. Cabelo Caucasiano loiro tingido	32

4.3.3. Comparação do efeito dos tensoativos entre cabelos submetidos a diferentes processos	32
4.4. <i>Espectrofotometria no UV-Vis das soluções de lavagem</i>	34
4.4.1. Cabelos naturais	34
4.4.2. Cabelos tingidos	35
5. Discussão	41
6. Conclusões	43
7. Referências	44
8. Anexos	47

1. Introdução

1.1. Cabelo: morfologia e composição química

O cabelo humano, quando completamente formado, é constituído por três estruturas: cutícula, córtex e complexo de membrana celular (c.m.c.). Em alguns casos, geralmente em cabelos mais espessos, há uma quarta estrutura, a medula.¹ Estas estruturas podem ser vistas no esquema da Figura 1 e da Figura 2.

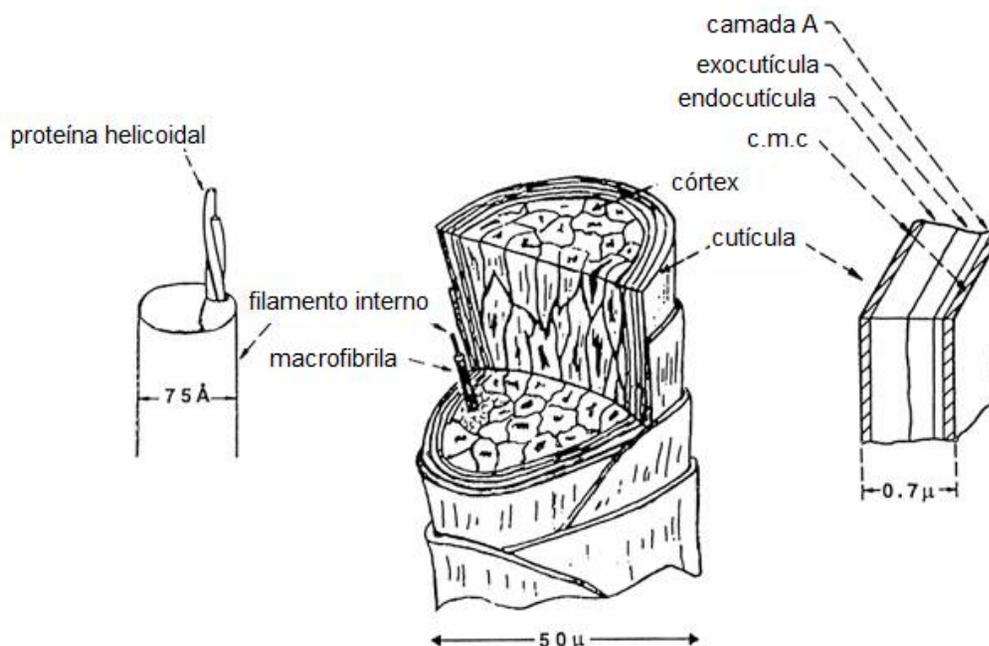


Figura 1: Estrutura morfológica da fibra capilar.²

A cutícula é a região mais externa da fibra, é quimicamente resistente e protege o córtex nas fibras de cabelo animal, dificultando a entrada de agentes químicos. As células da cutícula são alongadas, com cerca de 0,5 μm de espessura e 50 μm de comprimento, e formam cerca de dez camadas sobrepostas longitudinal e circunferencialmente, esta sobreposição das camadas de cutícula podem ser vistas na Figura 3. Na camada mais externa de células cuticulares há uma membrana lipídica que forma uma barreira hidrofóbica resistente na superfície. Cada célula de cutícula é cercada e, assim, separada da sua vizinhança pelo c.m.c., portanto este é o responsável pela adesão das mesmas.^{1,3,4}

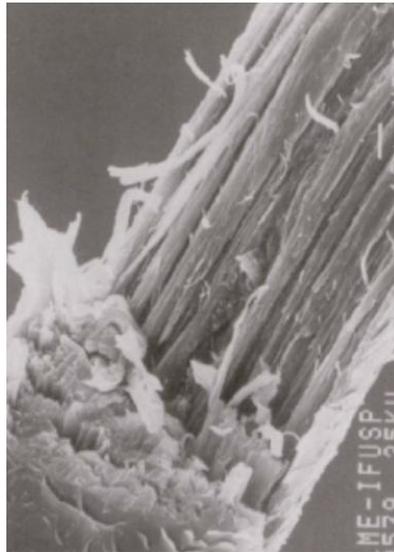


Figura 2: Micrografia eletrônica de varredura do córtex do cabelo.⁵

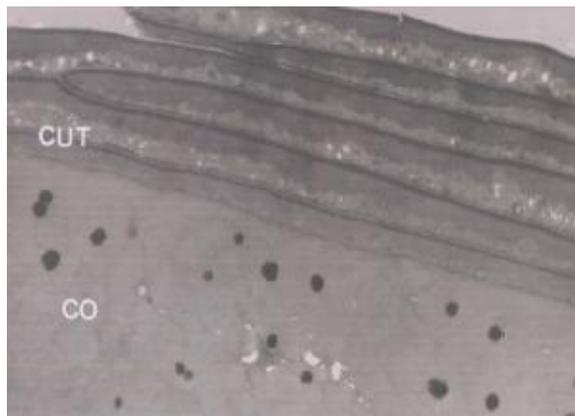


Figura 3: Micrografia eletrônica de transmissão de um corte transversal de cabelo comum.⁵

O córtex é o componente majoritário do cabelo e é formado por células alongadas, em forma de haste de cerca de 100 μm de comprimento e um máximo de 5 μm de largura. As células são orientadas paralelamente ao eixo da fibra. Cada célula é empacotada por filamentos orientados axialmente, que consistem de proteínas helicoidais, denominadas microfibrilas, e estas agrupam-se formando as macrofibrilas.³ Na Figura 3 pode-se observar o córtex e os grânulos de melanina distribuídos nesta região.

A medula, quando presente, representa apenas uma pequena percentagem da massa da fibra. Pode ser completamente ausente, contínua ao longo do eixo da fibra, ou descontínua, e às vezes uma dupla medula é observada. As células medulares são ligeiramente comprimidas, e

durante a desidratação, elas deixam uma série de vacúolos ao longo da fibra. Acredita-se que a medula tenha uma contribuição insignificante para as propriedades químicas e mecânicas do cabelo humano.¹

A composição química da fibra capilar é muito variável, no entanto sabe-se que é dada essencialmente por proteínas, cerca de 65 a 95%, em que a mais abundante é a queratina. A estrutura da queratina é estabilizada pelas interações intra e intercadeias, são elas: ligações de hidrogênio, entre os grupos amida; coulômbica, entre os grupos laterais de ácido e base; dissulfeto, entre os aminoácidos de cistina. As ligações dissulfeto são as interações covalentes mais importantes para a estabilidade da α -queratina, formando uma estrutura tridimensional com alto grau de entrecruzamento, além disso, justifica o alto teor de enxofre na composição da fibra.^{1,3,6,7}

Os demais constituintes são água, lipídios (ácidos graxos, ácidos de cera, colesterol, ácido 18-metileicosanóico / 18-MEA), pigmento e traços de alguns elementos, que geralmente estão quimicamente ligados com as cadeias laterais das proteínas ou adsorvidos em ácidos graxos.^{1,4,8}

1.1.1. Cor dos cabelos

A cor natural dos cabelos é promovida por grânulos de pigmento de eumelanina (preto a marrom) e feomelanina (loiro a ruivo), estes grânulos são ovais ou esféricos e se localizam majoritariamente no córtex. Littrell *et. al* propuseram que o grânulo de melanina consiste de folhas de oligômeros em forma de discos empilhadas, formando um agregado esférico de 70 a 500 nm de diâmetro. A intensidade da coloração depende do teor de melanina, enquanto que a tonalidade depende da proporção eumelanina / feomelanina. Ambas derivam do mesmo precursor, dopaquinona (*o*-quinona), na presença de cistina a preferência é pela formação da feomelanina. A síntese de melaninas ocorre no melanócito, por organelas denominadas melanossomos, é importante ressaltar que a melanogênese é mista, formando-se um copolímero de eu e feomelanina.^{6,9,10,11}

Na Figura 4, está representada a reação de formação da dopaquinona (precursor) a partir da tirosina, enquanto que na Figura 5, têm-se as estruturas propostas para eu e feomelanina.

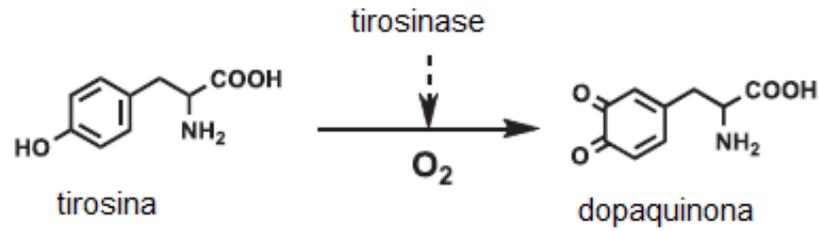


Figura 4: Reação de formação da dopaquinona.⁹

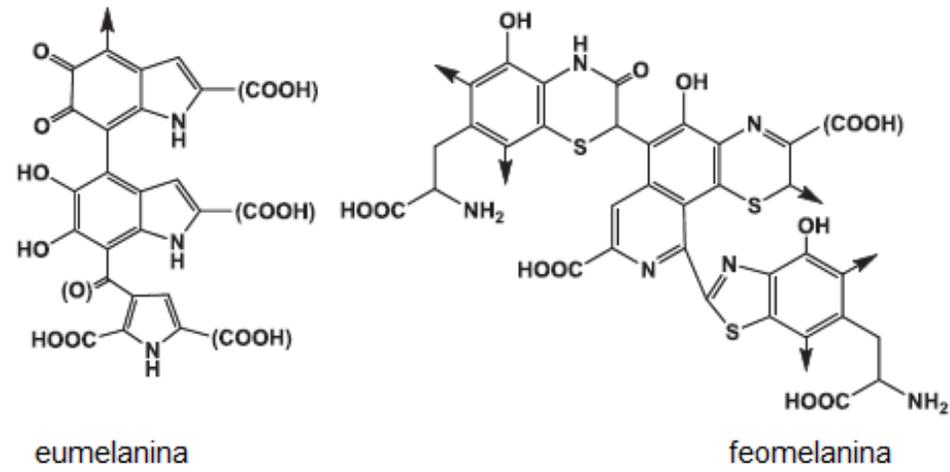


Figura 5: Estruturas propostas para a eumelanina (esquerda) e feomelanina (direita).⁹

1.1.2. Coloração artificial

1.1.2.1. Oxidação química

A oxidação química (descoloração) tem o objetivo de clarear a coloração natural do cabelo, sendo assim, está diretamente relacionada ao pigmento. O processo utiliza comumente soluções de peróxido de hidrogênio com pH ajustados entre 9 e 11, e ocorre em duas etapas: solubilização dos grânulos, seguida de sua descoloração.^{12,13}

Para ocorrer o clareamento, é necessário que os grânulos sejam destruídos. Durante o processo, ocorre a desaglomeração dos discos de melanina pelo peróxido de hidrogênio, seguido da eliminação das folhas oligoméricas. Com isso, o grânulo se torna menor e a fibra mais clara. O mecanismo proposto está representado na Figura 6.

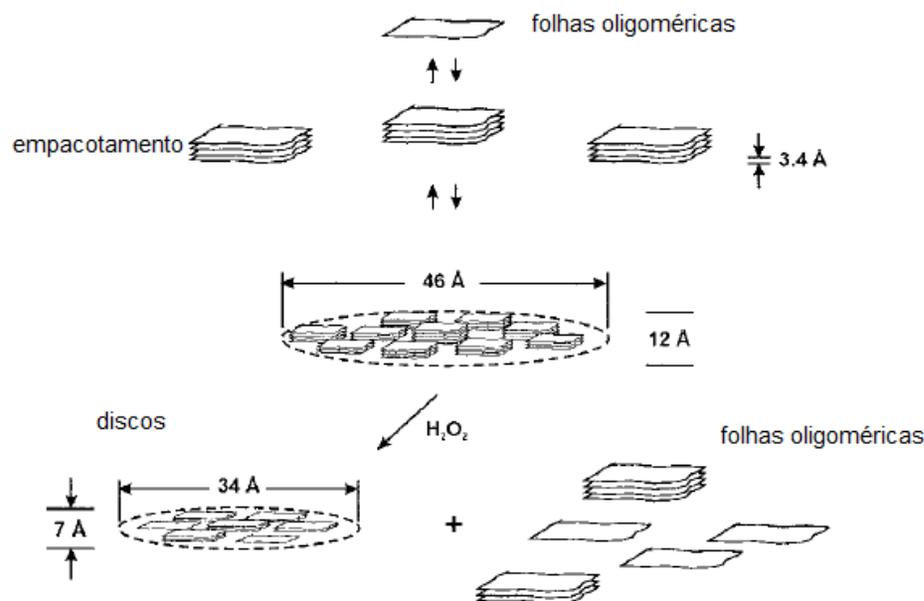


Figura 6: Proposta de alterações estruturais na melanina durante a oxidação química. ¹¹

1.1.2.2. Tinturas

Há diversos tipos de tinturas de cabelo, elas são classificadas de acordo com o tipo, a persistência e o mecanismo de ação do corante. As principais categorias são: tinturas permanentes ou oxidativas, semi-permanentes, temporárias, e as tinturas graduais.¹

As tinturas graduais consistem de corantes metálicos, e atualmente, só encontram-se disponíveis comercialmente os sais de chumbo (acetato e sulfato). O sal reage com a cutícula formando complexos, e a alteração da cor ocorre devagar, conforme o uso. ^{1,14}

As tinturas temporárias são compostas por corantes ácidos, de alta massa molecular. Por não penetrarem para o interior da fibra, ficam apenas depositadas e podem ser removidas em uma única lavagem. ^{1,14}

Os produtos semipermanentes não utilizam peróxido de hidrogênio para desenvolver a cor, e possuem corantes pré-formados em sua composição. Possuem até 18 corantes para formar a coloração desejada, e ainda, uma matriz de compostos, constituída de solventes, tensoativos, fragrância e substâncias para ajustar o pH. Consistem de aminas nitro aromáticas ou amino aromáticas nitroantroquinona que difundem e se ligam ao cabelo. ¹

As tinturas oxidativas são as mais importantes do comércio das tinturas de cabelo e constituídas principalmente por:

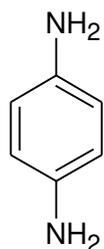
- Precursores (intermediário primário): *p*-fenilenodiamina, *p*-aminofenol e seus derivados

- Acopladores de corantes: composto aromático com grupos doadores de elétrons arranjados na posição *meta* (*m*-fenilenodiamina, resorcinol)
- Agente oxidante (peróxido de hidrogênio)

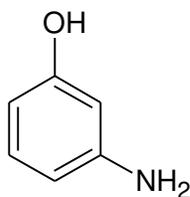
O agente oxidante atua tanto na oxidação do intermediário primário, quanto no clareamento da cor natural do cabelo.

As tinturas comerciais são vendidas na forma de kit, em que uma parte consiste dos precursores do corante (intermediário primário e acopladores) e amônia, e a outra é uma solução estabilizada de peróxido de hidrogênio.^{14,15}

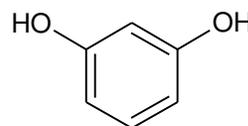
Além destes componentes, há uma matriz de compostos: tensoativos, conservantes, aditivos para o ajuste de pH e agentes condicionantes. A coloração é determinada pela proporção de oxidantes, precursores e acopladores.^{1,15}



p-fenilenodiamina



p-aminofenol



resorcinol

O precursor do corante é oxidado ao íon dimínio correspondente, este então condensa com um acoplador nucleofílico e forma um produto dinuclear que é oxidado ao corante indo. Esta reação pode parar neste estágio ou continuar a condensação e formar até corantes polinucleares e pigmentos. Acredita-se que os grupos nucleofílicos do cabelo possam se ligar covalentemente aos corantes. O esquema desta reação e exemplos de pigmentos estão na Figura 7.¹

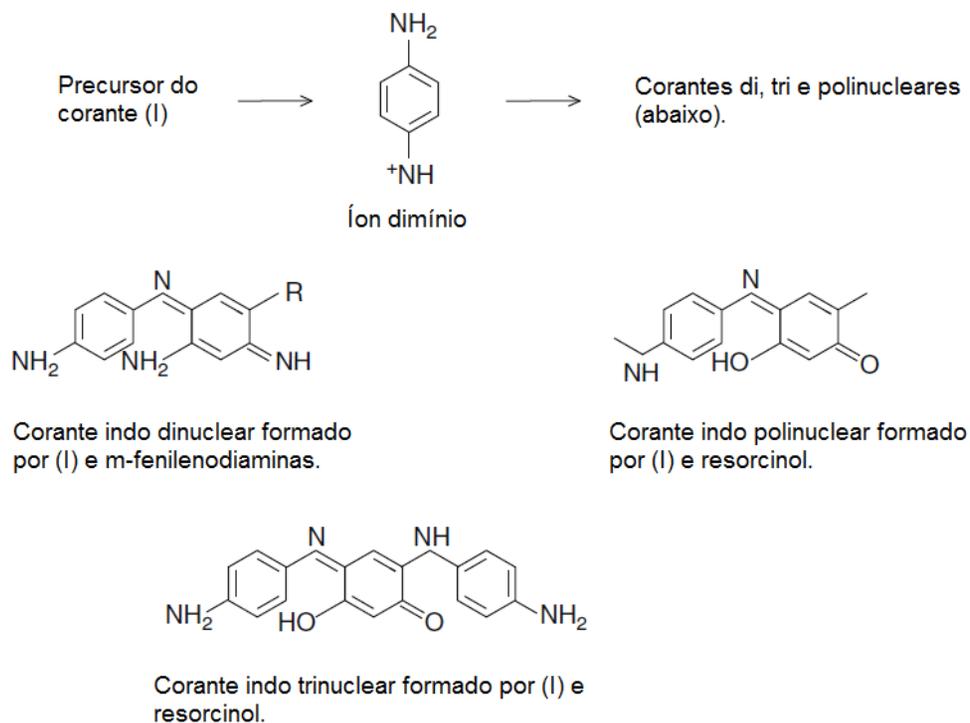


Figura 7: Esquema da reação de oxidação de tintura permanente e exemplos de corantes. Adaptado de C.R. Robbins. ¹

Os precursores do pigmento, incolores, penetram para o interior da fibra, onde ocorre a formação dos cromóforos pela reação de oxidação (*in situ*). A penetração ocorre quase que instantaneamente através da difusão pelo cimento intercelular que une as células de cutícula. A exocutícula é uma barreira física importante, no entanto, não é completamente impermeável, sendo assim, é de se esperar que o pigmento se difunda muito mais lentamente por ela em comparação às outras regiões da fibra. Ao alcançar o interior do córtex, o pigmento difunde através do cimento intercelular até as células corticais. Kojima *et. al* propuseram que os cromóforos localizam-se nos grânulos de melanina, e justificaram este fato com o alto teor de metais de transição nesta região, que podem atuar como catalisadores na reação de oxidação para formação do pigmento. ^{16,17}

No término do processo, o pigmento localiza-se principalmente no córtex e na exocutícula. ^{17,18} Quando a cutícula foi oxidada, o pigmento entra muito mais rapidamente, aparentemente por penetração direta da mesma, ao invés do cimento intercelular. ¹⁷

1.1.3. Xampu

Os fios de cabelo são expostos a sujidades provenientes de diversas fontes, variando desde o sebo natural produzido pelas glândulas sebáceas (anexas ao bulbo capilar) até a poluição. Sendo assim, torna-se necessária a utilização de xampus que têm a função de promover a limpeza do couro cabeludo e dos fios de cabelo.

Os xampus são compostos basicamente por tensoativo primário (aniônico, 8 a 20% m/m), tensoativo secundário (anfotérico e / ou não iônico 0 a 10 % m/m), estabilizantes de espuma, espessantes, conservantes, fragrância e corante.¹⁹

1.1.4. Radiação UV-vis

A exposição à radiação ultravioleta (UV) ocorre tanto devido à radiação solar quanto à proveniente de lâmpadas. A radiação UV compreende uma faixa de comprimentos de onda que vai desde 100 a 400 nm, podendo ser classificada, segundo a Comissão Internacional de Iluminação (CIE), em três regiões - UVA (315 - 400 nm), UVB (280 – 315 nm) e UVC (100 – 280 nm).²⁰

Além dos efeitos sobre a pele, a radiação UV também causa danos aos cabelos. Como as queratinas são formadas por tecido morto, não ocorre regeneração nas fibras deterioradas, de modo que os efeitos causados pela radiação UV na estrutura são acumulativos e se associam a outros fatores que contribuem e aceleram as modificações estruturais.²¹

1.2. Radiação UV-Vis em fibras naturais

É de conhecimento comum que roupas desbotam devido à ação da radiação, e o mesmo fenômeno é observado em cabelos tingidos. Na literatura, podem-se encontrar diversos estudos em que se investigou o efeito da radiação na alteração de cor tanto de cabelos naturais quanto tingidos.

Yoshizumi e Crews observaram o desbotamento de lã tingida com corantes naturais quando exposta à radiação solar e observaram que tanto a radiação ultravioleta quanto visível provocam o desbotamento, no entanto, cada corante tem maior sensibilidade a um comprimento de onda. No caso da radiação solar, a radiação UVA tem maior contribuição que a UVB neste efeito.²²

Batchelor *et al.* estudaram o mecanismo de clareamento de dezesseis corantes comerciais em algodão. No entanto, o mecanismo exato depende fortemente da natureza do

corante e da fibra. A variação de cor obtida (DE^*) para os corantes foi 2,7 a 6,1, e observaram que as cores mais claras desbotam mais que as escuras. Para estudar a influência das variáveis no processo, foram controladas as variáveis: presença ou ausência de oxigênio, radiação UV e visível. Removendo-se a radiação UV houve uma diminuição de 20 a 70% no desbotamento para o corante azo e ftalocianina, respectivamente. Portanto, a radiação visível tem influência muito maior que a UV no corante azo. Na ausência de oxigênio, o clareamento foi menor para todos os corantes, sendo a diferença maior para o azo. Além disso, a reação de degradação do corante não ocorre na ausência de oxigênio para a radiação visível, ao contrário da ultravioleta.²³

Treigiene e Musnickas investigaram a influência da radiação ultravioleta em lã pré-tratada com tensoativos aniônicos e não-iônicos e concluíram que a fotodegradação foi maior no caso do tratamento com tensoativo aniônico. Por meio de propriedades mecânicas, pôde-se afirmar que a lã tratada com o tensoativo aniônico (lauril sulfonato de sódio) mostrou-se menos estável à irradiação em relação à não tratada e também à tratada com o não-iônico (alquilfenol etoxilado). A diminuição na resistência à tração pelo lauril sulfonato de sódio foi explicada pela tendência dos grupos sulfonatos interagirem com os grupos básicos da fibra, e assim diminuir sua força iônica. Também foram realizadas medidas de variação de cor para avaliar o amarelecimento da fibra, pois está relacionado à degradação da mesma. Os resultados não mostraram diferenças entre os tensoativos, no entanto, as fibras pré-tratadas mostraram um menor amarelecimento que a não tratada, o que pode indicar uma fotoestabilização da fibra.²⁴

Nogueira *et al.* estudaram as variações de cor e degradação proteica causadas por radiação ultravioleta e visível. Medidas de variações de cor e perda proteica mostraram que a radiação UVA é a principal responsável pela mudança de cor, enquanto que a UVB causa a perda proteica. Observou-se ainda que a radiação causa um mesmo efeito em todos os tipos de cabelo, que é o de torná-los mais claros. Contudo, há diferença na susceptibilidade à radiação dependendo da cor do cabelo, isto foi concluído pela diferença de cor observada: preto < castanho escuro < ruivo < loiro.²⁵

Takahashi e Nakamura estudaram o clareamento do cabelo ruivo exposto às radiações UV e visível e o compararam ao loiro. Tanto a radiação UV quanto visível promovem o clareamento do cabelo ruivo e, ao contrário do loiro, não precisam de lavagem para apresentar este efeito. Os autores atribuem esta diferença à maior sensibilidade à radiação UV pela feomelanina, que está presente em maior quantidade no cabelo ruivo.²⁶

Hoting e Zimmermann avaliaram o efeito da radiação solar em cabelos tratados por cosméticos: descoloridos, permanentados e tingidos. Neste trabalho eles concluíram que as

radiações UVA e visível são as que mais influenciam nas alterações de cor. Além disso, observaram que os cabelos permanentados e os tingidos sofrem maior perda de intensidade de cor. ²⁷ Motz-Schalck e Lemaire estudaram as alterações fotoquímicas e térmicas dos cabelos tingidos e também observaram o clareamento destes, e constataram que os produtos de ambas degradações eram muito similares. ²⁸

Locke e Jachowicz investigaram o desbotamento de cabelos tingidos simulando condições cotidianas de lavagem de exposição à radiação. Os resultados mostraram que o cabelo apenas irradiado apresentou alteração de cor muito menor que aquele que também foi lavado. ²⁹

1.3. O desbotamento de cabelos tingidos

O clareamento dos cabelos, isto é, a perda da intensidade de sua cor, ocorre tanto em cabelos naturais quanto tingidos, porém, é mais perceptível nestes em relação àqueles. Conforme descrito anteriormente, as radiações ultravioleta e visível são responsáveis por este processo, e a lavagem intensifica-o. No cotidiano, porém, as pessoas estão expostas a estes fatores, além de outros como o penteamento, vento, secador, que não serão abordados neste trabalho, e não podem controlá-los.

É necessário, primeiramente, que se conheça a contribuição de cada uma das variáveis neste processo, para então, buscar maneiras de eliminá-las ou ao menos amenizá-las. O efeito da radiação de forma isolada é bastante compreendido, no entanto, faltam estudos na literatura que avaliem a contribuição de tensoativos, ainda mais comparando moléculas diferentes.

Neste trabalho, buscou-se simular os principais fatores diários que causam o desbotamento de cabelos tingidos: exposição à radiação e tensoativos. Os tensoativos selecionados possuem o mesmo tamanho de cadeia carbônica (coco, 10 a 16 átomos de carbono), com a finalidade de poder comparar os grupos polares diferentes, que são: sulfato, sarcosinato e glucosídeo.

Além destes fatores, para se representar o que é feito na realidade, foi adicionada mais uma variável, a descoloração. Portanto, o cabelo castanho foi previamente descolorido antes do tingimento, enquanto que o loiro foi apenas tingido. Dessa forma, foi possível avaliar a influência da oxidação química na perda da cor.

2. Objetivos

Estudar a permanência da cor de cabelos tingidos frente à radiação e diferentes tipos de tensoativos, visando o entendimento da influência destes fatores no processo.

Foram utilizados cabelos naturais e tingidos, descoloridos ou não, para se avaliar os efeitos destes tratamentos na perda de intensidade da cor dos mesmos.

3. Parte Experimental

3.1. Materiais

3.1.1. Cabelo padrão

O cabelo utilizado neste trabalho foi o Caucasiano padrão, castanho e loiro, provenientes da De Meo Brothers Inc e Natural Hair Importers, respectivamente, sendo o último provido pela Johnson & Johnson. Este cabelo é formado por uma blenda de várias cabeças, o que garante representatividade para os resultados. Além disso, têm a garantia de não ter sido submetidos a nenhum tratamento químico, como alisamentos, tinturas, descoloração química.

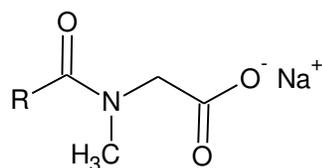
3.1.2. Tensoativos

Lauril sulfato de sódio (LSS) foi adquirido da Riedel-de-Haën. Os demais tensoativos foram fornecidos pela Johnson & Johnson: coco glucosídeo (Plantacare 818 UP, Cognis), cocoil sarcosinato de sódio (Crodasinic CS30-LQ, CRODA) e coco sulfato de sódio (Mackol CAS-100N, Rhodia). O intuito na escolha destes tensoativos é o de comparar o efeito de grupos polares diferentes, sendo: sulfato, sarcosinato e glucosídeo. Para isso, foram selecionados tensoativos com mesmo tamanho de cadeia carbônica, sendo esta a coco, composta uma distribuição de doze a dezesseis átomos de carbono, majoritariamente doze. Este tamanho de cadeia é o utilizado na maioria das formulações de produtos comerciais.

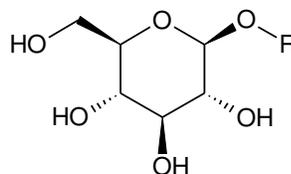
Coco sulfato de sódio (CSS)



Cocoil sarcosinato de sódio (CSaS)



Coco glucosídeo (CG)



3.1.3. Oxidante químico e tintura

A oxidação química foi realizada com um descolorante comercial “kit blondor” da Wella, Procter & Gamble do Brasil S.A., composto por um pó descolorante e uma solução ativadora.

Pó descolorante: persulfato de amônio, silicato de sódio, bicarbonato de sódio, goma de celulose, hidroxietilcelulose, EDTA dissódico, sílica, fragrância, CI 77007, extrato de camomila (*Chamomilla recutita*).

Solução ativadora: água, peróxido de hidrogênio, álcool cetosteárilico, fragrância, lauril sulfato de sódio, ácido fosfórico, ácido salicílico, fosfato dissódico, ácido etidrônico, estearato PEG-40, estearato de sorbitan, goma de celulose, dimeticona, sorbato de potássio.

Para realizar o tingimento do cabelo, utilizou-se a tintura permanente da L’Oréal Imedia Excellence, que é formada por creme colorante, tratamento condicionador, revelador creme e sérum protetor. No entanto, neste trabalho não foram utilizadas as partes condicionantes, por representar mais uma variável no sistema. Sendo assim, utilizaram-se apenas as partes responsáveis pela formação do corante (creme colorante e revelador creme).

Creme colorante: água deionizada, álcool cetosteárilico, propileno glicol, decil éter (3 eo), lauril éter (12 eo), hidróxido de amônio, oleil éter (30 eo), cloreto de hexadimetrina, ácido láurico, diestearato de glicol, poliquatérnio-22, etanolamina, sílica dimetil sililato, resorcinol, CI 77891/dióxido de titânio, 2,4-diaminofenoxietanol HCl, *m*-aminofenol, ácido ascórbico, *m*-bissulfito de sódio, hidroxipropil bis(*n*-hidroxietil)-*p*-fenilenodiamina) HCl, dimeticona, pentetato pentassódico, sulfato de *n,n*-bis(2-hidroxietil)-*p*-fenilenodiamina, linalol, prolina, *p*-fenilenodiamina, carbômero, treonina, butilfenil metilpropional, perfume/fragrância.

Revelador creme: água deionizada, peróxido de hidrogênio, álcool cetosteárilico, esteanato de sódio, carboxamida MEA trideciléter (2 eo), pentetato pentassódico, ácido fosfórico, cetosteáril éter (25 eo), pirofosfato tetrassódico, glicerina.

3.1.4. Lâmpada de vapor de mercúrio

Para realizar a irradiação das mechas de cabelo, foi utilizada a lâmpada de vapor de mercúrio Osram HPL 125W. O espectro de emissão é formado por picos, tanto na região ultravioleta quanto visível (Figura 8), ao passo que o sol emite um espectro contínuo.

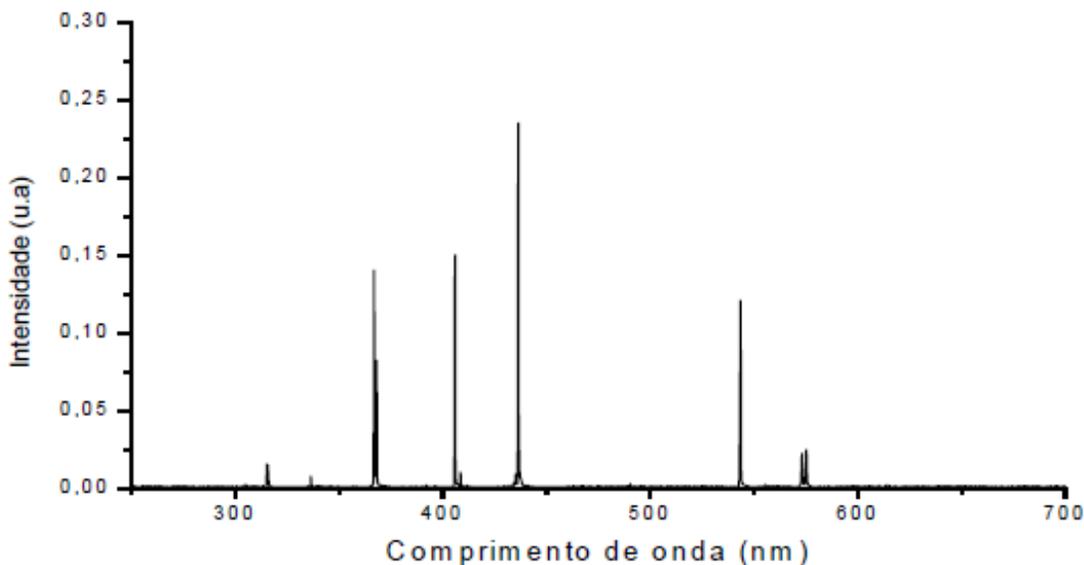


Figura 8: Espectro de emissão da lâmpada de vapor de mercúrio.²¹

3.2. Métodos

3.2.1. Preparação e limpeza das mechas

Os tratamentos foram realizados em triplicata de mechas, cada uma com *ca.* 1,0 g.

Para remover as sujidades do cabelo, foi realizada uma lavagem prévia com solução de lauril sulfato de sódio (LSS) 2 % (m/m), seguindo o procedimento:

1. Molhou-se a mecha em água corrente;
2. Adicionou-se 1,0 mL de LSS;
3. Massageou-se manualmente por 1,0 min;
4. Enxaguou-se em água corrente por 1,0 min;
5. Repetiram-se as etapas 2, 3 e 4;
6. Deixou-se para secar em temperatura ambiente e armazenou-se.

Após esta etapa de limpeza prévia, a metodologia utilizada está representada de maneira simplificada no fluxograma da Figura 9.

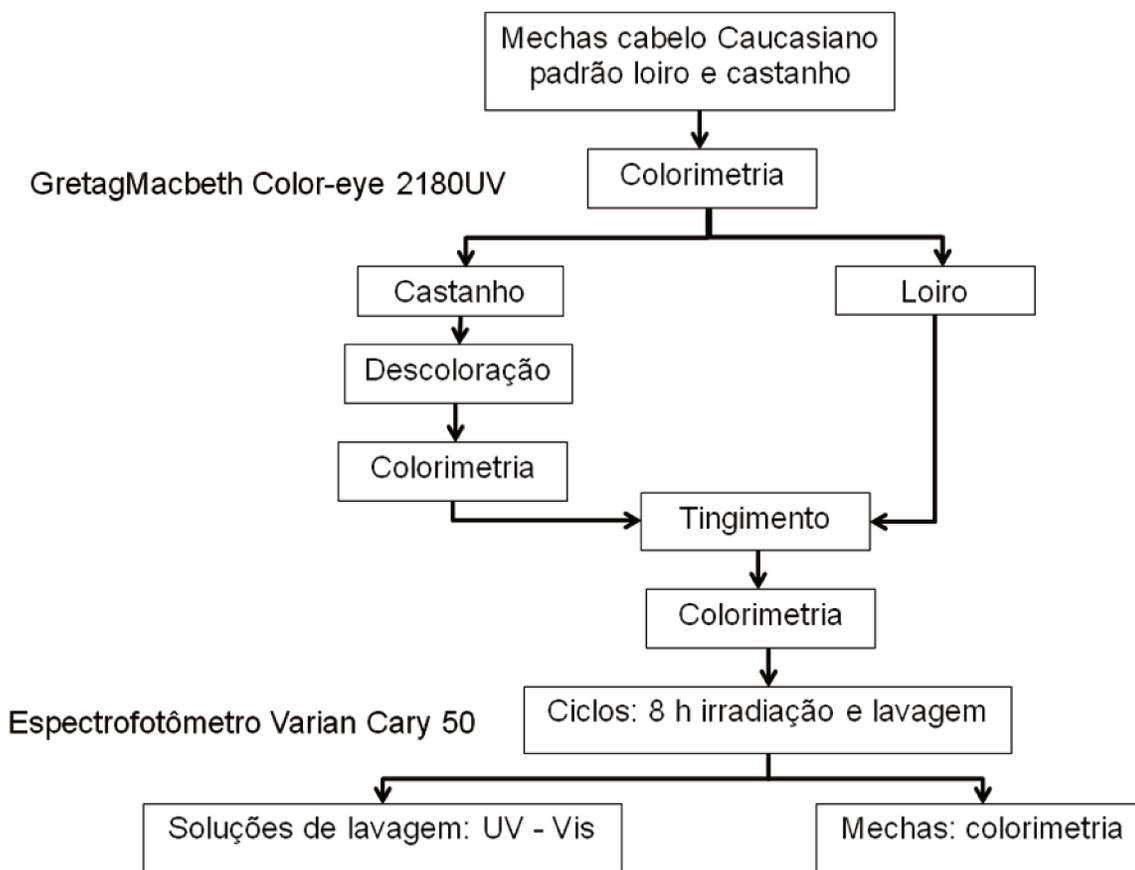


Figura 9: Metodologia utilizada neste trabalho.

3.2.2. Oxidação química

O procedimento seguido no processo de descoloração foi o recomendado pelo fabricante. Primeiramente, misturaram-se as duas partes do kit até obter-se uma mistura homogênea. Em seguida, aplicou-se 4,0 g dessa mistura por mecha (1,0 g) de cabelo, de maneira uniforme em todo o comprimento, tanto na parte da frente quanto na de trás. Deixou-se agir por 30 minutos e, por fim, enxaguou-se seguindo o procedimento de lavagem descrito anteriormente.

3.2.3. Tingimento

O tingimento das mechas foi realizado de maneira semelhante ao procedimento descrito pelo fabricante. No entanto não foram utilizados o “tratamento condicionador”, nem o “sérum protetor”, a fim de minimizar a influência de outros ingredientes nas águas de lavagens que foram caracterizadas por espectrofotometria no UV-Vis, e também evitar uma possível

impermeabilização da fibra capilar e dificultar a saída de pigmentos. As etapas foram as seguintes:

1. Misturaram-se o creme colorante e o revelador creme até obter-se uma mistura homogênea;
2. Aplicou-se esta mistura nas mechas na proporção em massa 4 : 1;
3. Deixou-se agir por 40 min;
4. Aplicou-se 2,0 mL de água morna (~ 40 °C);
5. Massageou-se por 30 s;
6. Enxaguou-se em água corrente até a água ficar límpida (2,0 min);
7. Deixou-se secar em temperatura ambiente.

3.2.4. Caracterização dos tensoativos

Os tensoativos utilizados neste trabalho foram previamente caracterizados por tensiometria. Este procedimento foi necessário porque se tratam de produtos comerciais, com impurezas, portanto é necessário conhecer a concentração de ativo mais precisamente.

A tensiometria consiste em medidas de tensão superficial em função da concentração, em que se obtém o valor de concentração micelar crítica (CMC). Comparando-se o valor de CMC obtida com a da literatura, pode-se determinar o teor de ativo nos produtos comerciais.

As medidas de tensão superficial foram realizadas em duplicata de solução e quintuplicata de medida, em um tensiômetro de anel Sigma 701.

Nas Figura 10 até Figura 12, têm-se os gráficos de tensão superficial em função da concentração para os tensoativos. As concentrações apresentadas na abscissa foram calculadas assumindo-se o teor de ativos informados pelos fabricantes como reais (cocoil sarcosinato de sódio: 30 % m/m, coco sulfato de sódio: 90% m/m, coco glucosídeo: 50 % m/m). O valor da tensão superficial decai com o aumento da concentração de tensoativo até atingir um patamar, na intersecção das retas vertical e horizontal tem-se o valor da CMC obtida experimentalmente (com base nos valores de concentração adotados). Comparando-se estes valores com os da literatura, pôde-se então obter valores mais exatos da concentração de ativos.

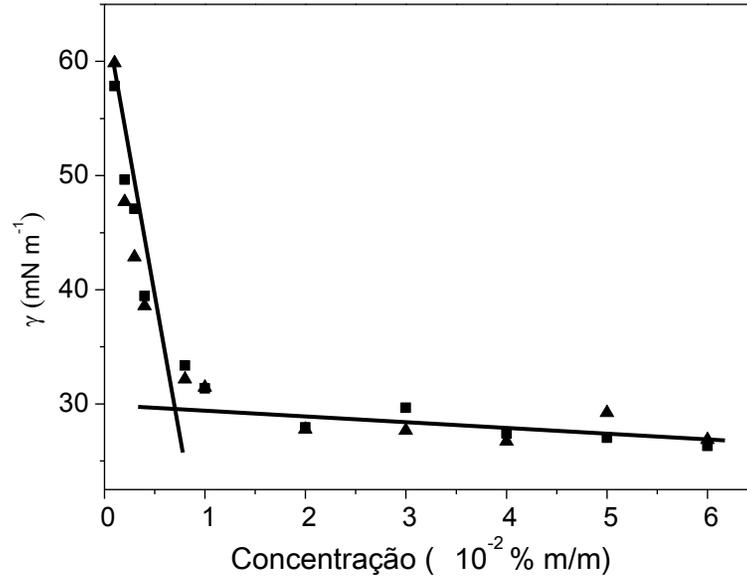


Figura 10: Tensão de superfície em função da concentração para o cocoil sarcosinato de sódio, em duplicata de solução e quintuplicata de medida.

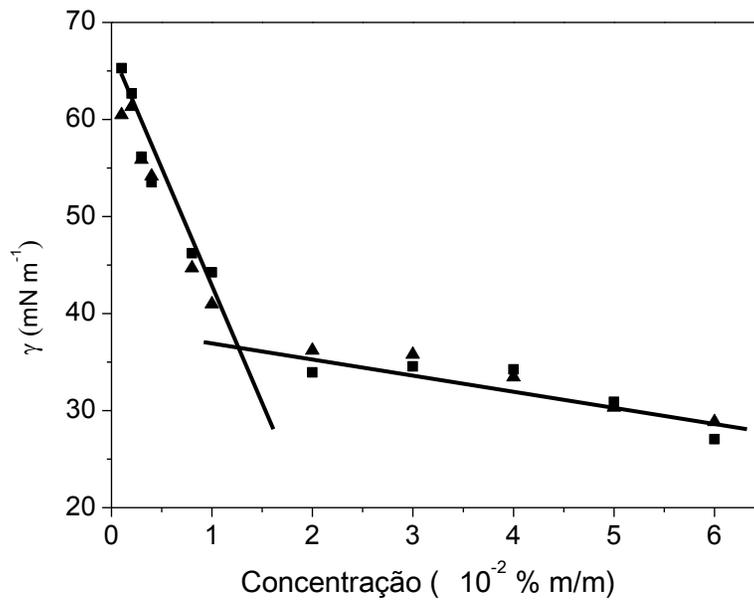


Figura 11: Tensão de superfície em função da concentração para o coco sulfato de sódio, em duplicata de solução e quintuplicata de medida.

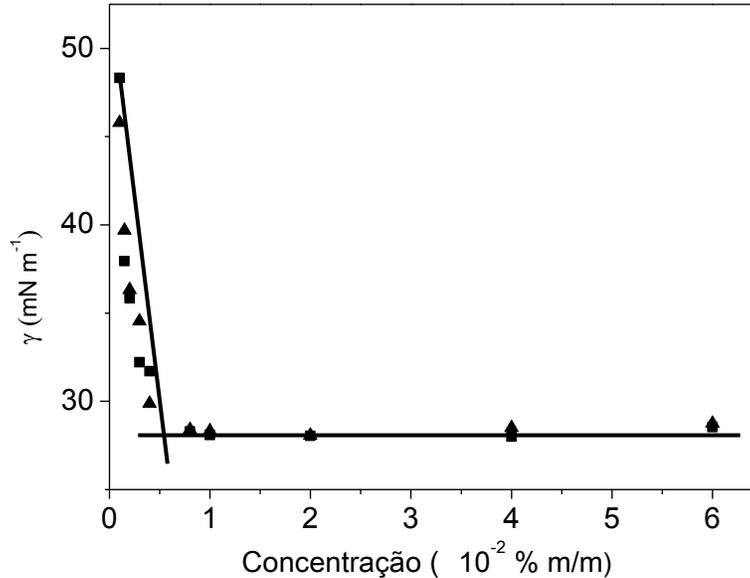


Figura 12: Tensão de superfície em função da concentração para o coco glucosídeo, em duplicata de solução e quintuplicata de medida.

Na Tabela 1, são apresentados os valores de concentração micelar crítica da literatura e os obtidos experimentalmente, e o teor de ativo para os produtos comerciais. No caso do cocoil sarcosinato de sódio e coco glucosídeo, as concentrações são próximas das informadas pelo fabricante; no entanto, o coco sulfato de sódio mostrou grande diferença em relação ao valor informado pelo fabricante e foi o que resultou na maior dispersão na tensão superficial medida.

Tabela 1: Concentração micelar crítica da literatura e determinada experimentalmente e teor de ativo (informado pelo fabricante e determinado experimentalmente) dos tensoativos.

Tensoativo	C.M.C. (10 ⁻² % m/m)		Teor de ativo (% m/m)	
	Literatura	Experimental	Nominal	Experimental
Cocoil sarcosinato de sódio	1 ⁽³⁰⁾	0,8	30	32
Coco sulfato de sódio	2,36 ⁽³⁰⁾	1,7	90	72
Coco glucosídeo	0,672 ⁽³¹⁾	0,4	50	60

3.2.5. Ciclos de tratamento

Com a finalidade de simular o dano cotidiano dos cabelos tingidos, estes foram submetidos a ciclos de tratamento, em que cada ciclo corresponde a 8 h de irradiação na lâmpada de vapor de mercúrio e uma lavagem.

A irradiação das mechas foi realizada com a lâmpada de vapor de mercúrio em uma capela forrada com papel alumínio para refletir a radiação emitida e garantir que esta fosse igualmente distribuída em todas as direções. As mechas foram distribuídas em um arco circular de chapa galvanizada, em que a distância para o bulbo da lâmpada era de 15 cm. Para garantir que a radiação fosse uniforme por toda a mecha, esta era rotada de tempos em tempos e, a cada ciclo, mudava-se a sua posição.

A intensidade de radiação emitida e absorvida pela mecha foram medidas por um radiômetro (PMA 2100, Solar Light Co). O detector foi colocado na mesma posição da mecha para medir a quantidade de radiação que chegava até a mesma, e logo atrás para medir a radiação que a atravessava, então, calculando-se a diferença obteve-se o valor da radiação absorvida pela mecha. As medidas foram 10 minutos após ligar a lâmpada, para cada tipo de mecha e os valores estão na Tabela 2.

Tabela 2: Potência e dose de energia da lâmpada de vapor de mercúrio para cada tipo de mecha.

	Potência (mW cm^{-2})	Dose de energia (J cm^{-2})
Loiro	5 ± 1	$3,1 \pm 0,9$
Castanho	4 ± 1	$2,4 \pm 0,7$

O processo de lavagem utilizado foi o seguinte:

1. Molhou-se em água destilada;
2. Adicionou-se 1,0 mL de tensoativo (2 % m/m);
3. Massagem manual por 1,0 min;
4. Enxágue em um béquer com 50,0 g de água destilada por 1,0 min;
5. Enxágue em água corrente por 30 s.

O procedimento utilizado difere do comumente utilizado, em que se lava apenas em água corrente. A razão para tal é que se desejava caracterizar as soluções de lavagem por espectrofotometria no UV-Vis (solução proveniente da etapa 4), a fim de se comparar os perfis e os valores de absorvância das soluções provenientes de cada tensoativo.

É importante ressaltar que as soluções de tensoativos foram preparadas em concentração em massa, porém os valores em concentrações molares são compatíveis, sendo de $6 \times 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$ para sulfato e glucosídeo e $7 \times 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$ para o sarcosinato, portanto foram mantidas as proporções molares.

3.2.6. Espectrofotometria de Refletância Difusa (ERD)

A cor das mechas foi medida utilizando-se o espectrofotômetro Gretag Macbeth® Color-eye® 2180, na faixa de 360 a 740 nm, em intervalos de 10 nm em que a iluminação difusa é proveniente de lâmpada de xenônio.

Para se realizar a medida, utilizou-se iluminante D65, ângulo de observação a 10° e a configuração CRIIS:

- C: calibração com cerâmica branca (referência);
- R: refletância;
- I: radiação ultravioleta inclusa;
- I: componente especular incluso;
- S: abertura para pequenas amostras.

Foram realizadas 20 medidas por mecha, divididas entre raiz e ponta, na parte da frente e de trás das mechas.

Os parâmetros de cor obtidos pertencem ao sistema CIE (International Commission on Illumination), as coordenadas estão representadas na Figura 13.

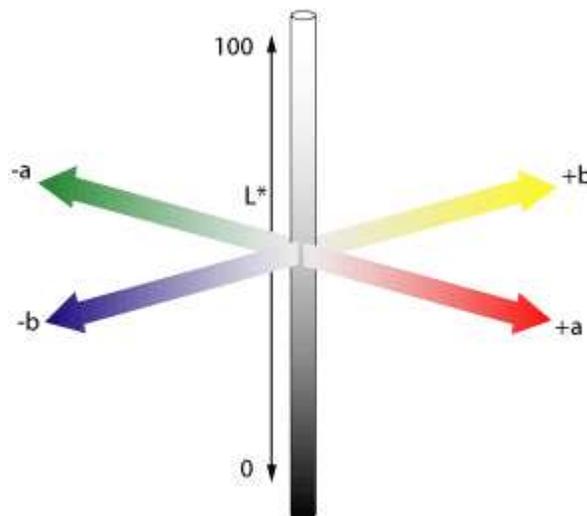


Figura 13: Coordenadas dos parâmetros de cor do sistema CIELAB.

O parâmetro L^* (luminosidade) varia de 0 a 100, preto a branco, a^* corresponde ao eixo verde-vermelho (-60 a +60), e b^* é o eixo azul-amarelo (-60 a +60).

As diferenças de cor ocorridas após os tratamentos são calculadas em relação ao valor de referência, sendo o cabelo virgem para os cabelos naturais, e recém-tingidos para o caso dos tingidos. Têm-se, portanto, as seguintes diferenças nos parâmetros de cor:

- DL^* , mais claro se positivo, mais escuro se negativo;

$$DL^* = L_1^* - L_0^* \quad \text{Equação 1}$$

- Da^* , mais vermelho se positivo, mais verde se negativo;

$$Da^* = a_1^* - a_0^* \quad \text{Equação 2}$$

- Db^* , mais amarelo se positivo, mais azul se negativo;

$$Db^* = b_1^* - b_0^* \quad \text{Equação 3}$$

- DC^* (variação de cor real)

$$DC^* = \sqrt{((Da^*)^2 + (Db^*)^2)} \quad \text{Equação 4}$$

- DE^* (variação de cor total)

$$DE^* = \sqrt{((DL^*)^2 + (Da^*)^2 + (Db^*)^2)} \quad \text{Equação 5}$$

O cabelo apresenta uma variação de cor natural, sendo assim, há uma diferença de cor inerente ao cabelo; portanto, para se avaliar se ocorreu uma alteração significativa em sua cor é necessário conhecer sua variabilidade intrínseca, que é apresentada na Tabela 3. Os valores de DL^* , Da^* e Db^* correspondem ao desvio dos valores iniciais de L^* , a^* e b^* .

Tabela 3: Parâmetros de cor e variabilidade intrínseca da cor das mechas de cabelo Caucasiano naturais e tingidas.

	Natural		Recém-tingido	
	Loiro	Castanho	Loiro	Castanho
L^*	45 ± 1	29 ± 1	$19,0 \pm 0,7$	$19,4 \pm 0,5$
a^*	$6,3 \pm 0,4$	$5,4 \pm 0,3$	$1,1 \pm 1,4$	$0,8 \pm 0,2$
b^*	$18,3 \pm 0,6$	$9,5 \pm 0,8$	$1,6 \pm 1,4$	$1,0 \pm 0,4$

Desta forma, considerar-se-ão significativas variações de cor maiores que os desvios indicados na Tabela 2, para cada caso.

3.2.7. Espectrofotometria no UV-Vis

As soluções de lavagem e a tintura foram caracterizadas por espectrofotometria no UV-Vis.

As soluções dos tensoativos aniônicos (CSS e CSaS) apresentaram turbidez, sendo assim, foi necessário adicionar lauril sulfato de sódio à solução, pois este tem poder desnaturante em proteínas.^{32,33} Para preparar as amostras, retirou-se uma alíquota de 5,0 mL da solução de lavagem e adicionou-se 1,0 mL de LSS 5 % m/m. Este procedimento foi realizado em todas as soluções de lavagem, inclusive na que foi usado apenas água.

Para preparar as soluções de tintura, primeiramente misturou-se as duas partes da tintura e esperou-se 40 minutos (como se fosse utilizá-la para tingimento), preparou-se uma solução aquosa 0,2% m/m e guardou-se ao abrigo da luz. Uma parte da tintura foi colocada em uma placa de Petri e colocada na capela para irradiação por 1 hora, então preparou-se a solução da mesma maneira que a outra. Para realizar a leitura no espectrofotômetro, retirou-se uma alíquota de 5,0 mL e a ela adicionou-se 1,0 mL de LSS 5 %.

As medidas foram feitas em um espectrofotômetro Varian Cary 50, de 200 a 800 nm.

3.2.8. Diâmetro dos fios

Foram realizadas medidas de diâmetro dos fios de cabelo, com o intuito de investigar os efeitos da descoloração e do tingimento na sua estrutura.

Primeiramente, as mechas virgens foram climatizadas por no mínimo 24 h em uma sala com umidade relativa *ca.* 50 % e temperatura *ca.* 25 °C, em seguida, mediu-se o diâmetro com um micrômetro Mitutoyo. Foram realizadas vinte medidas, todas no meio das mechas a fim de se minimizar a variabilidade dos valores.

As mechas foram descoloridas e tingidas conforme procedimentos já mencionados, e após cada um desses processos, mediu-se o diâmetro da mesma maneira como realizado para as mechas virgens.

4. Resultados

Os resultados serão apresentados em subcategorias, de forma a ordená-los para uma melhor comparação entre os efeitos observados nos cabelos virgens e nos tingidos.

4.1. O efeito dos tensoativos sobre a cor dos cabelos não tingidos

Para se fundamentar o efeito dos tensoativos em cabelos tingidos, primeiramente estes mesmos devem ser estudados em cabelos naturais. Sendo assim, tanto o cabelo loiro quanto o castanho utilizados neste trabalho foram submetidos aos mesmos ciclos de tratamento de irradiação e lavagem.

Na Tabela 4, têm-se os parâmetros de cor para o cabelo castanho. Vê-se que todas as mechas apresentaram a mesma tendência: tornaram-se mais claras, amarelas e vermelhas. Os parâmetros de cor para o cabelo loiro estão na Tabela 5 todas as mechas tiveram o mesmo comportamento: ficaram mais claras e amarelas, no entanto, menos vermelhas. Apesar das variações de cor observadas, não houve diferença significativa no efeito dos tensoativos.

Tabela 4: Diferenças nos parâmetros de cor para as mechas de cabelo Caucasiono castanho padrão após os trinta ciclos de tratamento com tensoativos e radiação.

	Água	CSS	CSaS	CG
DL*	3	3	2	4
Da*	0,8	0,5	0,8	0,9
Db*	2,5	2,3	2,1	2,6

Tabela 5: Diferenças nos parâmetros de cor para as mechas de cabelo Caucasiono loiro padrão após os trinta ciclos de tratamento com tensoativos e radiação.

	Água	CSS	CSaS	CG
DL*	7	7	7	8
Da*	-1,1	-1,3	-1,0	-1,0
Db*	0,7	0,3	0,9	1,1

Comparando-se o comportamento do cabelo loiro ao castanho, vê-se que o loiro tornou-se muito mais claro, com $DL^* = 7$, enquanto que o castanho foi $DL^* = 3$. Por outro lado, o cabelo castanho ficou mais amarelo ($Db^* = 2$) que o loiro ($Db^* = 1$), e avermelhou, enquanto o loiro teve $Da^* < 0$.

O fato de os cabelos tornarem-se mais claros é concordante com o esperado pela literatura para cabelos naturais expostos à radiação. Outra concordância foi encontrada no maior clareamento para o cabelo loiro que o castanho, pois quanto maior o teor de eumelanina, menor a sensibilidade à radiação UV. ^{25,26}

4.2. Diâmetro dos fios

Conforme explicado anteriormente, é esperado que o diâmetro do fio aumente após o processo de tintura, devido à polimerização do pigmento que ocorre no interior do mesmo. ¹⁶ No entanto não foi possível observar diferença significativa nos valores medidos de diâmetro (Tabela 6), pois a variabilidade inerente da amostra é maior que a alteração promovida pela tintura. Da mesma forma, o diâmetro dos fios após os trinta ciclos de tratamento não apresentou variação significativa.

Tabela 6: Diâmetro dos fios (μm) de cabelo Caucásico padrão loiro e castanho (virgem, tingido e após os ciclos de tratamento).

	Virgem	Tingido	Após ciclos
Loiro	54 ± 6	58 ± 8	55 ± 7
Castanho	55 ± 9	56 ± 8	60 ± 8

4.3. Mudanças de cor dos cabelos tingidos após os ciclos de tratamento

4.3.1. Cabelo Caucásico castanho oxidado e tingido

Da Figura 14 à Figura 17 estão apresentados os valores do parâmetro L^* (luminosidade) para as mechas de cabelo Caucásico castanho quimicamente oxidadas e tingidas de

castanho, em função do número de ciclos de tratamento. Pode-se observar que o comportamento geral foi o clareamento, e não houve diferença significativa em DL^* dentre os tensoativos, nem mesmo em relação à água (branco).

Da mesma forma, da Figura 18 à Figura 21 estão apresentados os valores do parâmetro a^* (verde-vermelho), em que se nota que houve um aumento em seu valor. O cabelo tornou-se mais vermelho, e este efeito foi mais pronunciado nas mechas tratadas com o cocoil sarcosinato de sódio (CSaS) e coco glucosídeo (CG). A água e o coco sulfato de sódio (CSS) apresentaram praticamente o mesmo valor de Da^* .

Por fim, da Figura 22 à Figura 25 estão apresentados os valores do parâmetro b^* (azul-amarelo). Mais uma vez, todas as mechas comportaram-se da mesma forma, isto é, tornaram-se mais amarelas, pois ocorreu um aumento em b^* . O CSaS e CG promoveram um maior Db^* comparados à água e CSS.

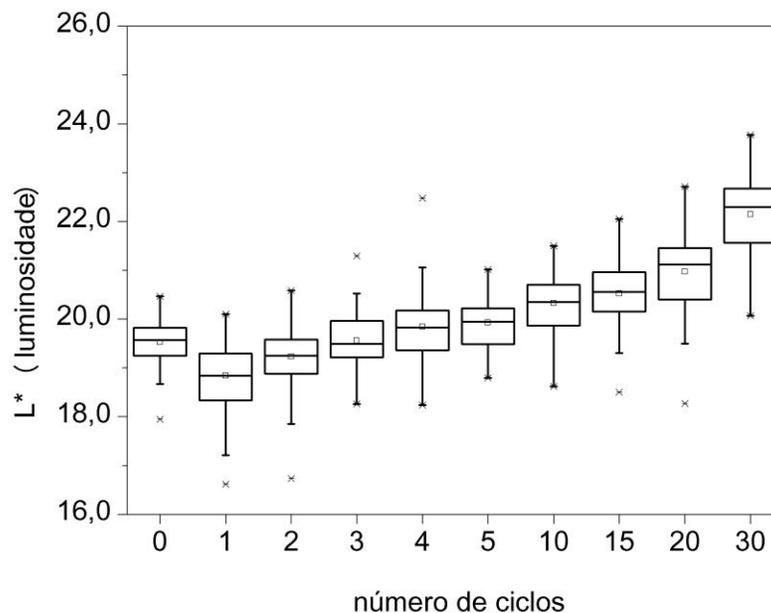


Figura 14: Luminosidade (L^*) em função do número de ciclos de tratamento com água para as mechas de cabelo Caucásico castanho padrão descoloridas e tingidas de castanho. Ensaio realizado em triplicata de mecha, com vinte medidas para cada uma. Todos os valores foram agrupados em uma única caixa. UR ca. 50 %.

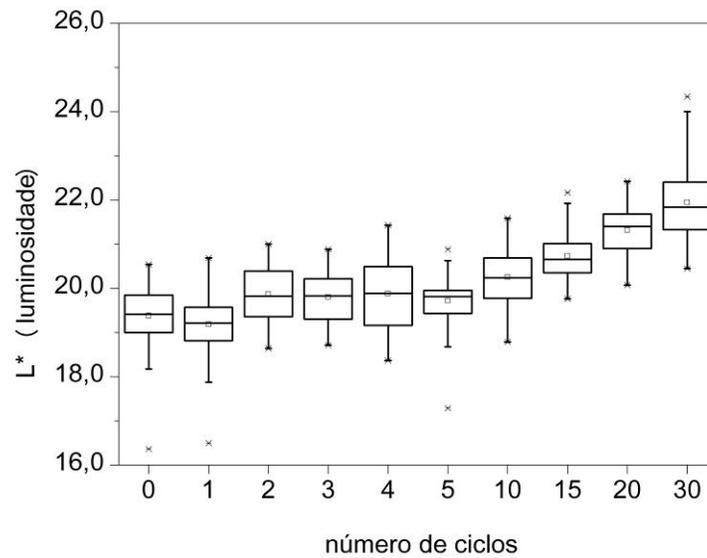


Figura 15: Luminosidade (L^*) em função do número de ciclos de tratamento com CSS para as mechas de cabelo Caucasiano castanho padrão descoloridas e tingidas de castanho. Ensaio realizado em triplicata de mecha, com vinte medidas para cada uma. Todos os valores foram agrupados em uma única caixa. UR ca. 50 %.

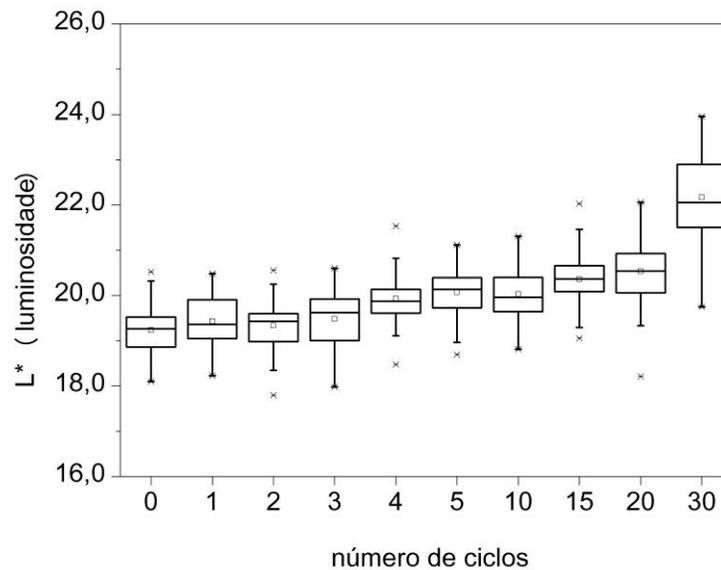


Figura 16: Luminosidade (L^*) em função do número de ciclos de tratamento com CSaS para as mechas de cabelo Caucasiano castanho padrão descoloridas e tingidas de castanho. Ensaio realizado em triplicata de mecha, com vinte medidas para cada uma. Todos os valores foram agrupados em uma única caixa. UR ca. 50 %.

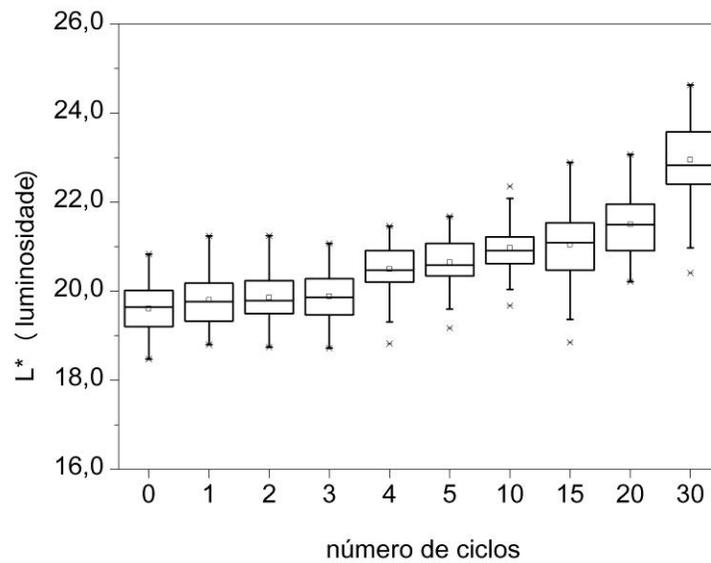


Figura 17: Luminosidade (L^*) em função do número de ciclos de tratamento com CG para as mechas de cabelo Caucasiano castanho padrão descoloridas e tingidas de castanho. Ensaios realizados em triplicata de mecha, com vinte medidas para cada uma. Todos os valores foram agrupados em uma única caixa. UR ca. 50 %.

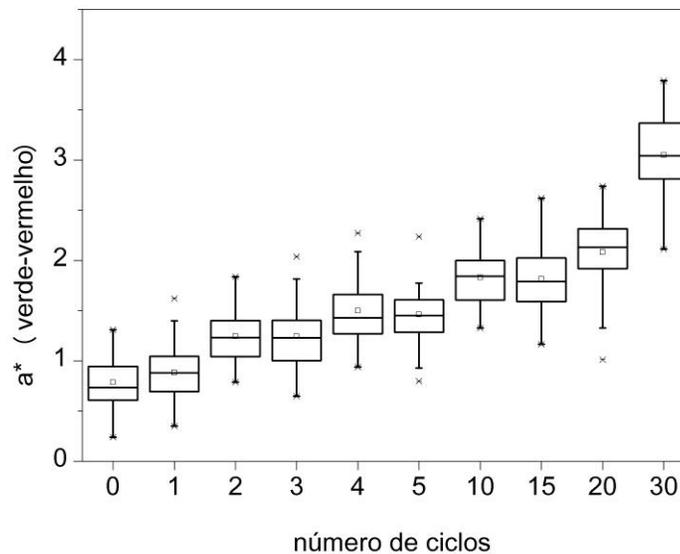


Figura 18: Parâmetro verde-vermelho (a^*) em função do número de ciclos de tratamento com água para as mechas de cabelo Caucasiano castanho padrão descoloridas e tingidas de castanho. Ensaios realizados em triplicata de mecha, com vinte medidas para cada uma. Todos os valores foram agrupados em uma única caixa. UR ca. 50 %.

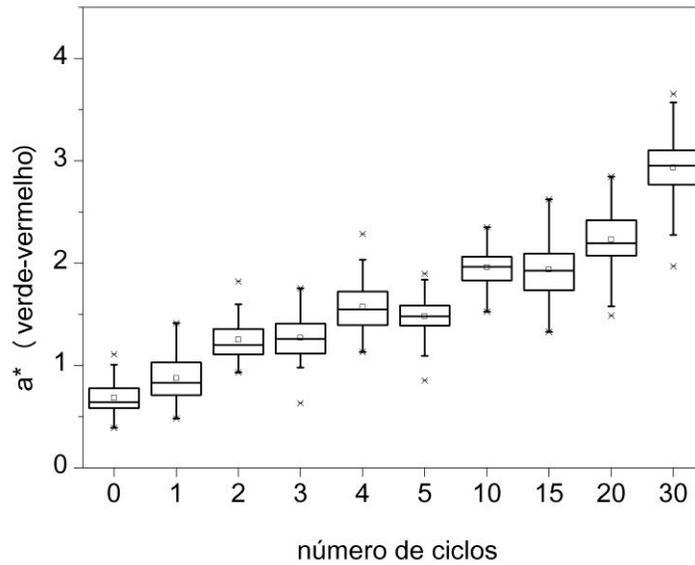


Figura 19: Parâmetro verde-vermelho (a^*) em função do numero de ciclos de tratamento com CSS para as mechas de cabelo Caucasiano castanho padrão descoloridas e tingidas de castanho. Ensaio realizado em triplicata de mecha, com vinte medidas para cada uma. Todos os valores foram agrupados em uma única caixa. UR *ca.* 50 %.

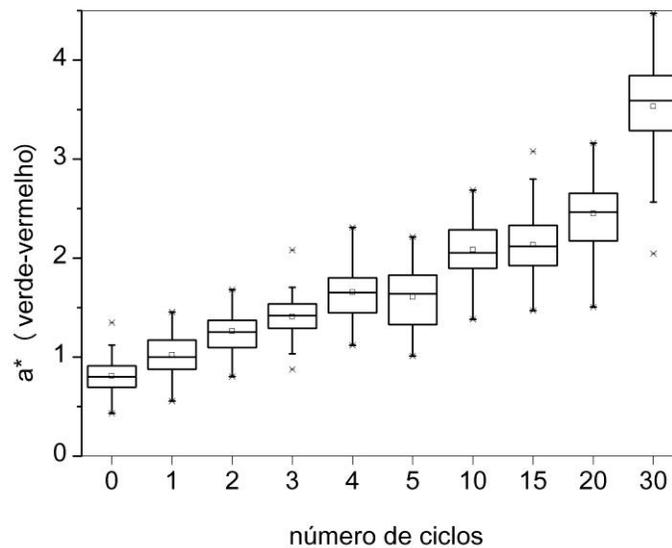


Figura 20: Parâmetro verde-vermelho (a^*) em função do numero de ciclos de tratamento com CSaS para as mechas de cabelo Caucasiano castanho padrão descoloridas e tingidas de castanho. Ensaio realizado em triplicata de mecha, com vinte medidas para cada uma. Todos os valores foram agrupados em uma única caixa. UR *ca.* 50 %.

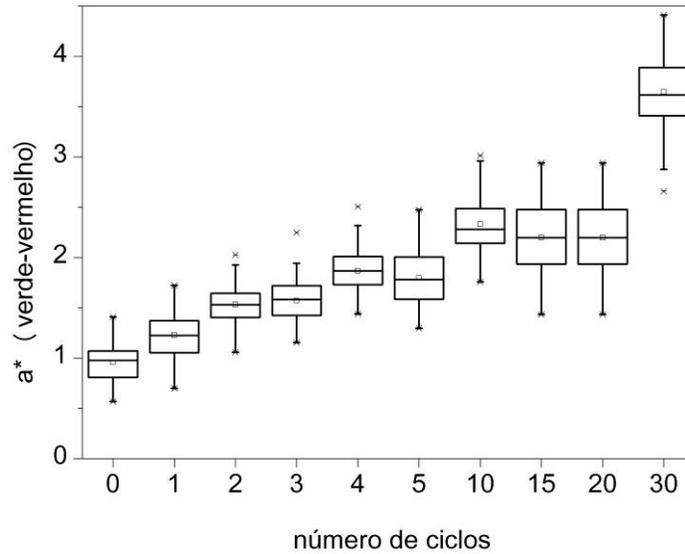


Figura 21: Parâmetro verde-vermelho (a^*) em função do número de ciclos de tratamento com CG para as mechas de cabelo Caucasiano castanho padrão descoloridas e tingidas de castanho. Ensaio realizado em triplicata de mecha, com vinte medidas para cada uma. Todos os valores foram agrupados em uma única caixa. UR ca. 50 %.

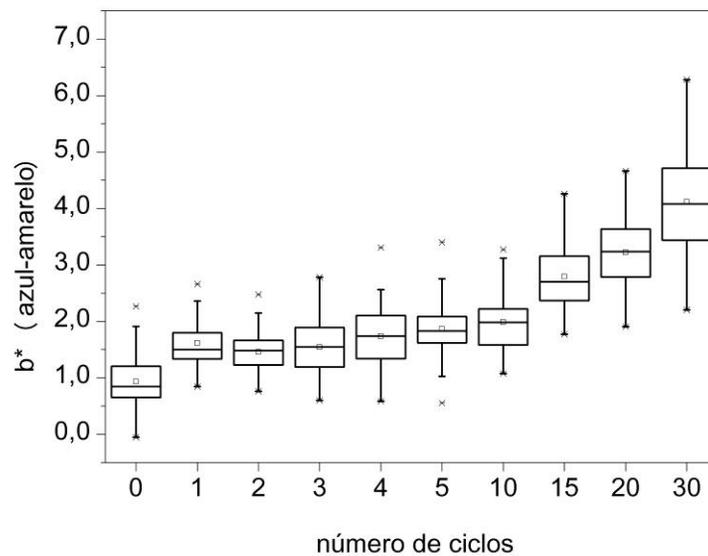


Figura 22: Parâmetro azul-amarelo (b^*) em função do número de ciclos de tratamento com água para as mechas de cabelo Caucasiano castanho padrão descoloridas e tingidas de castanho. Ensaio realizado em triplicata de mecha, com vinte medidas para cada uma. Todos os valores foram agrupados em uma única caixa. UR ca. 50 %.

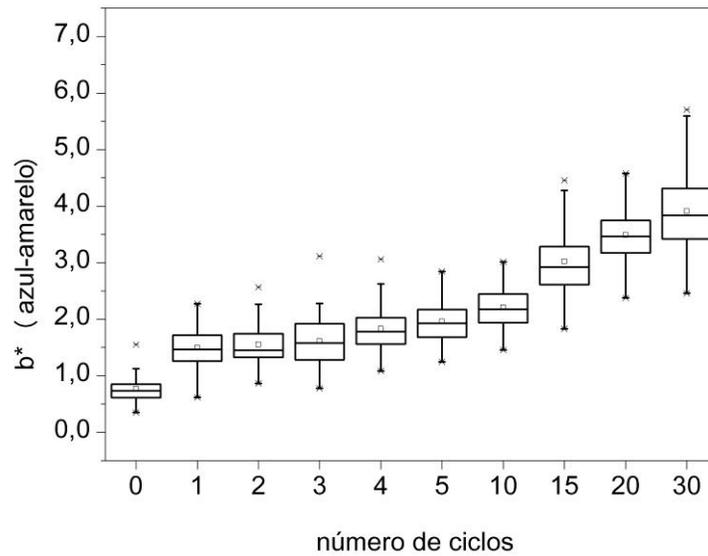


Figura 23: Parâmetro azul-amarelo (b^*) em função do número de ciclos de tratamento com CSS para as mechas de cabelo Caucasiano castanho padrão descoloridas e tingidas de castanho. Ensaio realizado em triplicata de mecha, com vinte medidas para cada uma. Todos os valores foram agrupados em uma única caixa. UR ca. 50 %.

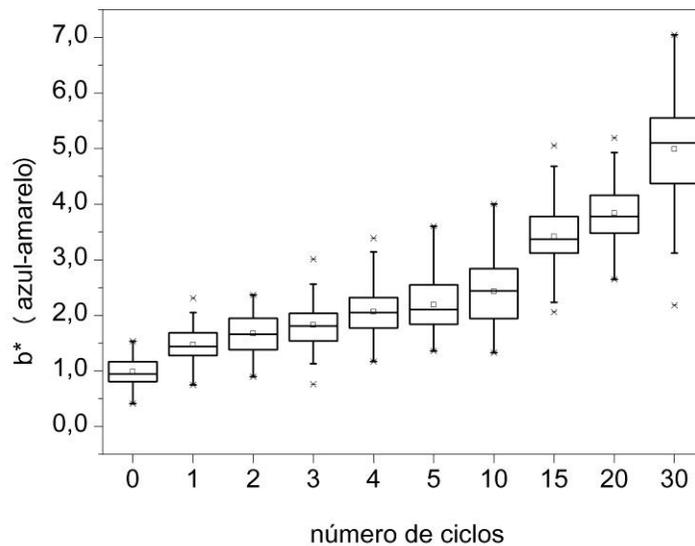


Figura 24: Parâmetro azul-amarelo (b^*) em função do número de ciclos de tratamento com CSaS para as mechas de cabelo Caucasiano castanho padrão descoloridas e tingidas de castanho. Ensaio realizado em triplicata de mecha, com vinte medidas para cada uma. Todos os valores foram agrupados em uma única caixa. UR ca. 50 %.

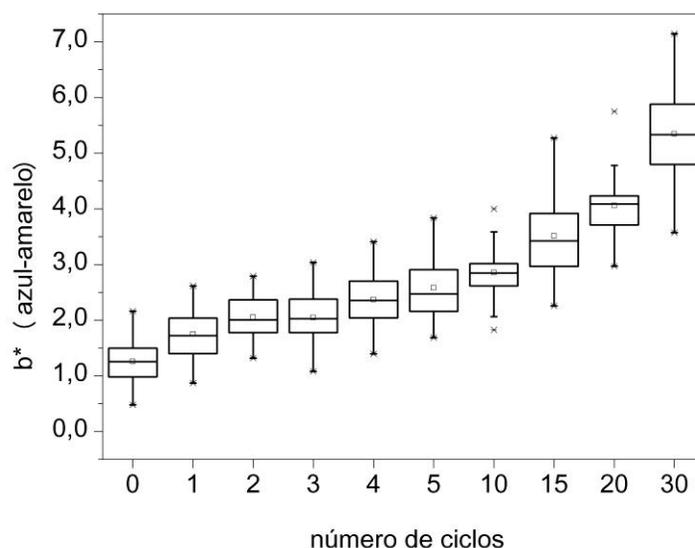


Figura 25: Parâmetro azul-amarelo (b^*) em função do número de ciclos de tratamento com CG para as mechas de cabelo Caucásio castanho padrão descoloridas e tingidas de castanho. Ensaio realizado em triplicata de mecha, com vinte medidas para cada uma. Todos os valores foram agrupados em uma única caixa. UR ca. 50 %.

As diferenças dos parâmetros de cor para as mechas de cabelo castanho com suas respectivas variabilidades intrínsecas estão apresentadas na Tabela 7, desta forma torna-se mais clara a visualização e interpretação para avaliar se as diferenças foram significativas.

Tabela 7: Diferenças nos parâmetros de cor das mechas de cabelo Caucásio castanho descoloridas e tingidas após os 30 ciclos de tratamento.

	Água	CSS	CSaS	CG
DL*	$2,6 \pm 0,5$	$2,6 \pm 0,6$	$2,9 \pm 0,5$	$3,3 \pm 0,5$
Da*	$2,3 \pm 0,2$	$2,3 \pm 0,1$	$2,7 \pm 0,2$	$2,7 \pm 0,2$
Db*	$3,2 \pm 0,4$	$3,1 \pm 0,2$	$4,0 \pm 0,3$	$4,1 \pm 0,4$
DC*	$3,9 \pm 0,5$	$3,9 \pm 0,3$	$4,8 \pm 0,3$	$4,9 \pm 0,4$
DE*	$4,1 \pm 0,6$	$4,1 \pm 0,7$	$5,0 \pm 0,5$	$5,3 \pm 0,6$

Os valores de DL* para as mechas tratadas com os diferentes tensoativos não são diferentes entre si, no entanto, Da* e Db* são maiores para o CSaS e CG. Portanto, a diferença em cromaticidade (DC*) também é maior para estes casos.

4.3.2. Cabelo Caucasiano loiro tingido

As mechas de cabelo Caucasiano loiro tingidas de castanho (sem oxidação química) apresentaram o mesmo comportamento, sendo assim, tornaram-se mais claras ($DL^* > 0$), mais vermelhas ($Da^* > 0$) e mais amarelas ($Db^* > 0$), no entanto, não houve diferença significativa entre os tensoativos. Portanto, os gráficos de L^* , a^* e b^* serão apresentados apenas no anexo, e os valores estão apresentados na Tabela 8.

Tabela 8: Diferenças nos parâmetros de cor das mechas de cabelo Caucasiano loiro tingidas após os 30 ciclos de tratamento.

	Água	CSS	CSaS	CG
DL*	3,3 ± 0,6	2,9 ± 0,7	2,0 ± 0,6	3,0 ± 0,8
Da*	2,0 ± 0,2	1,9 ± 0,2	2,3 ± 0,2	2,0 ± 0,2
Db*	2,7 ± 0,5	2,5 ± 0,4	3,1 ± 0,3	2,9 ± 0,4
DC*	3,4 ± 0,5	3,2 ± 0,4	3,8 ± 0,4	3,5 ± 0,4
DE*	4,7 ± 0,8	4,3 ± 0,9	4,4 ± 0,7	4,7 ± 0,9

4.3.3. Comparação do efeito dos tensoativos entre cabelos submetidos a diferentes processos

A Figura 26 mostra a diferença em cromaticidade para o cabelo castanho descolorido e tingido do ciclo 1 ao 30, enquanto que a Figura 27 para o loiro tingido. A diferença na cromaticidade é a variação nos parâmetros reais da cor (a^* e b^*), sendo assim, sua análise é importante para entendimento do efeito dos tensoativos.

Observa-se que todos os tensoativos apresentam o mesmo comportamento, descrito por uma reta. No caso do cabelo castanho, as retas para o cocoil sarcosinato de sódio e coco glucosideo mostram uma tendência a crescerem mais rapidamente que as da água e do coco sulfato de sódio. No entanto, para o cabelo loiro, as retas são muito próximas umas das outras, pode-se notar apenas que a reta do cocoil sarcosinato de sódio possui uma inclinação maior e mostra uma tendência em promover maior diferença de cor.

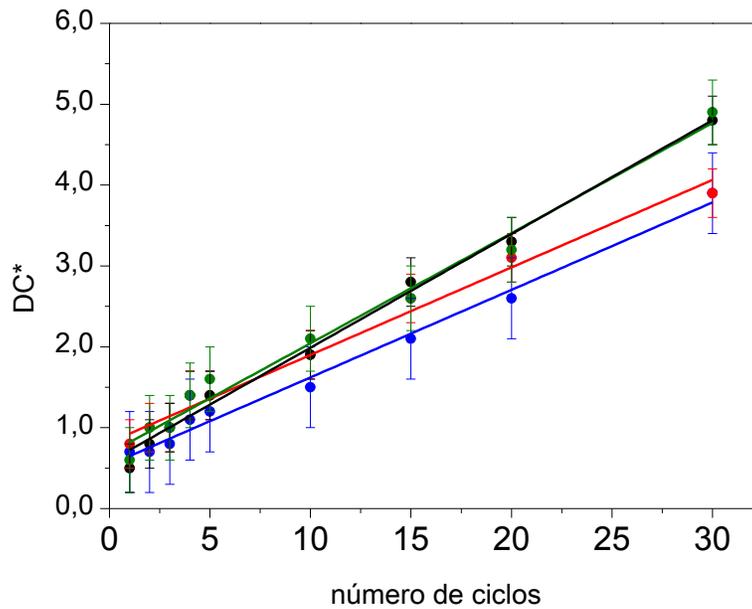


Figura 26: Diferença em cromaticidade (DC*) em função do número de ciclos de tratamento para as mechas de cabelo Caucasiano castanho padrão descoloridas e tingidas de castanho, com (■) água, (■) coco glucosídeo, (■) coco sulfato de sódio e (■) cocoil sarcosinato de sódio.

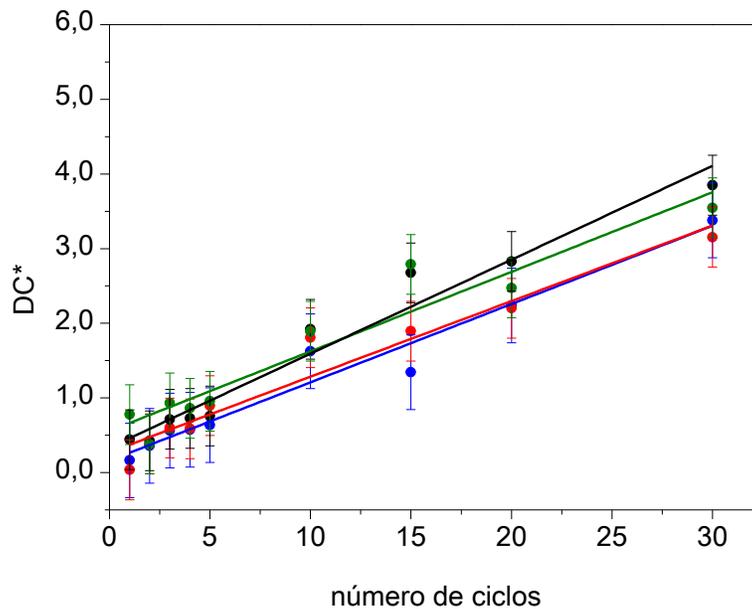


Figura 27: Diferença em cromaticidade (DC*) em função do número de ciclos de tratamento para as mechas de cabelo Caucasiano loiro padrão tingidas de castanho, com (■) água, (■) coco glucosídeo, (■) coco sulfato de sódio e (■) cocoil sarcosinato de sódio.

4.4. Espectrofotometria no UV-Vis das soluções de lavagem

4.4.1. Cabelos naturais

As soluções de lavagem dos cabelos naturais loiro e castanho foram caracterizadas com o intuito de se conhecer o que pode ser extraído do cabelo durante a lavagem. Na Figura 28, têm-se as curvas de resposta para as soluções de lavagem para o cabelo castanho, e na Figura 29 para o loiro.

Observa-se que todas as curvas apresentam o mesmo perfil, que são condizentes com o descrito na literatura para a melanina.^{34,35}

Combinando-se este fato aos de medidas de cor, em que se pôde observar diferenças de cor após os ciclos de tratamento, tem-se um indício de que houve remoção de melanina da fibra durante a lavagem.

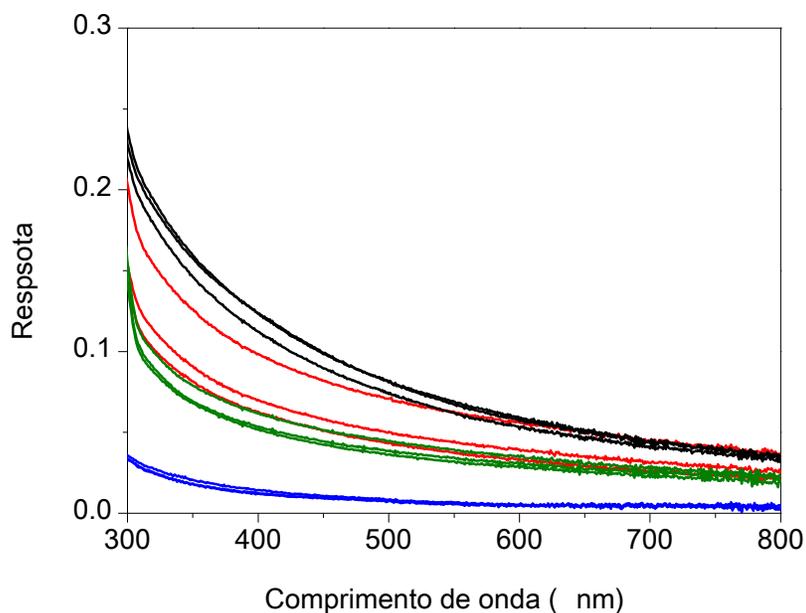


Figura 28: Espectro no UV-Vis das soluções de lavagem acumuladas de 10 ciclos do Caucasiano castanho natural com (■) água, (■) coco glucosídeo, (■) coco sulfato de sódio e (■) cocoil sarcosinato de sódio.

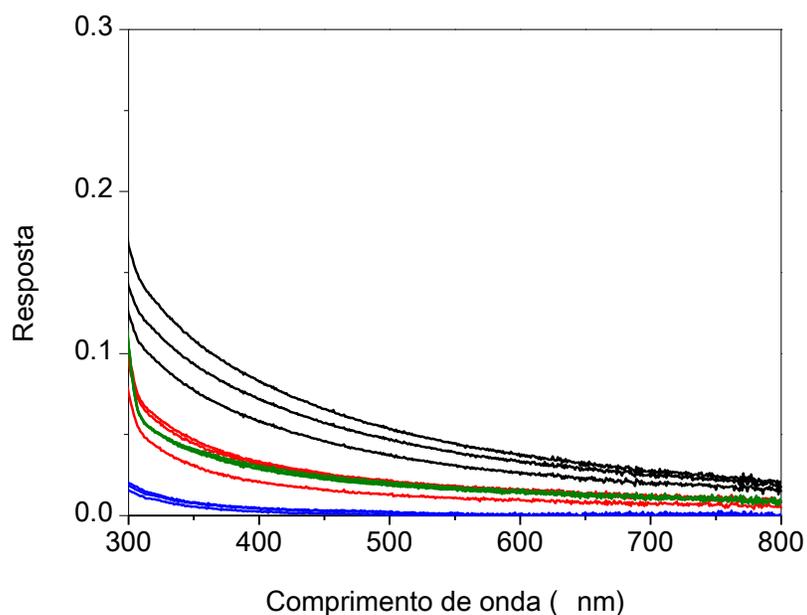


Figura 29: Espectro no UV-Vis das soluções de lavagem acumuladas de 10 ciclos do Caucasiano loiro natural com (■) água, (■) coco glucosídeo, (■) coco sulfato de sódio e (■) cocoil sarcosinato de sódio.

4.4.2. Cabelos tingidos

A espectrofotometria no UV-Vis não foi utilizada como técnica quantitativa, mas sim qualitativa. O objetivo foi identificar o que é extraído no processo de lavagem de cabelos tingidos, para isso fez-se a leitura das soluções de tintura e das soluções de lavagem com os diferentes tensoativos e água. Por se tratarem de soluções turvas, há substâncias insolúveis e dispersas em solução, sendo assim, as medidas no UV-Vis tratam-se das absorbâncias das soluções adicionadas ao espalhamento das partículas. Portanto, o que se mede é a soma destes efeitos que será chamada de resposta.

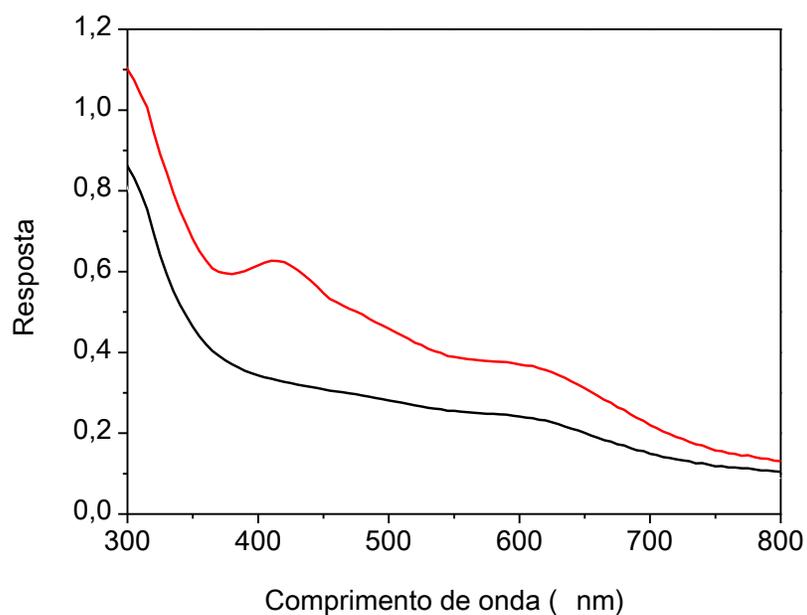


Figura 30: Espectro de resposta no UV-Vis para as soluções aquosas de tinta 0,2 % m/m (■) sem e (■) com irradiação (1 h).

Na Figura 30, observa-se uma banda em 450 nm e outra em 620 nm, ambas na região do visível. Vê-se na Figura 31 e Figura 32 que estas mesmas bandas aparecem nas soluções de lavagem, o que indica que o corante está sendo extraído no processo, conforme esperado. Como todos os espectros das soluções de lavagem apresentam o mesmo perfil, serão apresentados no anexo.

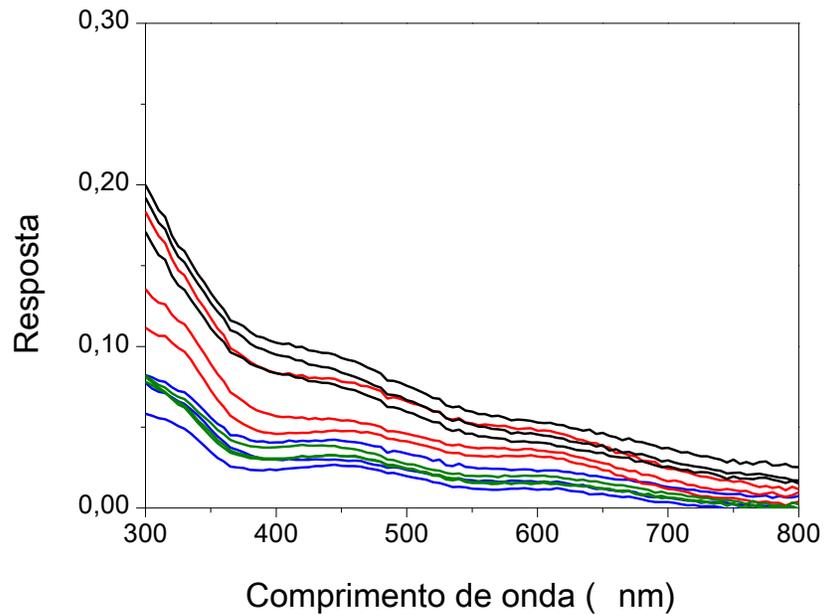


Figura 31: Espectro de resposta no UV-Vis das soluções de lavagem do primeiro ciclo para o cabelo Caucasiano castanho padrão (descolorido e tingido de castanho), com (■) água, (■) coco glucosídeo, (■) coco sulfato de sódio e (■) cocoil sarcosinato de sódio.

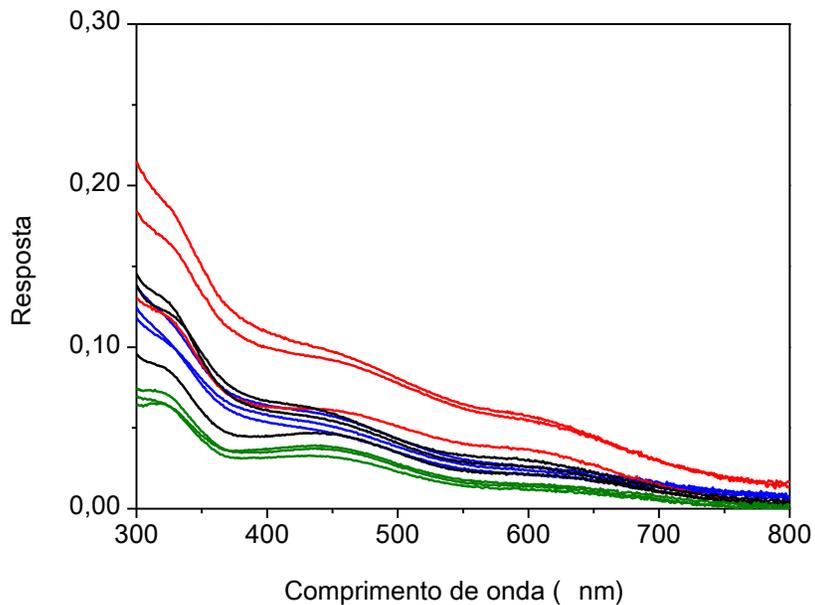


Figura 32: Espectro de resposta no UV-Vis das soluções de lavagem do primeiro ciclo para o cabelo Caucasiano castanho loiro tingido de castanho, com (■) água, (■) coco glucosídeo, (■) coco sulfato de sódio e (■) cocoil sarcosinato de sódio.

Apesar de todos os espectros no UV-Vis apresentarem o mesmo perfil, a ordem de intensidade para os diferentes tensoativos não é sempre a mesma. Para comparar os tensoativos, calculou-se a média para cada triplicata e calculou-se a resposta para os ciclos cumulativos em 450 e 620 nm. Os gráficos estão nas Figura 33 à Figura 36. Em todos os gráficos, observa-se o mesmo comportamento: as curvas têm crescimento exponencial de intensidade de resposta em função do número de ciclos, ajustadas pela Equação 6. Além disso, a ordem de intensidade das curvas é mantida tanto em 450 quanto em 620 nm para os cabelos castanho e loiro. As soluções de lavagem com água e coco glucosídeo têm praticamente os mesmos valores, seguidas do cocoil sarcosinato de sódio, e por fim, o coco sulfato de sódio é o que possui maior intensidade de resposta.

$$y = A \exp\left(-\frac{x}{t}\right) + y_0 \quad \text{Equação 6}$$

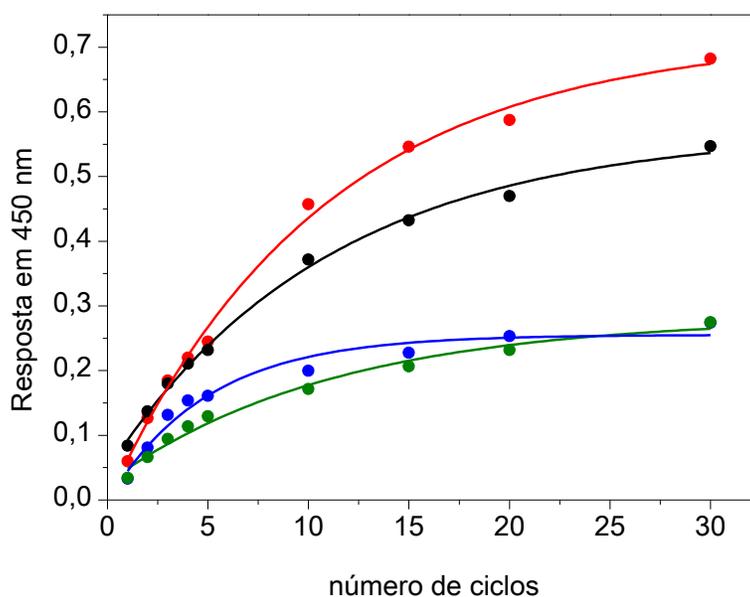


Figura 33: Resposta em 450 nm dos ciclos acumulados para as soluções de lavagem do cabelo Caucasiano castanho padrão descolorido e tingido com (■) água, (■) coco glucosídeo, (■) coco sulfato de sódio e (■) cocoil sarcosinato de sódio.

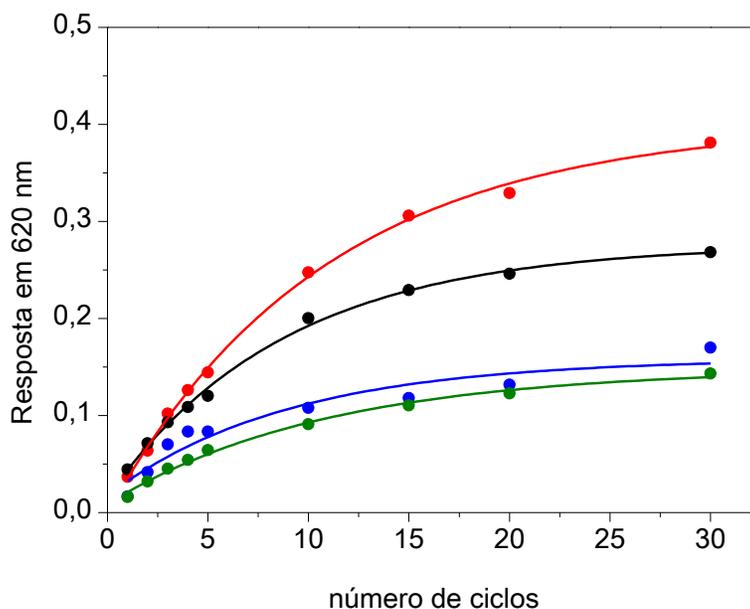


Figura 34: Resposta em 620 nm dos ciclos acumulados para as soluções de lavagem do cabelo Caucasiano castanho padrão descolorido e tingido com (■) água, (■) coco glucosídeo, (■) coco sulfato de sódio e (■) cocoil sarcosinato de sódio.

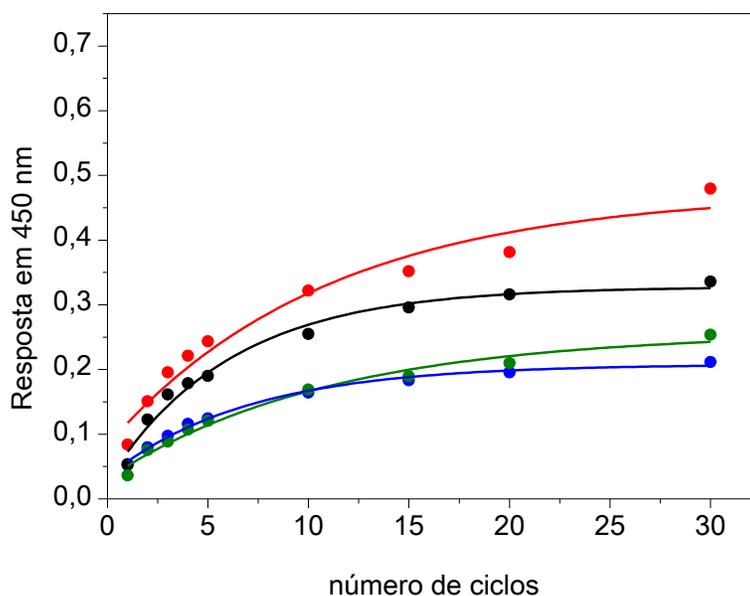


Figura 35: Resposta em 450 nm dos ciclos acumulados para as soluções de lavagem do cabelo Caucasiano loiro padrão tingido com (■) água, (■) coco glucosídeo, (■) coco sulfato de sódio e (■) cocoil sarcosinato de sódio.

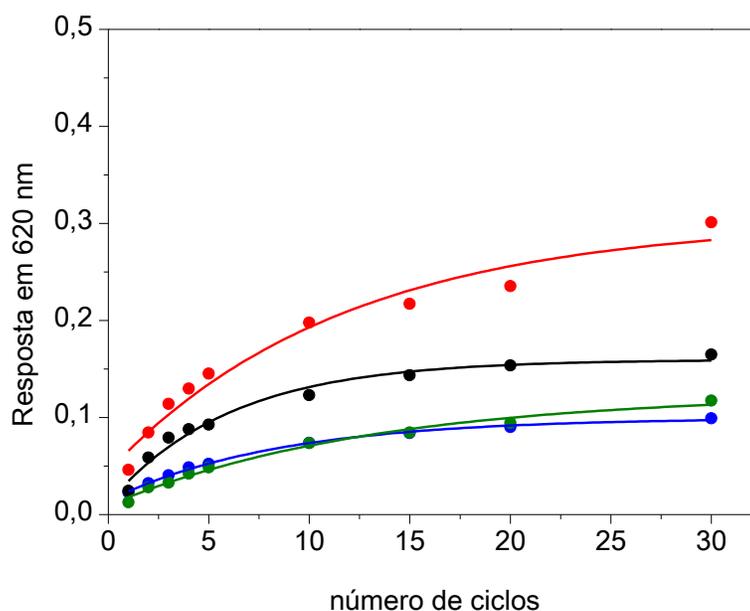


Figura 36: Resposta em 620 nm dos ciclos acumulados para as soluções de lavagem do cabelo Caucasiano loiro padrão tingido com (■) água, (■) coco glucosídeo, (■) coco sulfato de sódio e (■) cocoil sarcosinato de sódio.

Na Tabela 9, têm-se os valores médios dos trinta ciclos acumulados para os cabelos loiro e castanho. Vê-se que os valores de resposta para as soluções provenientes do cabelo castanho são maiores que para as soluções de cabelo loiro, o que indica que mais corante é extraído. Tal observação é coerente com o fato de Da^* e Db^* serem maiores para o cabelo castanho que para o cabelo loiro, pois se trata da variação nos parâmetros reais de cor das mechas. Isto pode ser atribuído ao processo de descoloração realizado no cabelo castanho que danifica a estrutura do fio, o que facilita tanto a entrada quanto a saída do pigmento.

Tabela 9: Valores médios das respostas das soluções de lavagem dos trinta ciclos acumulados para o cabelo castanho (descolorido) e loiro tingidos, em 450 e 620 nm.

Comprimento de onda (nm)	Cabelo tingido	Água	CSS	CSaS	CG
450	Castanho	$0,27 \pm 0,01$	$0,7 \pm 0,1$	$0,55 \pm 0,06$	$0,27 \pm 0,01$
	Loiro	$0,21 \pm 0,01$	$0,5 \pm 0,2$	$0,34 \pm 0,02$	$0,25 \pm 0,01$
620	Castanho	$0,17 \pm 0,05$	$0,4 \pm 0,1$	$0,27 \pm 0,03$	$0,14 \pm 0,01$
	Loiro	$0,01 \pm 0,01$	$0,30 \pm 0,02$	$0,17 \pm 0,01$	$0,12 \pm 0,01$

5. Discussão

Por que a lavagem remove os pigmentos do cabelo tingido?

O processo de lavagem danifica a estrutura do cabelo e os principais danos causados são: cavidades na endocutícula, descolamento e perda das células e formação de trincas nas cutículas.⁵ A formação destes danos estruturais está relacionada à saída de substâncias do cabelo, principalmente lipídeos e proteínas. Durante a lavagem, os fatores que influenciam são: fricção, tensoativo e temperatura da água. O uso de lauril sulfato de sódio, por exemplo, promove uma perda protéica duas vezes maior que a água, e quanto maior a temperatura da água, maior a perda protéica. Além disso, a fricção é mais responsável pela perda protéica que a ação do xampu e da água.³⁶

Desta forma, o surgimento de danos estruturais facilita a entrada de produtos químicos e, da mesma maneira, permite a saída de substâncias do cabelo. No caso de cabelos tingidos, portanto, os pigmentos saem do interior da fibra por meio destes danos causados à fibra e, como esperado, há alteração na cor do cabelo.

Por que os aniônicos removem mais corantes que o não iônico?

Conforme dito anteriormente, os tensoativos influenciam na formação de danos durante o processo de lavagem, portanto devem-se conhecer as propriedades físico-químicas dos mesmos para se entender os fenômenos ocorridos.

O grau de detergência de um tensoativo é determinado pelo balanço hidrofílico-lipofílico (HLB). Quanto maior este valor, maior é o caráter polar e maior é o poder de remover substâncias do interior da fibra. Abaixo estão os valores de HLB dos tensoativos utilizados:

- Coco glucosídeo: 12 – 14 ³¹
- Ccoil sarcosinato de sódio: 30 (lauroil sarcosinato de sódio)³⁷
- Coco sulfato de sódio: 36 ³⁸

A ordem dos valores de HLB dos tensoativos concorda com os espectros do UV-Vis, isto é, quanto maior o HLB, mais corante é extraído do cabelo.

Por que o cabelo castanho libera mais corante que o loiro?

A fim de se reproduzir o que ocorre no cotidiano, o cabelo castanho foi descolorido e depois tingido, ao passo que o loiro foi apenas tingido.

A descoloração química é um processo muito agressivo ao cabelo, pois para atingir os grânulos de melanina, o agente oxidante deve chegar ao córtex que é a região interna do fio. Devido a isto, há uma alteração nas propriedades mecânicas do fio e, certamente, em sua coloração.^{11,12,39} A formação de danos na estrutura da fibra, permite que o pigmento saia com maior facilidade de seu interior e seja arrastado pelo tensoativo e água durante a lavagem. Por isso, o cabelo descolorido desbota mais rapidamente comparado ao que foi apenas tingido.

Por que não aparece diferença entre o efeito dos tensoativos no cabelo natural, mas sim no tingido?

O cabelo tingido, sendo previamente oxidado quimicamente ou não, já foi danificado pela tintura, devido ao seu poder oxidante. O precursor do corante, ao penetrar na fibra, abre “caminhos” em sua estrutura, assim, durante o processo de lavagem o tensoativo tem mais facilidade para entrar no fio e arrastar o corante. Por outro lado, o cabelo natural não foi tão danificado, e devido a isto o tensoativo encontra uma maior dificuldade para penetrar no fio e remover as substâncias de seu interior. Além disso, no caso de cabelos naturais a cor é promovida por grânulos de melanina localizados principalmente no córtex, portanto a dificuldade em removê-los durante a lavagem é maior comparada aos pigmentos. Portanto, é mais fácil observar diferença de cor em cabelos tingidos que em cabelos naturais.

6. Conclusões

Tanto os cabelos sem tingir quanto os tingidos apresentaram alterações graduais na cor com os tratamentos.

A cor dos cabelos tingidos mudou mais que a dos naturais, e a cor dos cabelos oxidados e tingidos mudou mais que a dos cabelos tingidos sem oxidação prévia.

A coloração dos cabelos naturais se alterou após os ciclos de tratamento, como esperado, mas não houve diferença significativa entre os tensoativos.

As diferenças de cor tiveram a mesma tendência tanto para o cabelo castanho descolorido e tingido e loiro tingido: aumento de L^* , a^* e b^* . O cabelo loiro tingido mostrou uma variação menor em seus parâmetros de cor. Por outro lado, o cabelo castanho apresentou uma diferença maior de cor e isto foi atribuído à descoloração que danifica a estrutura do fio, permitindo que o pigmento saia com maior facilidade durante a lavagem.

A espectrofotometria no UV-Vis das soluções de lavagem dos cabelos naturais mostrou que seus espectros correspondem ao da melanina. E no caso dos cabelos tingidos, verificou-se que os espectros das suas soluções de lavagem apresentam o mesmo perfil que as soluções de tintura, comprovando que o pigmento é removido durante a lavagem. Tanto para o cabelo castanho oxidado e tingido quanto para o cabelo loiro tingido, a ordem de extração do pigmento é: coco sulfato de sódio > cocoil sarcosinato de sódio > coco glucosídeo, concordando com o respectivo índice HLB.

Portanto, seria mais conveniente lavar os cabelos tingidos com tensoativos não-iônicos. Porém, esta classe de tensoativo possui um menor poder de detergência. Assim, seria interessante diminuir o teor de tensoativos aniônicos e aumentar o de não-iônicos nas formulações de xampu a fim de se manter o poder de limpeza e minimizar, na medida do possível, a remoção de pigmentos.

7. Referências

- ¹Robbins, C.R.; “Chemical and Physical Behavior of Human Hair”, 5th ed., New York: Springer-Verlag, 2012.
- ²Dobb, M.G.; Johnston, J.A.; Nott, J.A.; Oster, L.; Sikorski, J.; Simpson, W.S.; “Morphology of the cuticle layer in wool fibres and other animal hairs”, *Journal of the Textile Institute*, **52 (4)**, T153-160, 1961 *apud* Bradbury, J.H.; “The Structure and Chemistry of Keratin Fibers”. In: *Advances in Protein Chemistry*, **27**, 111–211, 1973.
- ³Wolfram, L.J.; “Human hair: A unique physicochemical composite”, *Journal of the American Academy of Dermatology*, **48 (6)**, S106-S114, 2003.
- ⁴Jones, L. N.; “Hair structure anatomy and comparative anatomy”, *Clinics in Dermatology*, **19**, 95-103, 2001.
- ⁵Scanavez, C.; “Alterações na ultra-estrutura do cabelo induzidas por cuidados diários e seus efeitos nas propriedades de cor”, Tese de Doutorado, Instituto de Química, Unicamp, 2001.
- ⁶Popescu, C.; Höcker, H.; “Hair – the most sophisticated biological composite material”, *Chemical Society Reviews*, **36**, 1282-1291, 2007.
- ⁷ Naito, S.; Arai, K.; “Type and location of SS linkages on human hair and their relation to fiber properties in water”, *Journal of Applied Polymer Science*, **61**, 2113-2118, 1996.
- ⁸Masukawa, Y.; Narita, H.; Imokawa, G.; “Characterization of the lipid composition at the proximal root regions of human hair”, *Journal of Cosmetic Science*, **56**, 1-16, 2005.
- ⁹ Ito, S.; Wakamatsu, K.; “Chemistry of mixed melanogenesis – pivotal roles of dopaquinone”, *Photochemistry and Photobiology*, **84**, 582-592, 2008.
- ¹⁰ Birbeck, M.S.C.; Mercer, H.; Barnicot, N. A.; “The structure and formation of pigment granules in human hair”, *Experimental Cell Research*, **10**, 505-514, 1956.
- ¹¹Littrell, K.C.; Gallas, J.M.; Zajac, G.W.; Thiyagarajan, P.; “Structural studies of bleached melanin by Synchrotron Small-angle X-ray Scattering”, *Photochemistry and Photobiology*, **77 (2)**, 115-120, 2003.
- ¹²Wolfram, L.J.; Hall, K.; Hui, I.; “The mechanism of hair bleaching”, *Journal of the Society of Cosmetic Chemists*, **21**, 875-900, 1970.
- ¹³Zahn, H.; Hilterhaus, S.; Strüssmann, A.; “Bleaching and permanent waving aspects of hair research”, *Journal of the Society of Cosmetic Chemists*, **37**, 159-175, 1986.
- ¹⁴ Bolduc, C.; Shapiro, J.; “Hair care products: waving, straightening, conditioning and coloring”, *Clinics in Dermatology*, **19**, 431-436, 2001.
- ¹⁵Morel, O.J.X.; Christie, R.M.; “Current trends in chemistry of permanent hair dyeing”, *Chemical Reviews*, **111**, 2537-2561, 2011.

-
- ¹⁶Kojima, T.; Yamada, H.; Yamamoto, T.; Matsushita, Y.; Fukushima, K.; "Dyeing regions of oxidative hair dyes in human hair investigated by nanoscale secondary ion mass spectrometry", *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, **106**, 140-144, 2013.
- ¹⁷Brady, P.R.; "Diffusion of dyes in natural hair fibres", *Review of Progress in Coloration and Related Topics*, **22**, 58-78, 1992.
- ¹⁸Kelch, A.; Wessel, S.; Will, T.; Hintze, U.; Wepf, R.; Wiesendanger, R.; "Penetration pathways of fluorescent dyes in human hair fibres investigated by scanning near-field optical microscopy", *Journal of Microscopy*, **200**, 179-186, 2000.
- ¹⁹Cahn, A.; Lai, K-Y; "Liquid Detergents: An Overview" in Lai, K-Y Ed(s), "Liquid Detergents", 2nd ed., Boca Raton: CRC Press, 2006.
- ²⁰World Health Organization; "Ultraviolet Radiation", Environmental Health Criteria 160, 1994.
- ²¹Nogueira, A.C.S.; "Efeito da radiação ultravioleta na cor, na perda protéica e nas propriedades mecânicas do cabelo". Dissertação de Mestrado, Instituto de Química, Unicamp, 2003.
- ²²Yoshizumi, K.; Crews, P.C.; "Characteristics of fading of wool cloth dyed with selected natural dyestuffs on the basis of solar radiant energy", *Dyes and Pigments*, **58**, 197-204, 2003.
- ²³Batchelor, S.N.; Carr, D.; Coleman, C.E.; Fairclough, L.; Jarvis, A.; "The photofading mechanism of commercial reactive dyes on cotton", *Dyes and Pigments*, **59**, 269-275, 2003.
- ²⁴Treigiene, R.; Musnickas, J.R.; "Influence of UV exposure on properties of wool fiber pretreated with surfactants solutions", *Materials Science*, **14** (1), 75-78, 2008.
- ²⁵Nogueira, A.C.S.; Joekes, I.; "Hair color changes and protein damage caused by ultraviolet radiation", *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, **74**, 109-117, 2004.
- ²⁶Takahashi, T.; Nakamura, K.; "A study of the photolightening mechanism of red hair with visible and ultraviolet light: Comparison with blond hair", *Journal of Cosmetic Science*, **56**, 47-56, 2005.
- ²⁷Hoting, E.; Zimmermann, M.; "Sunlight-induced modifications in bleached, permed, or dyed hair", *Journal of the Society of Cosmetic Chemists*, **48**, 79-91, 1997.
- ²⁸Motz-Schalck, L.; Lemaire, J.; "Photochemical and thermal modifications of permanent hair dyes", *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, **147**, 225-231, 2002.
- ²⁹Locke, B.; Jachowicz, J.; "Fading of artificial hair color and its prevention by photofilters", *Journal of Cosmetic Science*, **56**, 407-425, 2005.
- ³⁰Zdziennicka, A.; Szymczyk, K.; Krawczyk, J.; Jan'czuk, B.; Critical Micelle Concentration and Thermodynamic Parameters of Their Micellization, *Fluid Phase Equilibria*, **322-323**, 126-134, 2012.
- ³¹Technical Data Sheet EcoSense™ 919 Surfactant, The Dow Chemical Company.
- ³²Ruso, J. M.; Deo, N.; Somasundaran, P.; "Complexation between dodecyl sulfate surfactant and zein protein in solution", *Langmuir*, **20**, 8988-8991, 2004.

³³Moore, P. N.; Puvvada, S.; Blankschtein, D.; "Role of the surfactant polar head structure in protein-surfactant complexation: zein protein solubilization by SDS and by SDS/C₁₂E_n surfactant solutions" *Langmuir*, **19**, 1009-1016, 2003.

³⁴Tran, M.L.; Powell, J.; Meredith, P.; "Chemical and structural disorders in eumelanins: a possible explanation for broadband absorbance", *Biophysical Journal*, **90**, 743-752, 2006.

³⁵Ozeki, H.; Ito, S.; Wakamatsu, K.; Thody, A.J.; "Spectrophotometric characterization of eumelanin and pheomelanin in hair", *Pigment Cell Research*, **9**, 265-270, 1996.

³⁶Wagner, R. C. C.; "Degradação do cabelo decorrente do tratamento contínuo com lauril sulfato de sódio e silicone", Dissertação de Mestrado, Instituto de Química, Unicamp, 2003.

³⁷Ash, M.; Ash, I.; "Handbook of Preservatives", Synapse Information Resources, Inc., 2004.

³⁸Broze, G.; "Handbook of Detergents, Part A: Properties" CRC Press, 1999.

³⁹Nakano, A. K.; "Comparação de danos induzidos em cabelos de três etnias por diferentes tratamentos", Dissertação de Mestrado, Instituto de Química, Unicamp, 2006.

8. Anexos

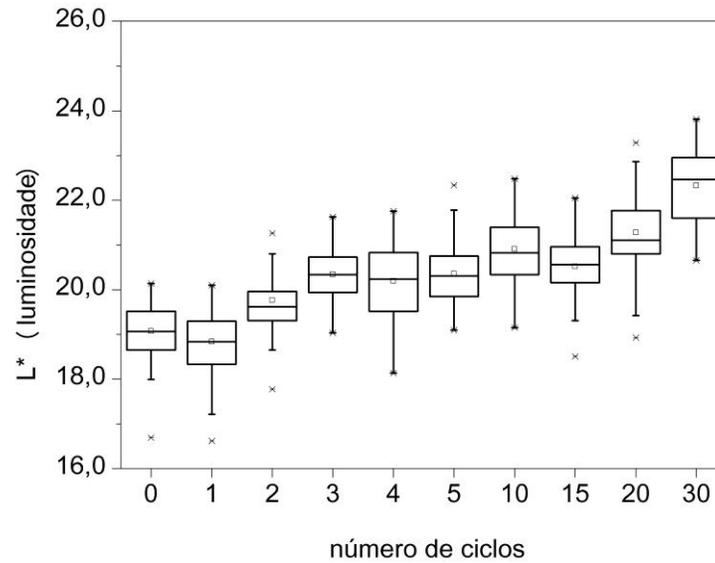


Figura 37: Luminosidade (L^*) em função do número de ciclos de tratamento com água para as mechas de cabelo Caucasiano loiro padrão tingidas de castanho. Ensaio realizado em triplicata de mecha, com vinte medidas para cada uma. Todos os valores foram agrupados em uma única caixa. UR ca. 50 %.

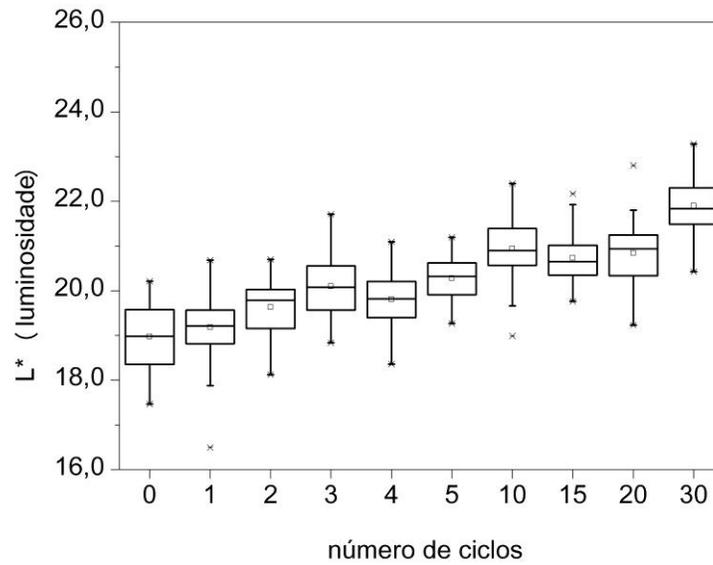


Figura 38: Luminosidade (L^*) em função do número de ciclos de tratamento com CSS para as mechas de cabelo Caucasiano loiro padrão tingidas de castanho. Ensaio realizado em triplicata de mecha, com vinte medidas para cada uma. Todos os valores foram agrupados em uma única caixa. UR ca. 50 %.

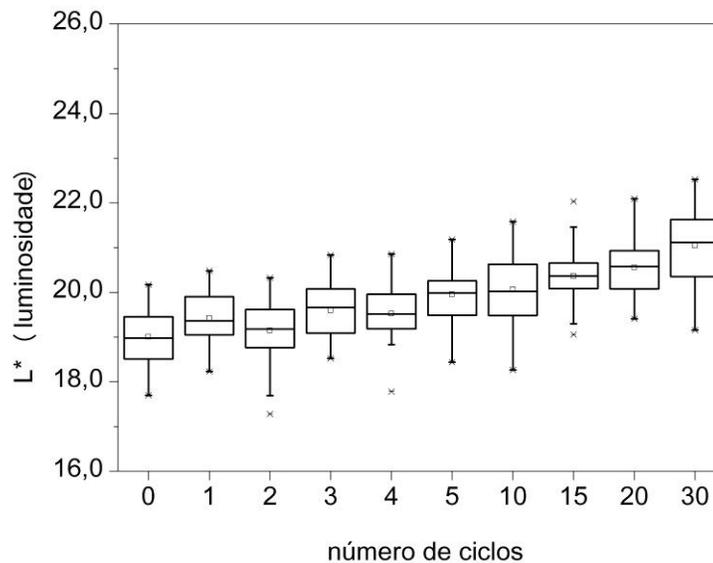


Figura 39: Luminosidade (L^*) em função do número de ciclos de tratamento com CSaS para as mechas de cabelo Caucasiano loiro padrão tingidas de castanho. Ensaio realizado em triplicata de mecha, com vinte medidas para cada uma. Todos os valores foram agrupados em uma única caixa. UR ca. 50 %.

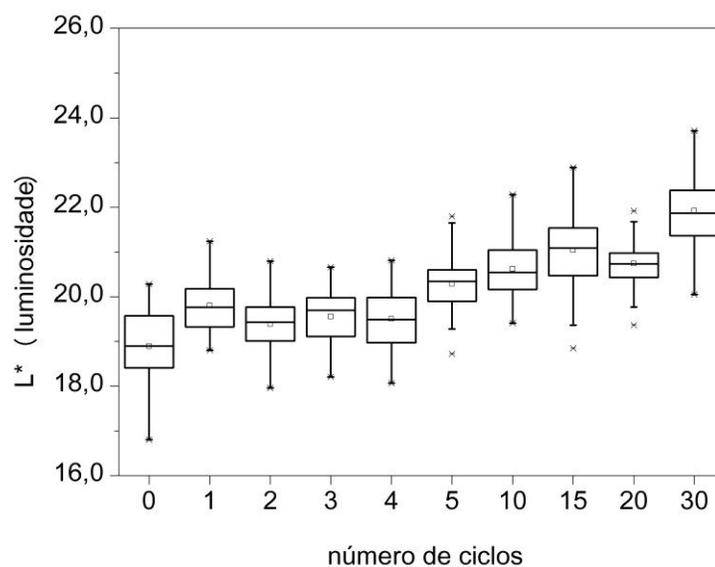


Figura 40: Luminosidade (L^*) em função do numero de ciclos de tratamento com CSaS para as mechas de cabelo Caucasiano loiro padrão tingidas de castanho. Ensaio realizado em triplicata de mecha, com vinte medidas para cada uma. Todos os valores foram agrupados em uma única caixa. UR ca. 50 %.

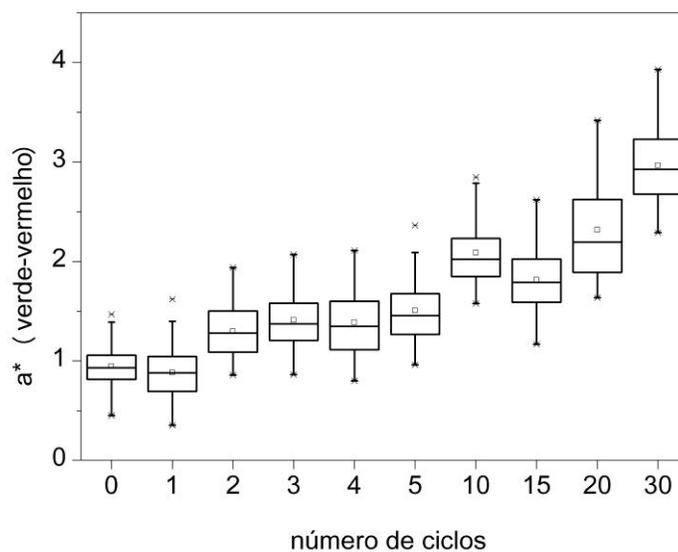


Figura 41: Parâmetro verde-vermelho (a^*) em função do numero de ciclos de tratamento com água para as mechas de cabelo Caucasiano loiro padrão tingidas de castanho. Ensaio realizado em triplicata de mecha, com vinte medidas para cada uma. Todos os valores foram agrupados em uma única caixa. UR ca. 50 %.

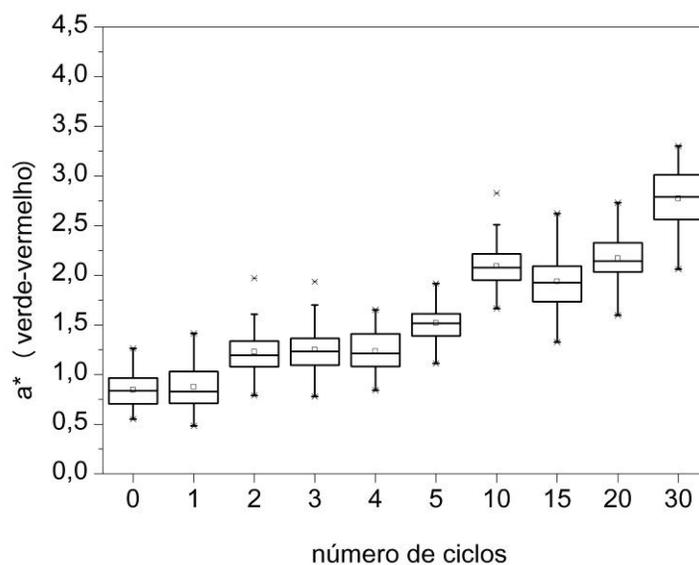


Figura 42: Parâmetro verde-vermelho (a^*) em função do número de ciclos de tratamento com CSS para as mechas de cabelo Caucasiano loiro padrão tingidas de castanho. Ensaio realizado em triplicata de mecha, com vinte medidas para cada uma. Todos os valores foram agrupados em uma única caixa. UR ca. 50 %.

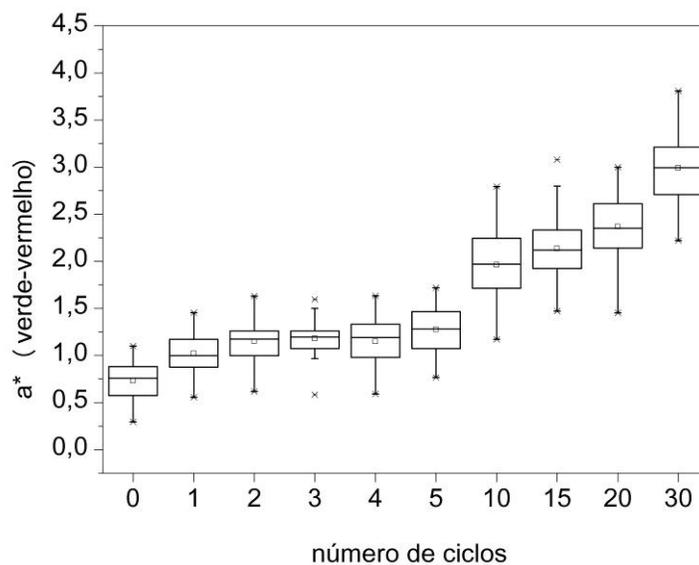


Figura 43: Parâmetro verde-vermelho (a^*) em função do número de ciclos de tratamento com CSaS para as mechas de cabelo Caucasiano loiro padrão tingidas de castanho. Ensaio realizado em triplicata de mecha, com vinte medidas para cada uma. Todos os valores foram agrupados em uma única caixa. UR ca. 50 %.

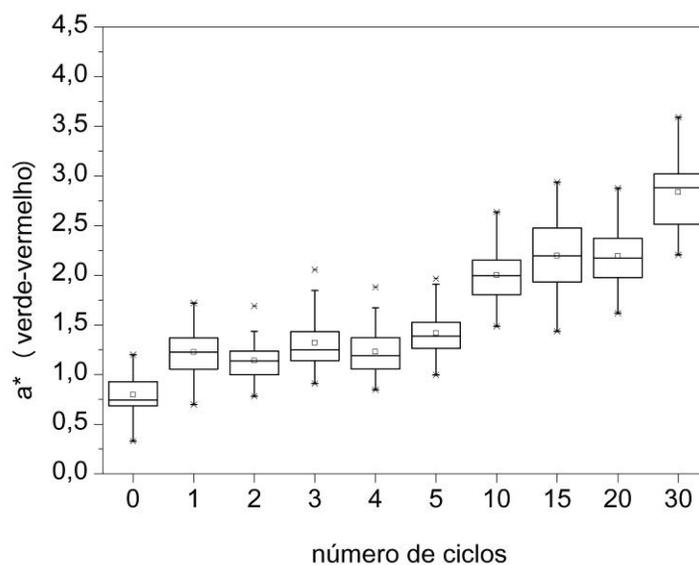


Figura 44: Parâmetro verde-vermelho (a^*) em função do número de ciclos de tratamento com CG para as mechas de cabelo Caucasiano loiro padrão tingidas de castanho. Ensaios realizados em triplicata de mecha, com vinte medidas para cada uma. Todos os valores foram agrupados em uma única caixa. UR ca. 50 %.

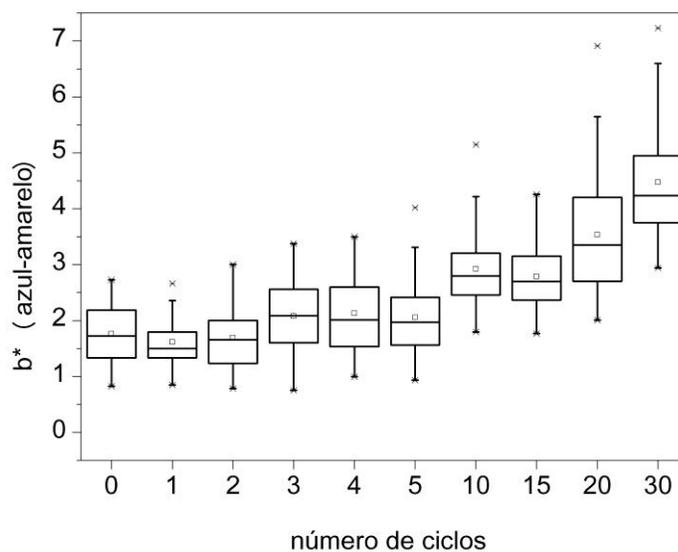


Figura 45: Parâmetro azul-amarelo (b^*) em função do número de ciclos de tratamento com água para as mechas de cabelo Caucasiano loiro padrão tingidas de castanho. Ensaios realizados em triplicata de mecha, com vinte medidas para cada uma. Todos os valores foram agrupados em uma única caixa. UR ca. 50 %.

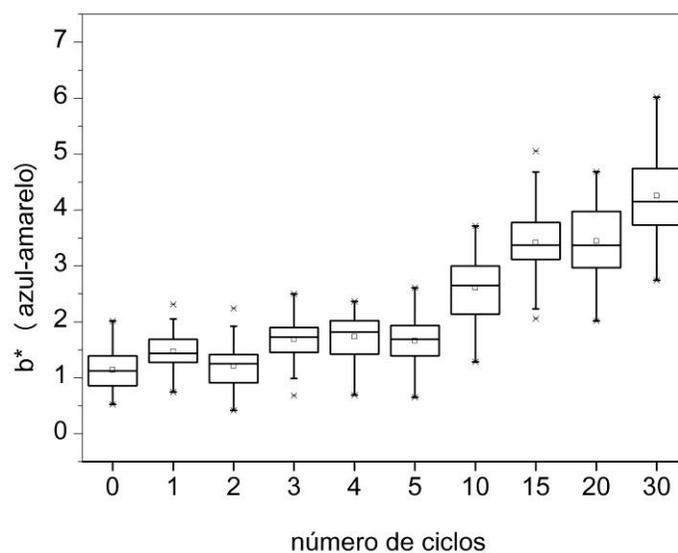


Figura 46: Parâmetro azul-amarelo (b^*) em função do numero de ciclos de tratamento com CSS para as mechas de cabelo Caucasiano loiro padrão tingidas de castanho. Ensaio realizado em triplicata de mecha, com vinte medidas para cada uma. Todos os valores foram agrupados em uma única caixa. UR ca. 50 %.

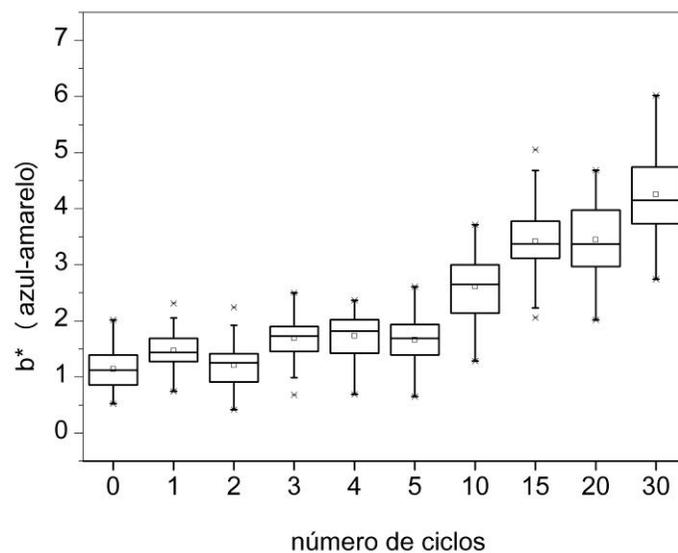


Figura 47: Parâmetro azul-amarelo (b^*) em função do numero de ciclos de tratamento com CSS para as mechas de cabelo Caucasiano loiro padrão tingidas de castanho. Ensaio realizado em triplicata de mecha, com vinte medidas para cada uma. Todos os valores foram agrupados em uma única caixa. UR ca. 50 %.

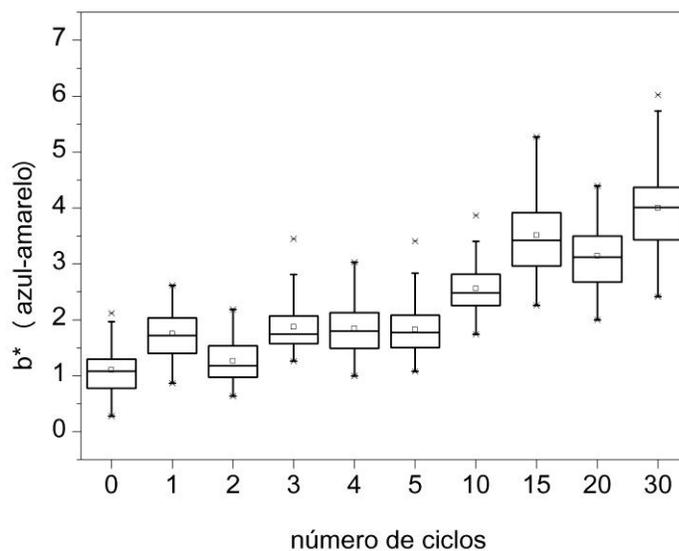


Figura 48: Parâmetro azul-amarelo (b^*) em função do número de ciclos de tratamento com CSS para as mechas de cabelo Caucásiano loiro padrão tingidas de castanho. Ensaio realizado em triplicata de mecha, com vinte medidas para cada uma. Todos os valores foram agrupados em uma única caixa. UR ca. 50 %.

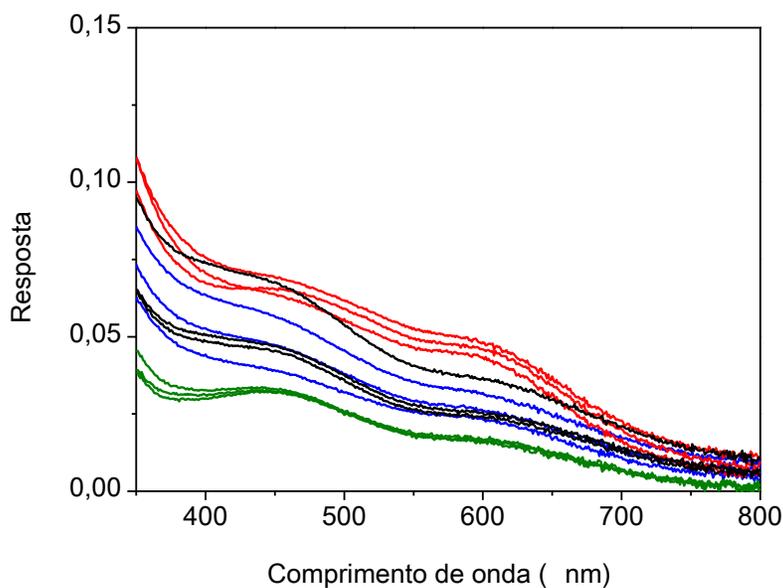


Figura 49: Espectro de resposta no UV-Vis das soluções de lavagem do segundo ciclo para o cabelo Caucásiano castanho padrão (descolorido e tingido de castanho), com (■) água, (■) coco glucosídeo, (■) coco sulfato de sódio e (■) cocoil sarcosinato de sódio.

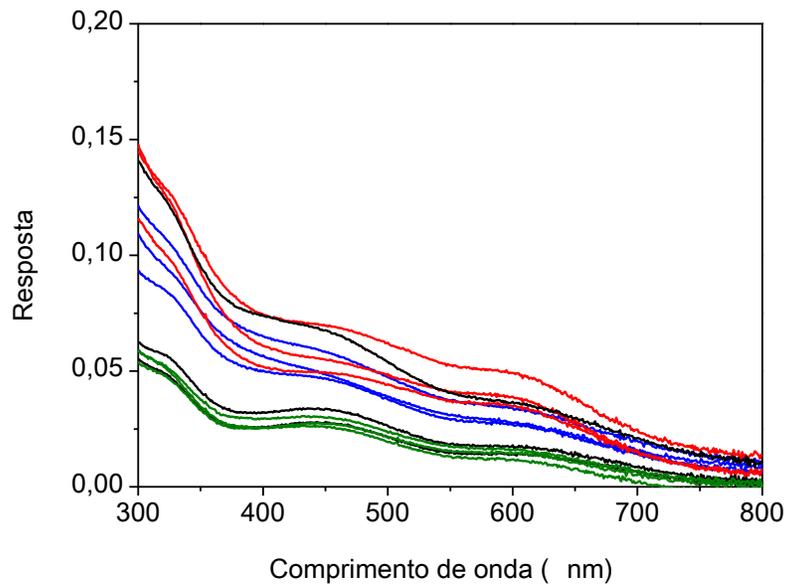


Figura 50: Espectro de resposta no UV-Vis das soluções de lavagem do terceiro ciclo para o cabelo Caucasiano castanho padrão (descolorido e tingido de castanho), com (■) água, (■) coco glucosídeo, (■) coco sulfato de sódio e (■) cocoil sarcosinato de sódio.

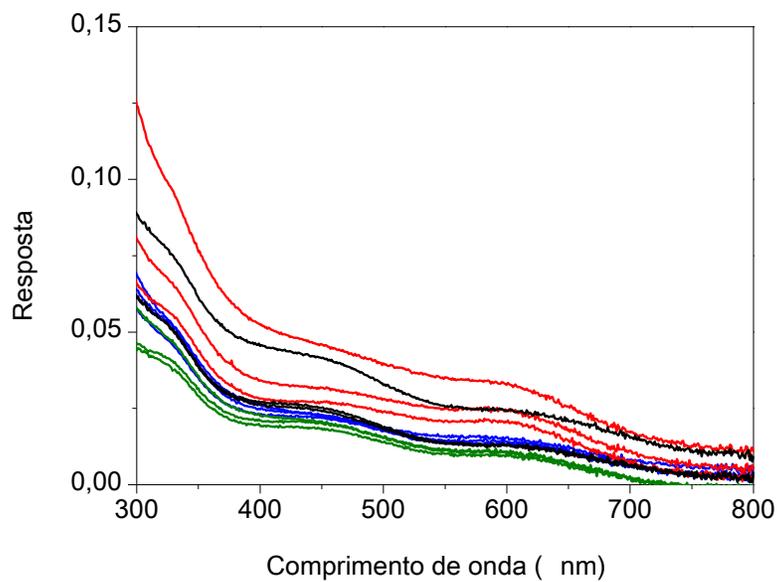


Figura 51: Espectro de resposta no UV-Vis das soluções de lavagem do quarto ciclo para o cabelo Caucasiano castanho padrão (descolorido e tingido de castanho), com (■) água, (■) coco glucosídeo, (■) coco sulfato de sódio e (■) cocoil sarcosinato de sódio.

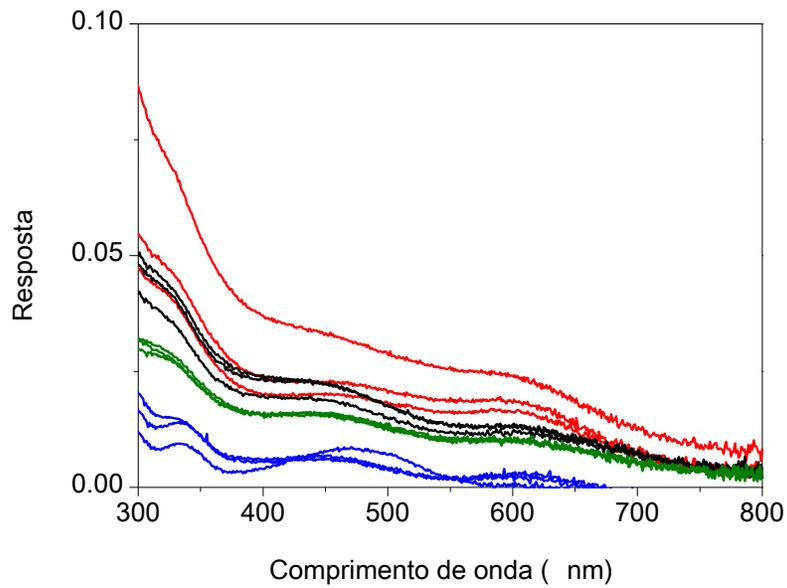


Figura 52: Espectro de resposta no UV-Vis das soluções de lavagem do quinto ciclo para o cabelo Caucasiano castanho padrão (descolorido e tingido de castanho), com (■) água, (■) coco glucosídeo, (■) coco sulfato de sódio e (■) cocoil sarcosinato de sódio.

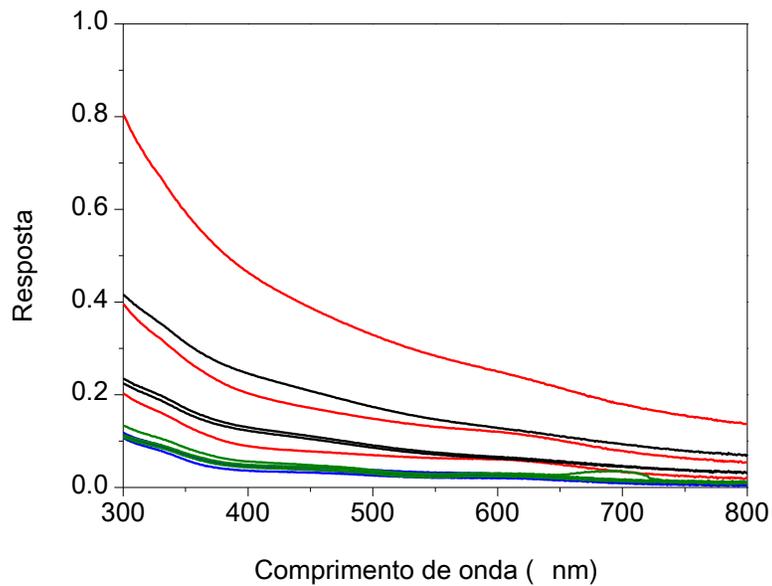


Figura 53: Espectro de resposta no UV-Vis das soluções de lavagem acumuladas do ciclo 6 ao 10 para o cabelo Caucasiano castanho padrão (descolorido e tingido de castanho), com (■) água, (■) coco glucosídeo, (■) coco sulfato de sódio e (■) cocoil sarcosinato de sódio.

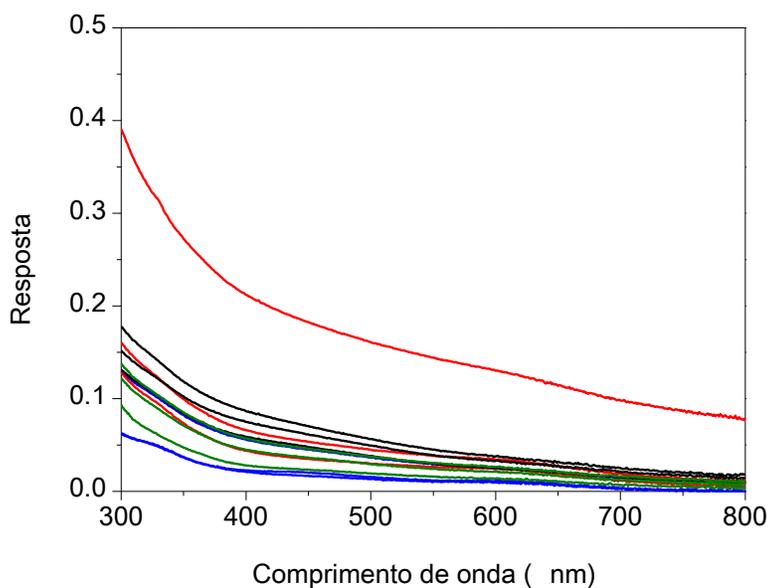


Figura 54: Espectro de resposta no UV-Vis das soluções de lavagem acumuladas do ciclo 11 ao 15 para o cabelo Caucasiano castanho padrão (descolorido e tingido de castanho), com (■) água, (■) coco glucosídeo, (■) coco sulfato de sódio e (■) cocoil sarcosinato de sódio.

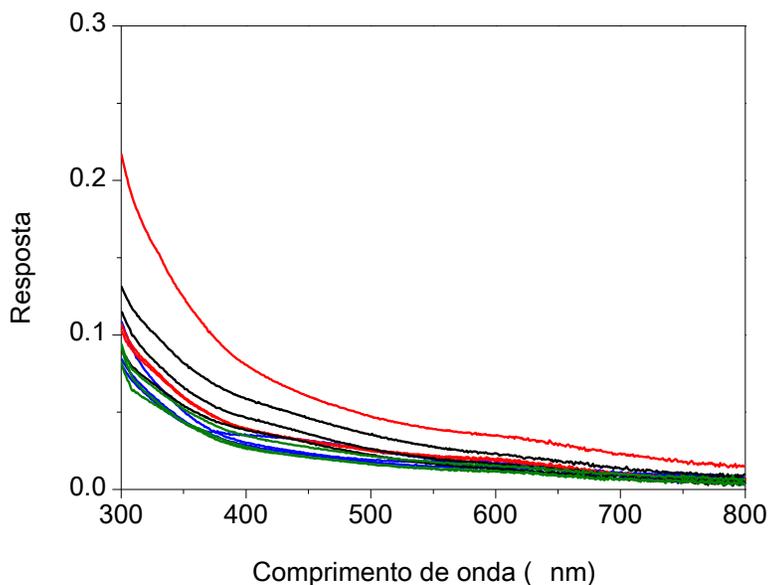


Figura 55: Espectro de resposta no UV-Vis das soluções de lavagem acumuladas do ciclo 16 ao 20 para o cabelo Caucasiano castanho padrão (descolorido e tingido de castanho), com (■) água, (■) coco glucosídeo, (■) coco sulfato de sódio e (■) cocoil sarcosinato de sódio.

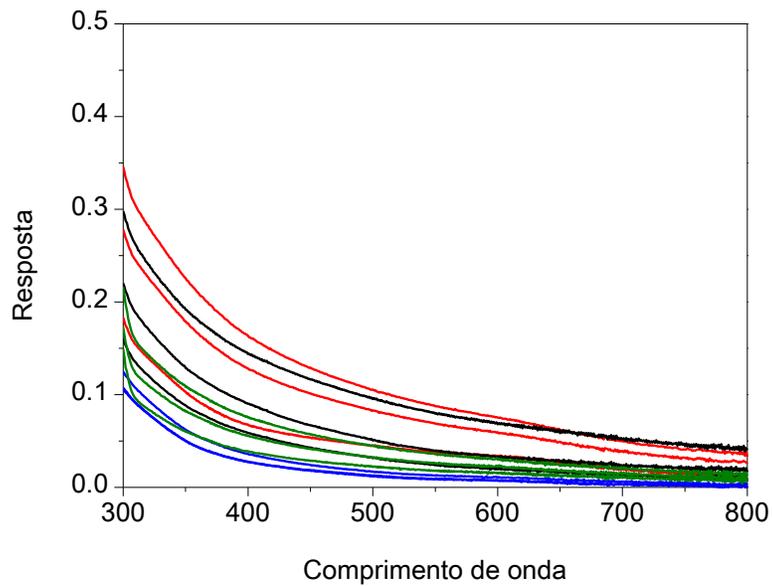


Figura 56: Espectro de resposta no UV-Vis das soluções de lavagem acumuladas do ciclo 21 ao 30 para o cabelo Caucasiano castanho padrão (descolorido e tingido de castanho), com (■) água, (■) coco glucosídeo, (■) coco sulfato de sódio e (■) cocoil sarcosinato de sódio.

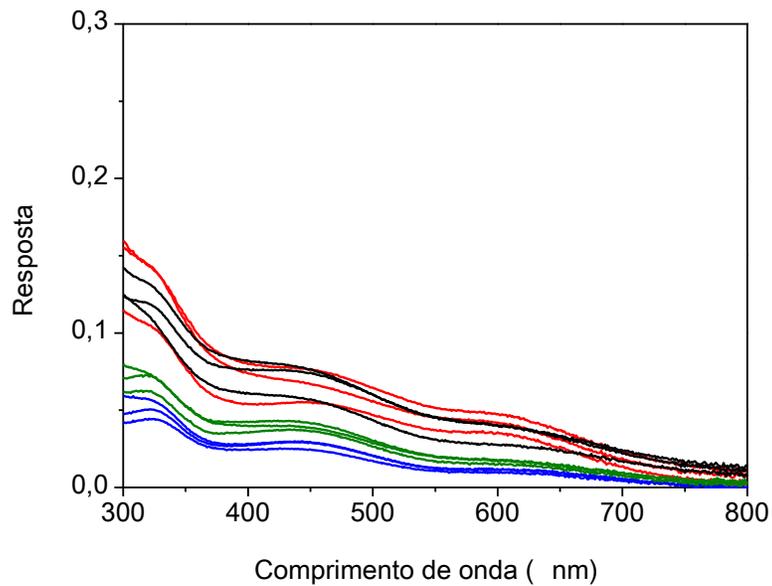


Figura 57: Espectro de resposta no UV-Vis das soluções de lavagem do segundo ciclo para o cabelo Caucasiano loiro padrão tingido de castanho, com (■) água, (■) coco glucosídeo, (■) coco sulfato de sódio e (■) cocoil sarcosinato de sódio.

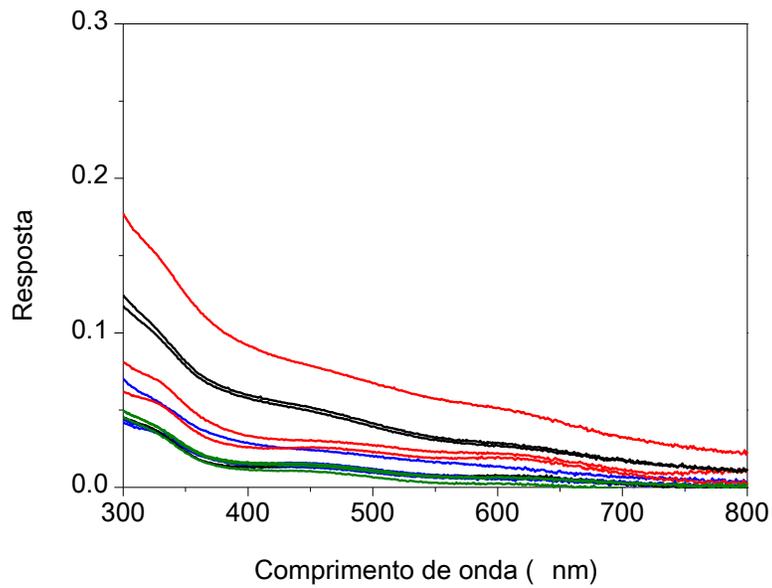


Figura 58: Espectro de resposta no UV-Vis das soluções de lavagem do terceiro ciclo para o cabelo Caucasiano loiro padrão tingido de castanho, com (■) água, (■) coco glucosídeo, (■) coco sulfato de sódio e (■) cocoil sarcosinato de sódio.

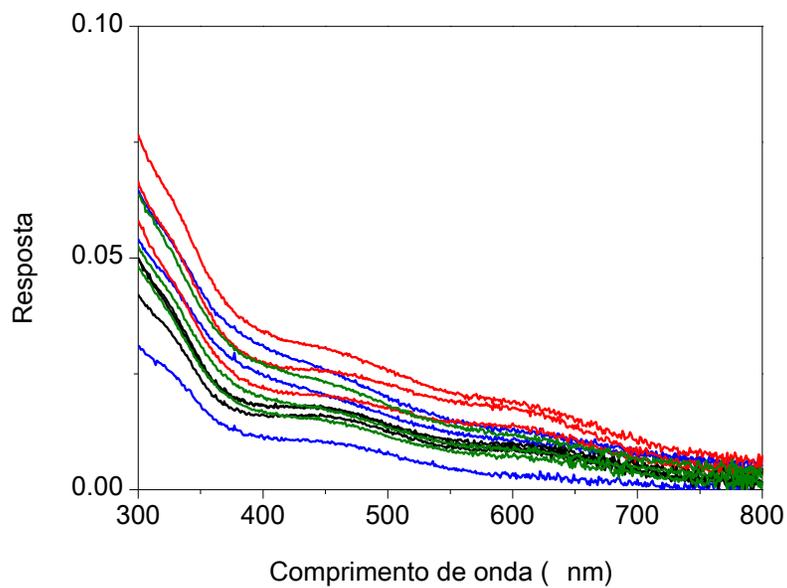


Figura 59: Espectro de resposta no UV-Vis das soluções de lavagem do quarto ciclo para o cabelo Caucasiano loiro padrão tingido de castanho, com (■) água, (■) coco glucosídeo, (■) coco sulfato de sódio e (■) cocoil sarcosinato de sódio.

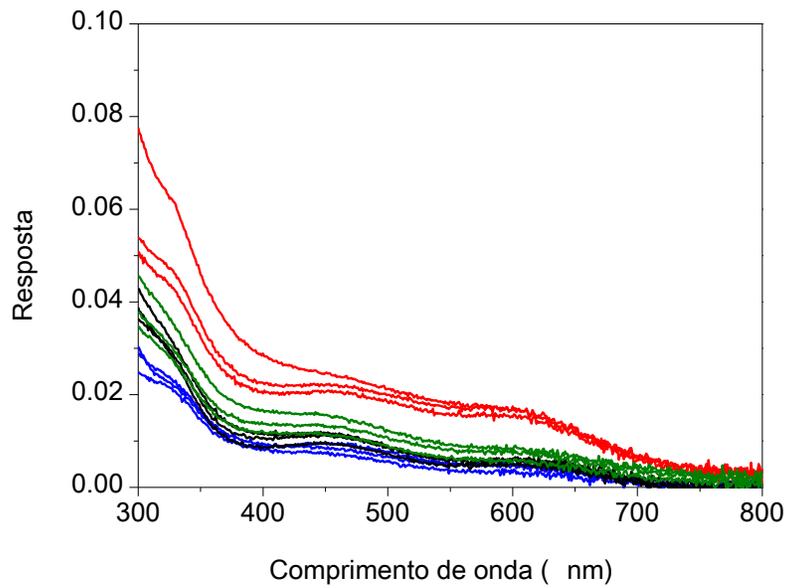


Figura 60: Espectro de resposta no UV-Vis das soluções de lavagem do quinto ciclo para o cabelo Caucasiano loiro padrão tingido de castanho, com (■) água, (■) coco glucosídeo, (■) coco sulfato de sódio e (■) cocoil sarcosinato de sódio.

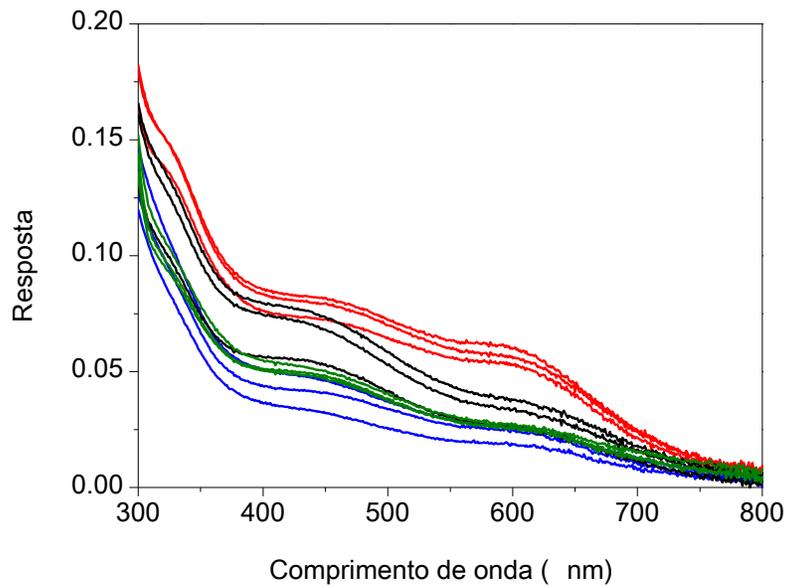


Figura 61: Espectro de resposta no UV-Vis das soluções de lavagem acumuladas do ciclo 6 ao 10 para o cabelo Caucasiano loiro padrão tingido de castanho, com (■) água, (■) coco glucosídeo, (■) coco sulfato de sódio e (■) cocoil sarcosinato de sódio.

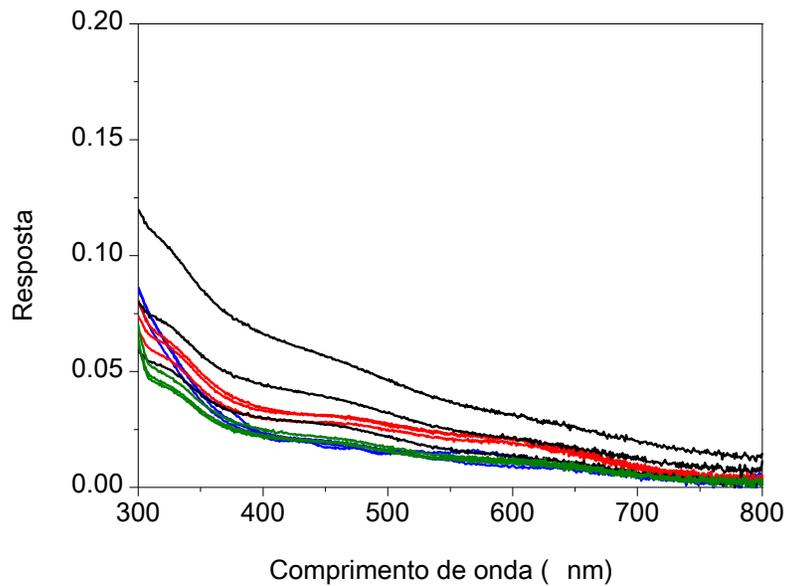


Figura 62: Espectro de resposta no UV-Vis das soluções de lavagem acumuladas do ciclo 11 ao 15 para o cabelo Caucasiano loiro padrão tingido de castanho, com (■) água, (■) coco glucosídeo, (■) coco sulfato de sódio e (■) cocoil sarcosinato de sódio.

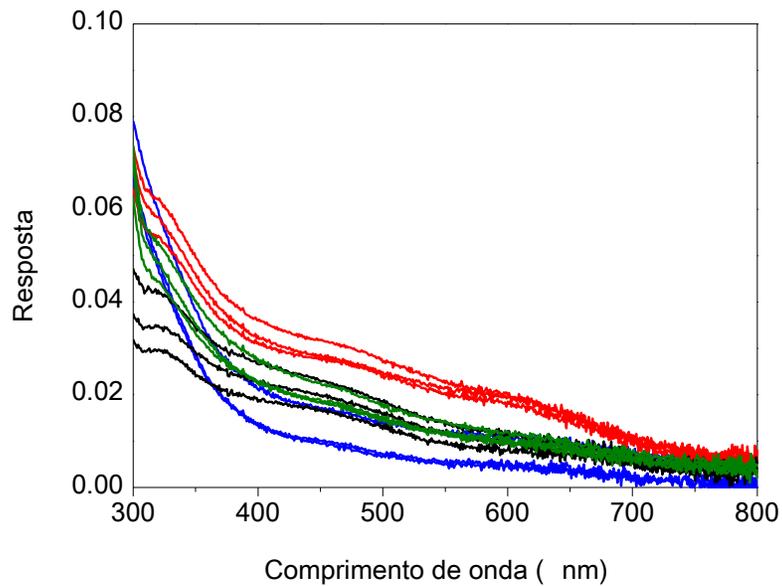


Figura 63: Espectro de resposta no UV-Vis das soluções de lavagem acumuladas do ciclo 16 ao 20 para o cabelo Caucasiano loiro padrão tingido de castanho, com (■) água, (■) coco glucosídeo, (■) coco sulfato de sódio e (■) cocoil sarcosinato de sódio.

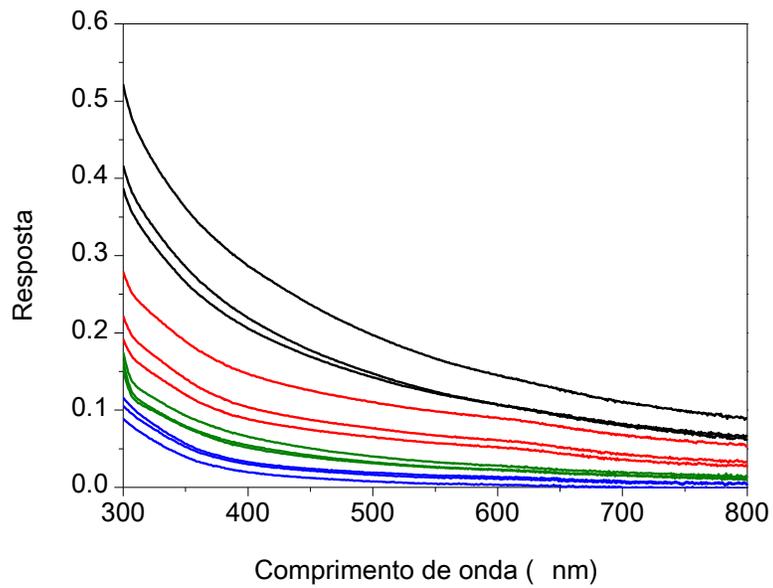


Figura 64: Espectro de resposta no UV-Vis das soluções de lavagem acumuladas do ciclo 21 ao 30 para o cabelo Caucasiano loiro padrão tingido de castanho, com (■) água, (■) coco glucosídeo, (■) coco sulfato de sódio e (■) cocoil sarcosinato de sódio.



Figura 65: Vista lateral do sistema de irradiação utilizado.



Figura 66: Vista superior do sistema de irradiação utilizado.