

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ESCOLA DE BELAS ARTES
CURSO DE CONSERVAÇÃO-RESTAURAÇÃO DE BENS CULTURAIS MÓVEIS

Bianca Monteiro Brandão

Estudo da Limpeza de Pinturas em Acrílica com Águas Ajustadas

Belo Horizonte
2024

Bianca Monteiro Brandão

Estudo da Limpeza de Pinturas em Acrílica com Águas Ajustadas

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como parte dos requisitos para obtenção do título de bacharel em Conservação-Restauração de Bens Culturais Móveis, do Curso de Conservação-Restauração de Bens Culturais Móveis da Escola de Belas Artes da Universidade Federal de Minas Gerais.

Orientador: Prof. João Cura D'Ars de Figueiredo Junior,
Dr.

Coorientadora: Prof. Amanda Cristina Alves Cordeiro, Dr.

Belo Horizonte

2024

Ficha de identificação da obra

A ficha de identificação é elaborada pela Biblioteca.

Bianca Monteiro Brandão

Estudo da Limpeza de Pinturas em Acrílica com Águas Ajustadas

O presente trabalho em nível de graduação foi avaliado e aprovado por banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Profa. João Cura D'Ars de Figueiredo Junior, Dr.
Instituição UFMG

Profa. Amanda Cristina Alves Cordeiro, Dr.(a)
Instituição UFMG

Profa. Maria Alice Honório Sanna Castelo Branco, Dra.
Instituição UFMG

Certificamos que esta é a **versão original e final** do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de bacharel em Conservação-Restauração de Bens Culturais Móveis.

Coordenação do Curso de Conservação-Restauração de Bens Culturais Móveis
Escola de Belas Artes - UFMG
em outubro de 2024

Belo Horizonte, 2024.

Dedico este trabalho à minha avó, Ignez Monteiro de Jesus, que me ensinou tédio e curiosidade e todas as maravilhosas coisas que surgem dessa união.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus orientadores Prof. Dr. João Cura D'Ars de Figueiredo Junior e Profa. Dra. Amanda Alves Cordeiro pelo direcionamento, paciência, cuidado e influência que modelou o percurso da minha formação.

Aos meus colegas de curso que tornaram essa trajetória mais interessante e agradável.

Aos meus amigos, com quem compartilho o caminho estreito, que me encorajam, apoiam e me prestam auxílio.

Às minhas tias, Elisabeth, Valéria e Gláucia pelo carinho, ajuda, cuidado e incentivo.

À minha mãe, cujo amoroso trabalho invisível viabilizou esse trabalho visível.

À Patrícia e Gabrielle que apoiam, escutam e ajudam como podem todas as minhas ideias não convencionais.

Ao David, que acredita mais em mim do que eu mesma.

E, principalmente, à Deus que sempre me sustentou.

RESUMO

Os principais desafios na limpeza de pinturas acrílicas se devem ao comportamento dos tensoativos, sua possível remoção durante essa intervenção e os efeitos de degradação e alteração visual que isso acarreta. Este trabalho tem como objetivo estudar o uso do sistema das Águas Ajustadas para a limpeza de pinturas acrílicas como uma alternativa que minimize esse risco. Para isso produziram-se protótipos que foram expostos à deposição natural de sujidades, e realizou-se limpeza com diferentes formulações de soluções aquosas com ajuste de pH e da condutividade. Os protótipos foram submetidos a processo de envelhecimento térmico artificial, nova deposição de sujidades e limpeza. Os efeitos das limpezas foram examinados pela análise dos valores de colorimetria e brilho. A solução com ajuste de pH ácido e condutividade hipertônica demonstrou os melhores resultados, evidenciando que há vantagem e maior segurança no uso das Águas Ajustadas em relação à água destilada.

Palavras-chave: Limpeza de pinturas 1. Pinturas Acrílicas 2. Águas Ajustadas 3.

ABSTRACT

The main challenges in cleaning acrylic paintings are due to the behavior of surfactants, their possible removal during this intervention and the degradation and visual alteration effects that this entails. This work aims to study the use of the Adjusted Water system for cleaning acrylic paintings as an alternative that minimizes the risks. For this purpose, prototypes were produced, exposed to natural dirt deposition and cleaned with different formulations of aqueous solutions with pH and conductivity adjustment. The prototypes were subjected to an artificial thermal aging process, new dirt deposition and cleaning. The effects of the cleaning were examined by analyzing the colorimetry and gloss values. The solution with acidic pH adjustment and hypertonic conductivity demonstrated the best results, evidencing that there is an advantage and greater safety in the use of Adjusted Water compared to distilled water.

Keywords: Cleaning paintings 1. Acrylic Paintings 2. Adjusted Water 3.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Protótipos A, B e C.	19
Figuras 3 e 4 – Pontos de medição A e B	20
Figura 5 – Pontos de medição C	20
Figura 6 – Espaço de cor CIELAB.	21
Figuras 7 e 8 – B, A e C no local da deposição de sujidade	23
Figuras 9, 10 e 11 – Swabs após a limpeza de,da dir. à esq. A, B e C	24
Figuras 12, 13 e 14 – Swabs após a segunda limpeza de,da dir. à esq. A, B e C	25

LISTA DE QUADROS

Gráfico 1 - Variação de ΔE na tela A	26
Gráfico 2 - Variação de ΔE na tela A após envelhecimento artificial	27
Gráfico 3 - Variação de ΔE na tela B	27
Gráfico 4 - Variação de ΔE na tela B após envelhecimento artificial	28
Gráfico 5 - Variação de ΔE na tela C	28
Gráfico 6 - Variação de ΔE na tela C após envelhecimento artificial	29
Gráfico 7 - Alteração de Brilho na tela A	30
Gráfico 8 - Alteração de Brilho na tela A após o envelhecimento artificial	30
Gráfico 9 - Alteração de Brilho na tela B	31
Gráfico 10 - Alteração de Brilho na tela B após o envelhecimento artificial	31
Gráfico 11 - Alteração de Brilho na tela C	32
Gráfico 12 - Alteração de Brilho na tela C após o envelhecimento artificial	32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Variação de Brilho nas telas A, B e C	33
Tabela 2 - Medidas de colorimetria A	37
Tabela 3 - Medidas de colorimetria B	38
Tabela 4 - Medidas de colorimetria C	39

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

GU - Unidades de Brilho

SUMÁRIO

RESUMO	7
ABSTRACT	8
LISTA DE FIGURAS	9
LISTA DE QUADROS	9
LISTA DE TABELAS	9
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	10
INTRODUÇÃO	12
I. Limpeza de Pinturas em Acrílica	14
1.1. Limpeza	14
1.2. Tintas Acrílicas	16
1.3. Águas Ajustadas	17
II. METODOLOGIA	19
2.1 Protótipos	19
2.2 Colorimetria e Brilho	21
2.3 Deposição de Sujidades	22
2.4 Limpeza	23
2.5 Envelhecimento Artificial e Segunda Limpeza	24
III. Resultados	26
3.1 Colorimetria	26
3.2 Brilho	29
CONCLUSÃO	34
REFERÊNCIAS	35
APÊNDICE A – MEDIDAS DE COLORIMETRIA	37

INTRODUÇÃO

As tintas acrílicas são tintas sintéticas, compostas por emulsões nas quais os aglutinantes à base de acetato acrílico ou metacrílico ficam dispersos em água por meio do uso de tensoativos. As pinturas acrílicas são frequentemente deixadas sem verniz, devido ao brilho e saturação característicos. Elas são sensíveis a grande parte dos solventes aromáticos, mas se tornam insolúveis em água após a secagem. Esse fato, combinado à baixa toxicidade, fácil acesso e vantagens ecológicas, incentiva o uso de soluções aquosas para a sua limpeza, que costuma ocorrer diretamente sobre a camada pictórica, uma vez que é menos comum apresentarem camadas protetivas. No entanto, os tensoativos apresentam um comportamento de migrarem do interior da tinta para sua superfície durante o seu envelhecimento. Esta presença na superfície aumenta a sensibilidade da tinta à água, criando riscos de remoção de materiais, lixiviação, nos procedimentos de limpeza aquosa, o que pode resultar em degradação da pintura por meio de alterações nas propriedades físicas e visuais da camada pictórica.

Uma forma de evitar ou diminuir esse risco é o uso das Águas Ajustadas, nas quais utiliza-se o ajuste de pH e o controle da condutividade da solução como uma forma de diminuir a penetração e retenção do líquido na camada pictórica e de evitar a dissolução e remoção dos tensoativos.

O sistema de limpeza com Águas Ajustadas consiste em formulações simples, com evidências de bons resultados, como nas pesquisas de Dillon et al. (2014) e Ormsby et al. (2007,2009) de forma que é interessante ao campo da Conservação a ampliação da discussão desse tema e a difusão de seu estudo.

Dessa forma, este trabalho foi realizado com o objetivo de estudar a limpeza de pinturas acrílicas com Águas Ajustadas, por meio da produção de protótipos e exposição deles à deposição natural de sujidades, seguido da limpeza com diferentes formulações de soluções aquosas com ajuste de pH e condutividade.

Além disso, tem o propósito de melhor entender o papel e o comportamento dos tensoativos, cuja concentração na superfície da pintura aumenta ao longo do envelhecimento da pintura, por meio da deposição natural de sujidades e limpeza após submeter os protótipos por processo de envelhecimento térmico artificial.

Por fim, propõe-se verificar e examinar os efeitos dessas limpezas na tinta acrílica, por meio da coleta e análise da variação de medidas de colorimetria e brilho e determinar se o sistema de Águas Ajustadas e a manipulação das características do pH e da condutividade das soluções aquosas de limpeza apresenta vantagens para o campo de limpeza de pinturas.

I. Limpeza de Pinturas em Acrílica

1.1. Limpeza

Segundo García (2001), o processo de limpeza consiste na extração seletiva dos materiais presentes na estrutura superficial das pinturas, definida como todos os materiais depositados na camada pictórica independente de composição, função e origem. A intervenção da limpeza deve ocorrer apenas nessa estrutura, sem afetar os materiais não selecionados para extração ou a sua estrutura pictórica, “nem por adição ([depósito de] resíduos), nem por subtração (perda de pigmentos e/ou aglutinantes)” (García, 2001, p. 54, tradução nossa).

Muñoz et al. (2016), caracteriza o material removido como “aquele diferente do original da obra, fixado ou depositado, incluindo partículas atmosféricas e produtos de alteração” (Muñoz et al., 2016, p.2, tradução nossa). No entanto, considerar os produtos de alteração como diferentes dos da obra é uma concepção que pode ser questionada, principalmente sob a visão do trabalho de Philippot (1996). Na qual os efeitos naturais do envelhecimento das pinturas e suas alterações consequentes, sem que haja desfiguração da obra, consistem no conceito de pátina que Philippot (1996) defende ser parte essencial da composição histórica e estética da obra. Segundo ele, a restauração jamais deverá pretender retornar a pintura ao seu estado original, àquele deixado pelo artista no momento da finalização da obra, uma vez que isso é completamente impossível.

Nessa mesma linha de pensamento, Muñoz et al. (2016) caracteriza o processo de limpeza ideal como aquele que alcança o nível dos materiais originais no seu presente estado de degradação natural em acordo com o conceito de Philippot (1996). E embora a determinação desse nível seja complexa, Philippot afirma que seguindo esse princípio, de um ponto de vista crítico, a limpeza se torna uma busca pelo equilíbrio, por meio do desenvolvimento de interpretação crítica de cada caso que considera o estado material real da obra e não um estado original ilusório.

O artigo de García (2015) critica a falta de esforços dos teóricos atuais para melhor e mais especificamente definir limpeza e seus objetivos e defende a limpeza de obras de arte como um processo complexo que deve ser compreendido dentro do

contexto maior de um projeto de Conservação, que pode possuir diversos propósitos.

Ainda segundo Garcia, algumas das funções que a limpeza pode adotar são a de conservação remedial, de revelação da intenção do artista, de apresentação estética, de recuperação da legibilidade, além de possibilitar o acesso à obra para a realização de procedimentos de restauração necessários.

A limpeza pode ser considerada tanto um procedimento de restauração, que aproxima a obra de suas características estéticas, estruturais e intencionalidade originais, como um procedimento de conservação, que colabora para a estabilidade da obra, prevenindo degradação futura.

A limpeza de conservação, ainda segundo Garcia, consiste na remoção sistemática de sujidades depositadas nos objetos que se deseja preservar, sendo a sujidade entendida como uma variedade de materiais depositados acidentalmente no objeto. Nesse contexto, há necessidade contínua de remoção a fim de evitar o acúmulo, o que adiciona um nível de complexidade ao processo, uma vez que exige um procedimento controlado cuja repetição não irá alterar a estrutura superficial da pintura.

A limpeza pode, ainda, funcionar como um processo de estudo da obra, uma vez que é possível obter informações importantes sobre a pintura durante sua execução, como “as relações estratigráficas entre as diferentes camadas (verniz, repintura, etc.) e a história e as condições de conservação da obra policromada” (García, 2015, p.21, tradução nossa).

Além de complexa, a limpeza se trata de uma operação completamente irreversível, no qual “a técnica, sensibilidade artística, a perícia, os conhecimentos técnicos e a capacidade de aplicar critérios e soluções condizentes é um fator decisivo”. (Muñoz et al., 2016,p.2, tradução nossa).

Devido a essa complexidade, García (2015) propõe que a limpeza só deve ser realizada mediante questionamento do seu propósito, papel, objetivo e método. Esses questionamentos devem ser respondidos mediante o conhecimento dos materiais que se pretende remover, dos materiais e técnicas de construção da obra, do estado de conservação, do contexto no qual está inserida, do seu papel social.

Assim como deve-se considerar as possibilidades e limitações dos sistemas de limpeza disponíveis e seus efeitos na camada pictórica (Ortiz, 2012).

García (2001) defende que a compreensão dos riscos que os agentes de limpeza representam para a estabilidade das pinturas é melhor quando se aprofunda o conceito da estrutura superficial da camada pictórica como um corpo poroso e entende-se o interior da pintura como uma “estrutura tridimensional com uma variada e complexa rede de canais (fissuras, craquelê, poros)” (García, 2001, p. 55, tradução nossa). Essas estruturas permitem o acesso ao interior da camada pictórica, favorecendo a migração, remoção ou retenção de materiais.

Uma vez que a aparência das pinturas se deve às características e propriedades óticas da superfície da camada pictórica, García (2001) afirma que a permanência de resíduos ou a remoção de componentes dessa superfície pode ter efeito significativo na aparência das pinturas, alterando aspectos como a percepção das cores e os níveis de brilho.

1.2. Tintas Acrílicas

Tintas acrílicas são tintas sintéticas produzidas com aglutinantes à base de acetato acrílico ou metacrílico. Atualmente são comercializadas na forma de emulsões nas quais o polímero acrílico fica disperso em água por ação de tensoativos. Estas tintas contêm diversos aditivos e estabilizadores para melhorar a sua performance. Isto, de acordo com Ormsby (2009), contribui para a complexidade multicomponente delas.

São tintas opacas, brilhantes, cuja película permanece flexível após a secagem. Elas secam pela combinação da evaporação da água e do processo de coalescência, no qual os polímeros se aproximam e se unem em estruturas semelhantes às de uma colmeia formando um filme contínuo (Ormsby, 2009). Após a secagem, o filme de tinta se torna insolúvel em água.

Esse processo de secagem não garante a distribuição homogênea dos componentes da tinta no filme formado e pode, portanto, possuir, de acordo com Ormsby (2009), quantidades heterogêneas de aditivos e tensoativos, assim como propriedades físicas variáveis ao longo de sua superfície.

Durante a coalescência e ao longo do envelhecimento da película da tinta, ocorre o fenômeno da dessorção dos tensoativos internos do volume da tinta e sua migração para a superfície do filme. A presença dos tensoativos na estrutura superficial da tinta, de acordo com Ormsby (2009), pode determinar e afetar suas propriedades, como o nível de brilho, percepção de cor e a propensão de adesão de sujidades.

De acordo com García (2015), os tensoativos na superfície da camada pictórica podem contribuir para uma maior retenção de sujidades, tornando a necessidade de limpeza das pinturas acrílicas mais frequente. Isso representa um desafio, pois irá necessitar de um procedimento cuja repetição ofereça minimizados riscos à conservação e às características da camada pictórica.

Os principais riscos de toda limpeza úmida são o inchamento, por retenção de solvente e a lixiviação pela dissolução e extração dos componentes solúveis. Na limpeza de pinturas acrílicas com água, apesar do filme acrílico permanecer insolúvel, os tensoativos permanecem solúveis e a sua migração para a estrutura superficial da tinta os colocam sob o risco de remoção.

Ambos os fenômenos, de inchamento e lixiviação, têm potencial de afetar as propriedades internas da tinta, como a flexibilidade do filme, assim como as características da superfície, o que pode alterar as características físicas e óticas da camada pictórica, gerando degradação e interferência no aspecto visual, como alterações da percepção de cor e do brilho.

1.3. Águas Ajustadas

De acordo com Dillon et al. (2014), os sistemas de limpeza aquosas, para as pinturas acrílicas, são preferenciais em relação a outros métodos, pois representam o sistema menos tóxico, mais ecológico e que menos afeta o filme de tinta. Apesar de apresentar uma interação bem menor que os solventes orgânicos, a água ainda tem a tendência de extraír quantidades mensuráveis de componentes do filme de tinta, assim como provocar inchamento pela retenção de líquido dentro da camada pictórica, alterando as propriedades físicas e visuais da estrutura superficial da tinta e prejudicando a conservação da pintura à longo prazo.

Dillon et al. (2014) afirmam que não existem, no momento, soluções aquosas que não interfiram na película de tinta, mas em sua pesquisa propõe maneiras de mitigar

os efeitos de inchamento e extração de surfactantes por meio da manipulação do pH e da condutividade das soluções de limpeza, o sistema de Águas Ajustadas.

Segundo Cremonesi (2010), as soluções aquosas para limpeza de pintura podem ser hipotônicas, cuja concentração iônica é menor que a da camada pictórica, ou hipertônicas, cuja concentração iônica é maior. Essa diferença de concentração entre solução e superfície da tinta promove migração de água pela via osmótica em direção ao local com maior concentração iônica, é esse movimento da água para o interior da camada pictórica que provoca o inchamento.

Dillon et al.(2014), calculam experimentalmente o ponto isotônico das tintas acrílicas entre 6 e 10 mS/cm. Os resultados demonstram que “soluções hipotônicas abaixo do ponto isotônico, por meio de processo osmótico, movem água para dentro do filme, resultando em elevado inchamento”(Dillon, et al, 2014, p.57, tradução nossa). Na limpeza com soluções aquosas com valores de condutividade superiores a esse ponto, foi observado reduzido inchamento.

Em relação ao pH, Dillon et al. (2014) observaram diminuição do inchamento conforme o aumento da acidez da solução e menor capacidade de dissolução dos surfactantes e, por consequência, menor remoção. A manipulação do pH é, no entanto, limitada, uma vez que soluções demasiadamente ácidas podem reagir com pigmentos mais sensíveis e gerar degradação da pintura. Além disso, os fenômenos de remoção de surfactantes e do inchamento se mostraram dependentes, no sentido que o inchamento contribui para maior remoção.

As pesquisas de Ormsby e de Dillon et al, evidenciam que o sistema das Águas Ajustadas pode ser uma resposta aos maiores desafios da limpeza de pinturas acrílicas, que são o inchamento e a remoção de tensoativos, demonstrando bons resultados e por meio de formulações simples, motivo pelo qual foi escolhido como objeto de estudo.

II. METODOLOGIA

2.1 Protótipos

Foram produzidos três protótipos A, B e C (Figura 1), telas de 15 x 20 x 1,5 cm, pintados com tinta acrílica da marca Acrilex nas cores 319 Branco de Titânio, 320 Preto, 323 Amarelo Limão, 315 Magenta, 347 Azul Cerúleo, 348 Ultramar Claro e 360 Amarelo Ocre. A construção dos protótipos teve o objetivo de reproduzir de maneira mais fiel possível a superfície real de uma pintura de tinta acrílica sobre tela e, portanto, foram pintadas com temas semelhantes, com a mesma escala de cores que variam de muito claras a muito escuras e com imagens construídas com sobreposição de tinta e mistura das cores na paleta e na tela.

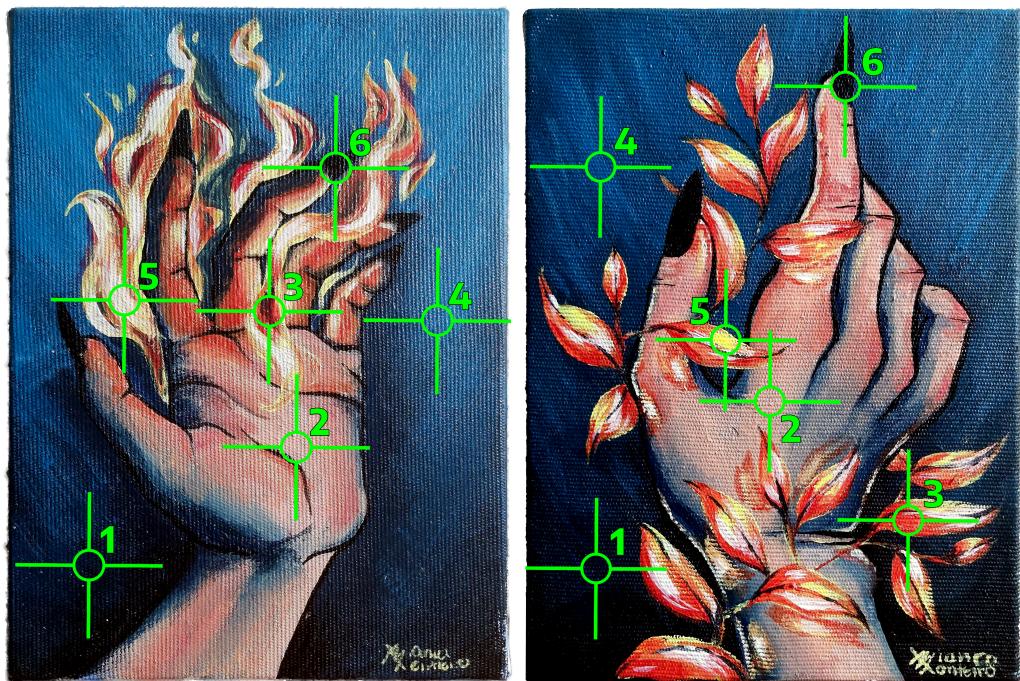
Figura 1 – Protótipos A, B e C.



Fonte: De autoria própria.

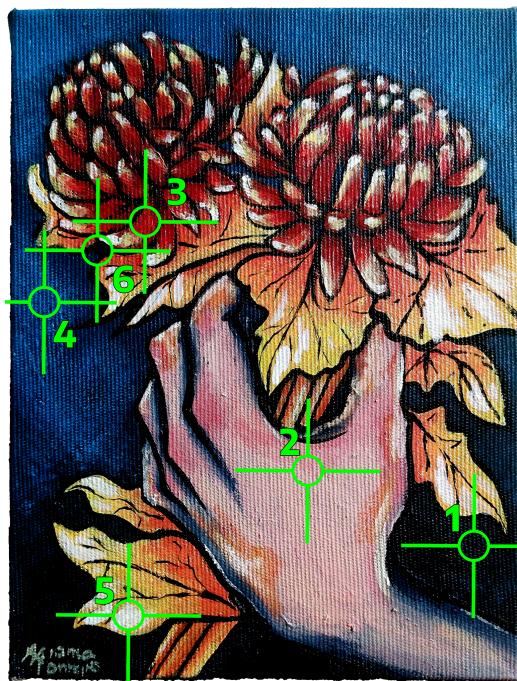
Foram escolhidos seis pontos de cada tela, que englobam uma gama ampla de cores claras a escuras e áreas distintas da pintura, para serem realizadas as medidas de colorimetria e brilho. Foram utilizadas réguas, gabaritos e registros fotográficos, medindo-se as distâncias da borda superior e da borda lateral esquerda de cada pintura em relação à posição dos gabaritos, a fim de registrar os pontos de medição e garantir sua reprodução e invariabilidade em todas as medidas. Foram medidos valores iniciais de cor e brilho para todos os pontos.

Figuras 3 e 4 – Pontos de medição A e B



Fonte: De autoria própria.

Figura 5 – Pontos de medição C



Fonte: De autoria própria.

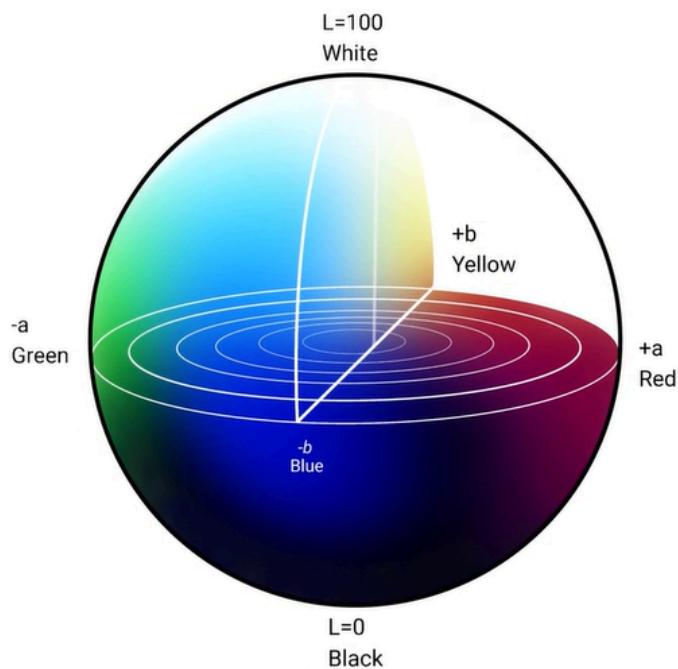
2.2 Colorimetria e Brilho

Uma vez que a limpeza de pinturas acrílicas com Águas Ajustadas tem o objetivo de mitigar os efeitos do inchamento e da remoção dos surfactantes, foram escolhidas características óticas da película de tinta que estão relacionadas à esses fenômenos e que podem sofrer alteração por meio deles, a cor e o brilho, a fim de analisar os efeitos das limpezas nos protótipos.

A presença de surfactantes na superfície das pinturas acrílicas pode conceder aparência mate, fosca, à pintura, sendo em pontos isolados ou de forma homogênea. A remoção desses surfactantes pode resultar em aumento da saturação das cores, uma alteração em relação à tinta em sua composição original.

Para coletar as medidas de colorimetria, foi utilizado o Colorímetro Digital Linshang LS173 que utiliza o espaço de cor CIEL*a*b (ou CIELAB), um modelo tridimensional que mede as cores em três eixos: vertical L^* que mede Luminosidade e varia de 0, que representa preto absoluto, a 100, que representa branco absoluto; horizontal a^* que varia de $+a^*$, que representa vermelho, a $-a^*$ que representa verde; e horizontal b^* , que varia de $+b^*$ que representa amarelo, a $-b^*$, que representa azul.

Figura 6 – Espaço de cor CIELAB.



Fonte: Datacolor, 2024.

A análise da variação de cor em cada ponto de medição é feita por meio do cálculo do ΔE , segundo a equação:

$$\Delta E = \sqrt{(L_1 - L_2)^2 + (a_1 - a_2)^2 + (b_1 - b_2)^2}$$

Onde, L_1 é o valor de **L** inicial, a_1 é o valor de **a** inicial, b_1 é o valor **b** inicial. L_2 , a_2 e b_2 são os valores de **L**, **a** e **b** medidos após deposição de sujidades ou procedimento de limpeza. Os valores obtidos nas medições de colorimetria podem ser vistos nas Tabelas 2, 3 e 4, encontradas no Apêndice A.

Quanto ao brilho de uma superfície, ele é determinado pelas características da topografia dela. Superfícies lisas apresentam brilho maior que superfícies mais rugosas. As tintas acrílicas são, em geral, brilhantes e, segundo Ormsby et al. (2007), quanto maior o brilho de uma tinta, maior é o potencial de ocorrer alterações decorrentes da limpeza.

As medidas de brilho foram feitas, conforme a norma ABNT NBR 15299, que determina o método de ensaio para determinação do brilho em películas de tinta, esmalte e verniz, medindo-se a reflexão da luz incidente nos ângulos de 20°, 60° e 85° utilizando o Glossmeter GM-2000.

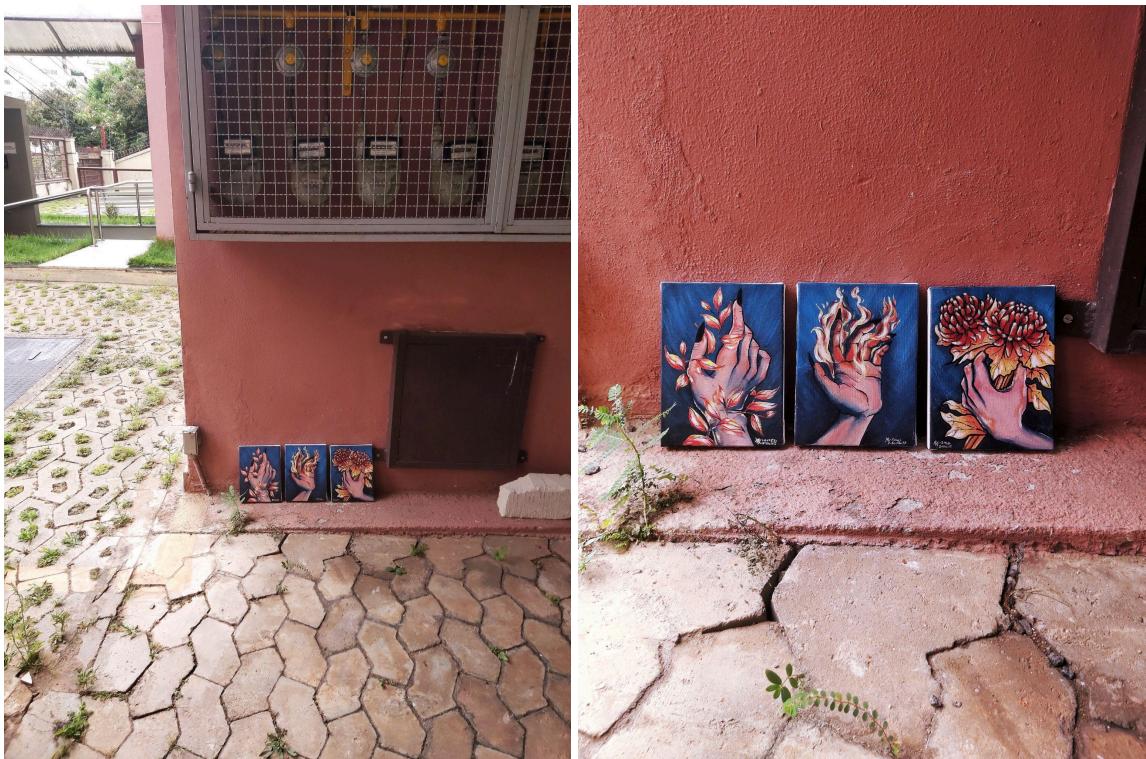
Bartoletti et al. (2020) sugere que os valores usados para os cálculos de variação de brilho devem ser escolhidos segundo as seguintes condicionais: se os valores medidos em 60° forem maiores que 70 Unidades de Brilho (GU), utiliza-se os valores de 20°; mas se os valores medidos em 60° forem menores que 10 GU, utiliza-se os valores medidos em 85°. Ao contrário da colorimetria, não há uma fórmula para o cálculo da variação de brilho, que é feito observando-se os valores absolutos em Unidade de Brilho (GU). Todos os valores de brilho obtidos estão explicitados nos Gráficos 7, 8, 9, 10, 11 e 12, na discussão dos resultados.

2.3 Deposição de Sujidades

Após a coleta dos valores iniciais de cor e brilho, as telas foram, então, colocadas em ambiente externo, coberto, com exposição à luz solar direta por cerca de duas

horas por dia e com trânsito diário de veículos nas imediações, pelo período de três semanas, a fim de promover o acúmulo de sujidades de forma natural.

Figuras 7 e 8 – B, A e C no local da deposição de sujidade



Fonte: De autoria própria.

Medidas de colorimetria e brilho foram feitas nos mesmos pontos nas três telas a fim de determinar a alterações de cor e no brilho provocadas pela deposição de sujidade na superfície da tinta.

2.4 Limpeza

Foram propostas três formulações para as limpezas: Água Destilada, a Água Ajustada 1 na qual seria feito ajuste de pH próximo à 4, e a Água Ajustada 2 na qual haveria o ajuste do pH e da condutividade para os valores de 4 e 20 mS/cm, respectivamente.

Os ajustes de pH foram feitos por meio da solução de ácido cítrico 0,01 g.mL⁻¹ e ajustada com pequena adição, gota à gota, de solução de NaOH 0,1 mol.L⁻¹. Os valores de pH foram medidos com um pHmetro de bancada MB - PHS 3C. O

controle da condutividade foi obtido por meio da adição e dissolução de CaCl_2 sólido lentamente, até se obter o valor desejado. As medidas de condutividade foram realizadas com um condutivímetro de bancada Simpla EC150.

A tela A foi limpa com a Água Destilada, cujas medidas de pH condutividade obtidas na primeira limpeza foram 6,13 e 43,5 $\mu\text{S}/\text{cm}$, respectivamente; a tela B com a Água Ajustada 1, que teve o pH ajustado em 4,05 e condutividade medida de 5,81 mS/cm , e a tela C com a Água Ajustada 2 que teve o pH ajustado em 4,24 e condutividade ajustada em 20,0 mS/cm .

Apesar da interferência visual das sujidades na tela ser pequena a olho nu, consistindo em maior parte de poeira, pequenos pedaços de folhas secas, asas de insetos e, apenas na Tela A, teia de aranha; os swabs utilizados nas limpezas ficaram consideravelmente carregados de sujidade, como pode ser observado nas Figuras 9,10 e 11. Após a limpeza, a percepção a olho nu sobre as três telas foi que houve aumento de brilho e saturação das cores em relação à quando estavam com as sujidades. Novas medidas de cor e brilho foram feitas após as limpezas.

Figuras 9, 10 e 11 – Swabs após a limpeza de, da dir. à esq. A, B e C



Fonte: De autoria própria.

2.5 Envelhecimento Artificial e Segunda Limpeza

O processo de migração dos tensoativos ocorre também, além da secagem, durante o envelhecimento da camada de tinta. A fim de observar a interferência que uma maior concentração de tensoativos na superfície da película de tinta teria nesse estudo, as telas passaram por processo de envelhecimento artificial térmico utilizando uma estufa à temperatura de 50 °C, conforme o procedimento descrito por

Ormsby et al. (2007), pelo período de três semanas. Após o envelhecimento, não houve alteração perceptível ao olho nu da cor e brilho das pinturas, mas as telas sofreram deformações no suporte que enrugou com o calor, mas que retornou à forma inicial após o esfriamento. Elas foram, então, novamente expostas à deposição natural de sujidades, sob as mesmas condições anteriores, por três semanas. Foram feitas novas medidas de cor e brilho após a deposição de sujidades.

As telas passaram, então, por outra limpeza. A tela A com a Água Destilada com pH e condutividade medidos em 6,10 e 9 $\mu\text{S}/\text{cm}$, respectivamente, a tela B com Água Ajustada 1 com pH ajustado em 4,07 e condutividade medida em 4,46 mS/cm , e a tela C com a Água Ajustada 2 com pH ajustado em 4,17 e condutividade ajustada em 20,0 mS/cm . O pH e a condutividade foram ajustados usando solução de ácido cítrico 0,01 $\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ e NaOH e a condutividade com a adição de CaCl_2 sólido da mesma forma como feito na primeira limpeza.

As três telas apresentaram a olho nu adquirir maior quantidade de sujidade durante a 2^a deposição de sujidades, com maior impacto visual sobre a cor e o brilho. Observou-se maior concentração de particulado pequeno como terra e poeira e menos sujidades como pedaços de folhas e asas de insetos. Os swabs utilizados nas limpezas, conforme as Figuras 12, 13 e 14, acumularam mais sujidades que os utilizados na 1^a limpeza. As medidas de cor e brilho foram novamente coletadas.

Figuras 12, 13 e 14 – Swabs após a segunda limpeza de, da dir. à esq. A, B e C



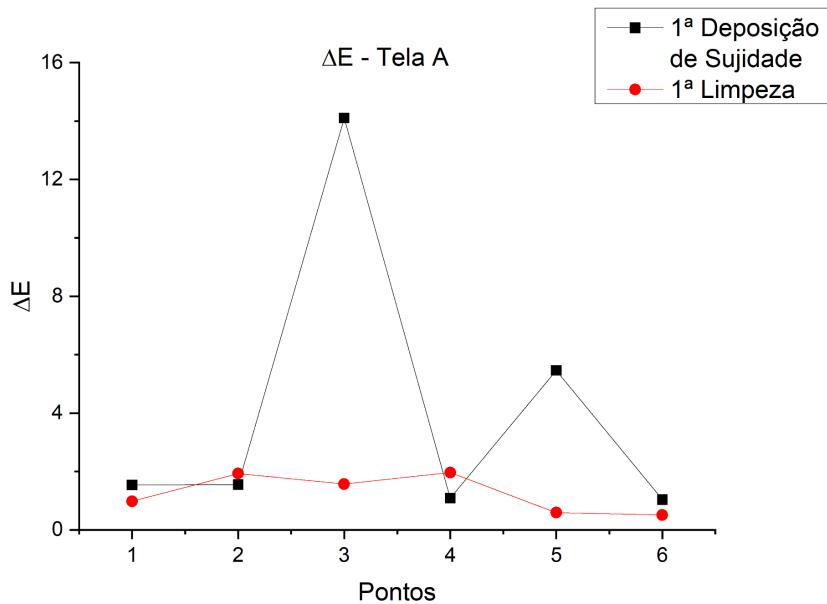
Fonte: De autoria própria.

III. Resultados

3.1 Colorimetria

Na tela A, cuja limpeza foi feita com Água Destilada, pode-se observar com auxílio do Gráfico 1 que a variação de cor após a limpeza, em relação à tela inicial, é menor que a variação causada pela sujidade em quatro dos seis pontos de referência. Apesar disso, a variação de ΔE (variação de cor calculada conforme a fórmula descrita na página 22) entre a tela coberta de sujidades e após a 1^a limpeza é significativa apenas nos pontos A3 e A5, conforme pode ser observado no Gráfico 1.

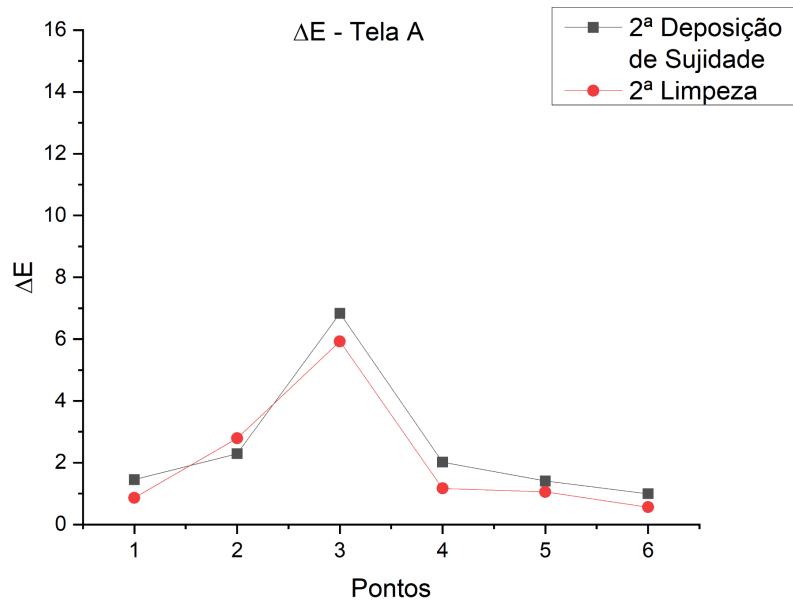
Gráfico 1 - Variação de ΔE na tela A



Fonte: De autoria própria.

A mesma tendência é observada na 2^a limpeza, na qual a diferença entre os ΔE das duas medidas em todos os pontos é novamente muito pequena. Em relação à colorimetria, a limpeza com Água Destilada não traz resultados significativos, como ilustrado no Gráfico 2.

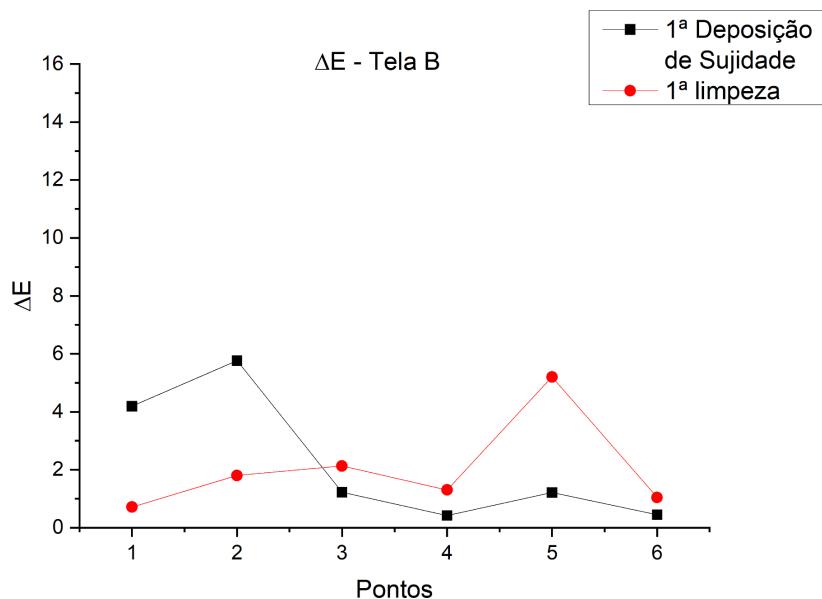
Gráfico 2 - Variação de ΔE na tela A após envelhecimento artificial



Fonte: De autoria própria.

Na tela B, cuja limpeza foi feita com a Água Ajustada 1, apenas os pontos B1 e B2 apresentaram menor ΔE após a limpeza, nos outros quatro pontos a variação de cor causada pela sujidade foi menor que a causada pela limpeza, o que pode ser visto no Gráfico 3.

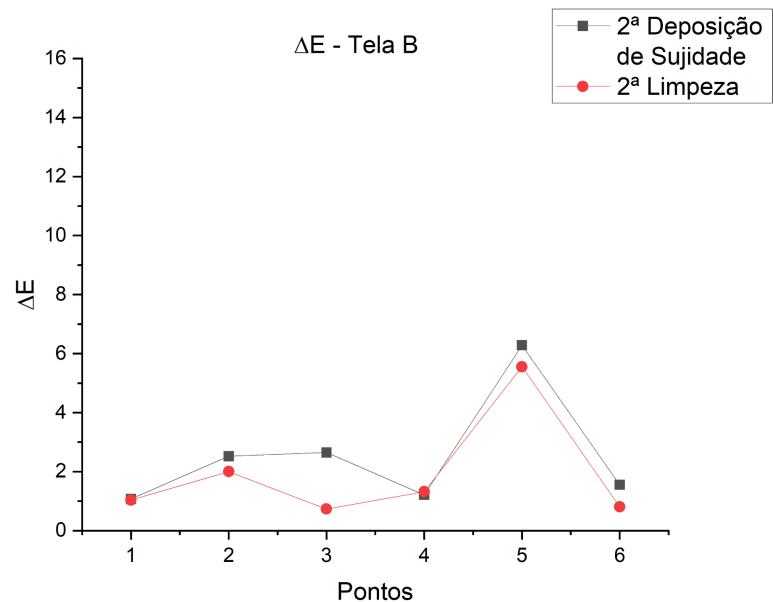
Gráfico 3 - Variação de ΔE na tela B



Fonte: De autoria própria.

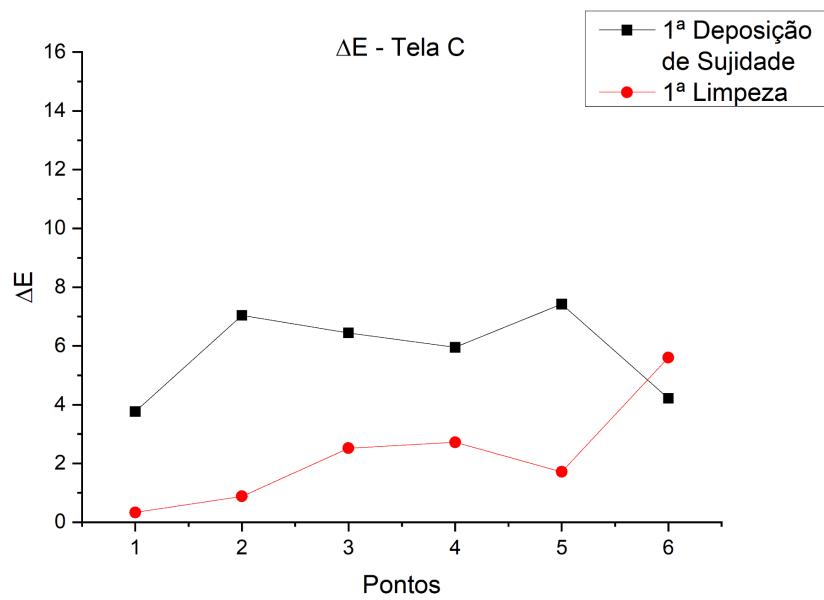
Na 2^a limpeza, os pontos B1 e B4 não apresentaram variação, enquanto os outros quatro pontos apresentam ΔE ligeiramente menor. No entanto, apenas B3 apresenta variação significativa, conforme o Gráfico 4.

Gráfico 4 - Variação de ΔE na tela B após envelhecimento artificial



Fonte: De autoria própria.

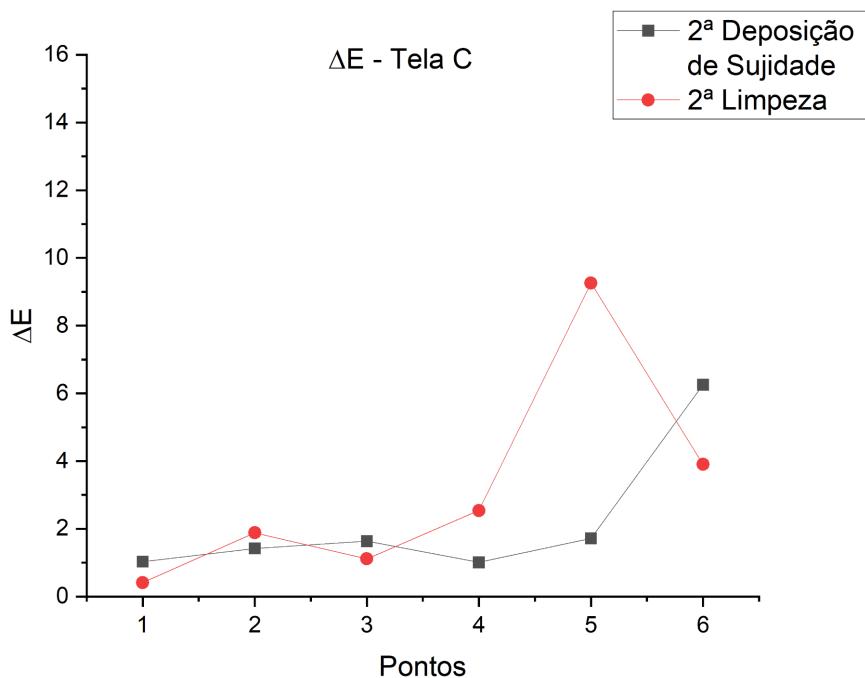
Gráfico 5 - Variação de ΔE na tela C



Fonte: De autoria própria.

Na tela C, cuja limpeza foi feita com a Água Ajustada 2, cinco dos seis pontos apresentaram ΔE significativamente menor após a 1^a limpeza, como pode ser visto no Gráfico 5. Após a 2^a limpeza, três pontos apresentaram menor ΔE e apenas dois apresentaram variações maiores que a sujidade de forma significativa, conforme o Gráfico 6. Do ponto de vista da colorimetria, a Água Ajustada 2 apresentou os melhores resultados.

Gráfico 6 - Variação de ΔE na tela C após envelhecimento artificial



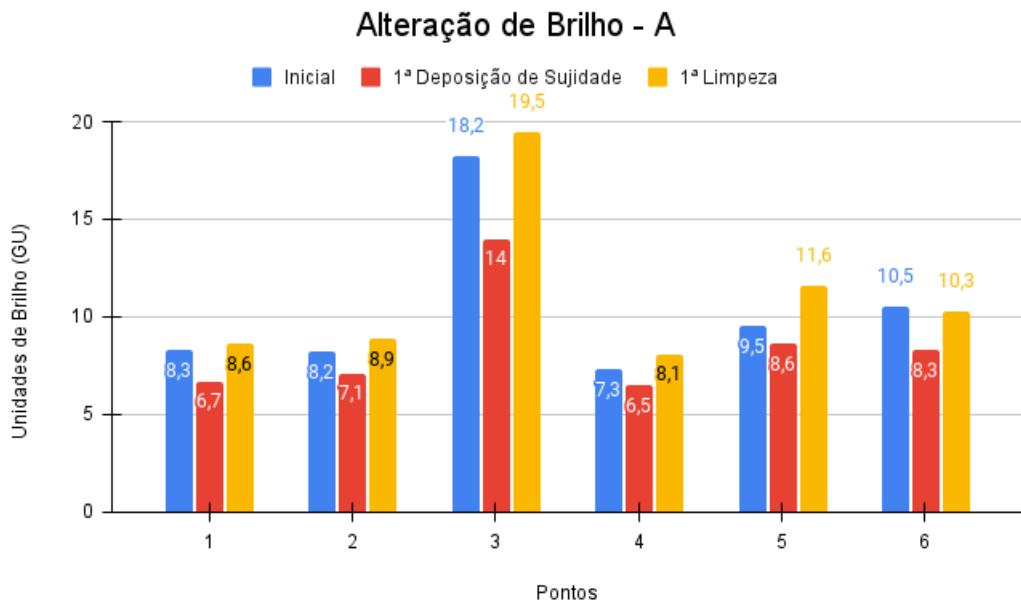
Fonte: De autoria própria.

3.2 Brilho

Como todos os valores obtidos no ângulo de 60° foram menores que 10 GU, os valores medidos em 85° foram utilizados para a análise. Foram calculados a diferença de valores absolutos entre o brilho após cada limpeza, que pode ser observado nos Gráficos 7,8,9,10,11 e 12. Quanto menor a variação de brilho, menor a alteração e dano provocado pela limpeza e, portanto, mais segura seria o sistema aquoso utilizado.

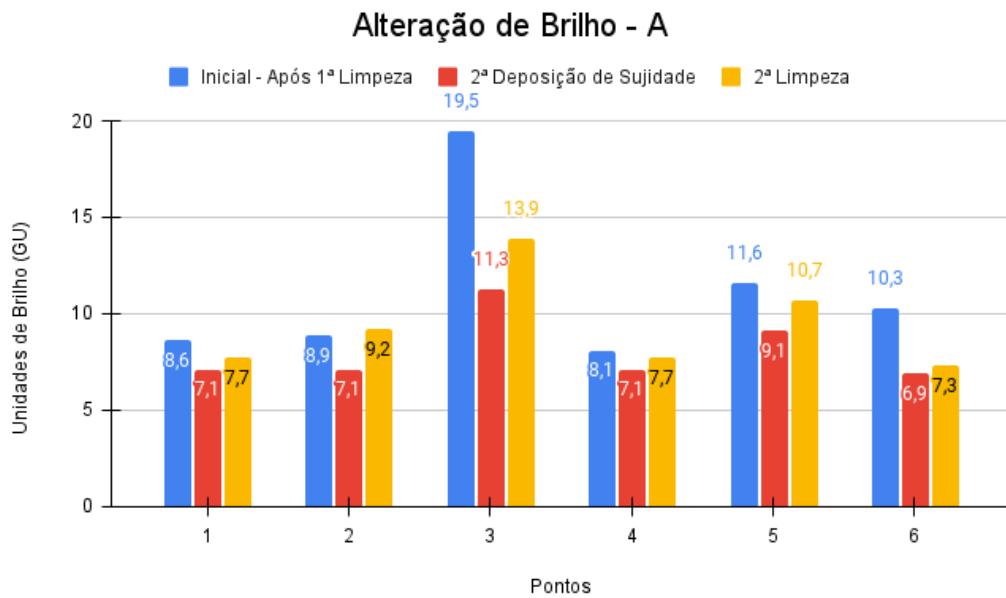
Em todas as telas, houve diminuição de brilho após a deposição de sujidades. Na tela A, em todos os pontos houve aumento do brilho após a limpeza, sendo o brilho final maior que o inicial na primeira limpeza, mas menor que o inicial na segunda, conforme pode ser visto nos Gráficos 7 e 8.

Gráfico 7 - Alteração de Brilho na tela A



Fonte: De autoria própria.

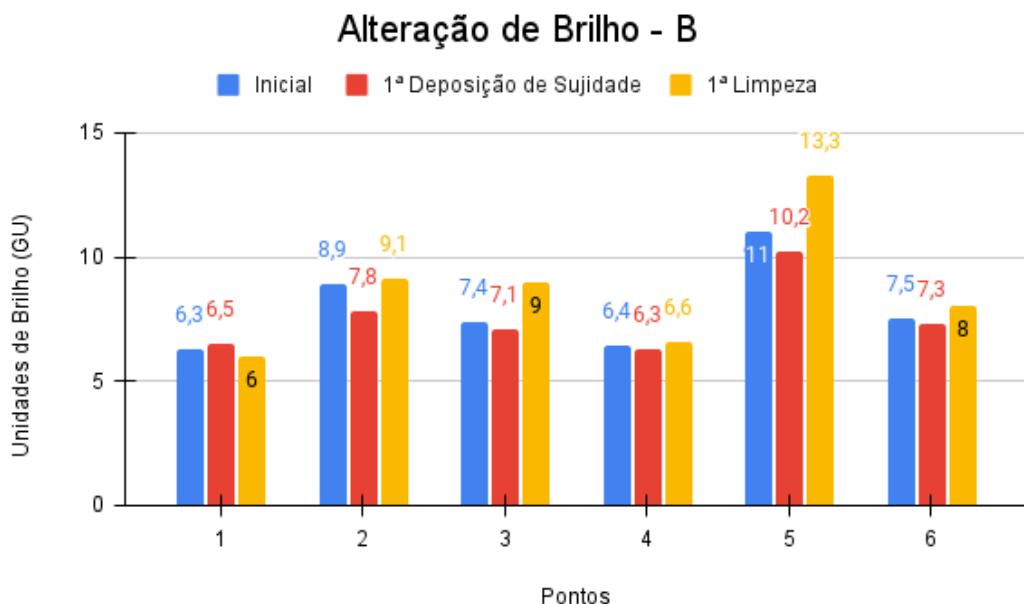
Gráfico 8 - Alteração de Brilho na tela A após o envelhecimento artificial



Fonte: De autoria própria.

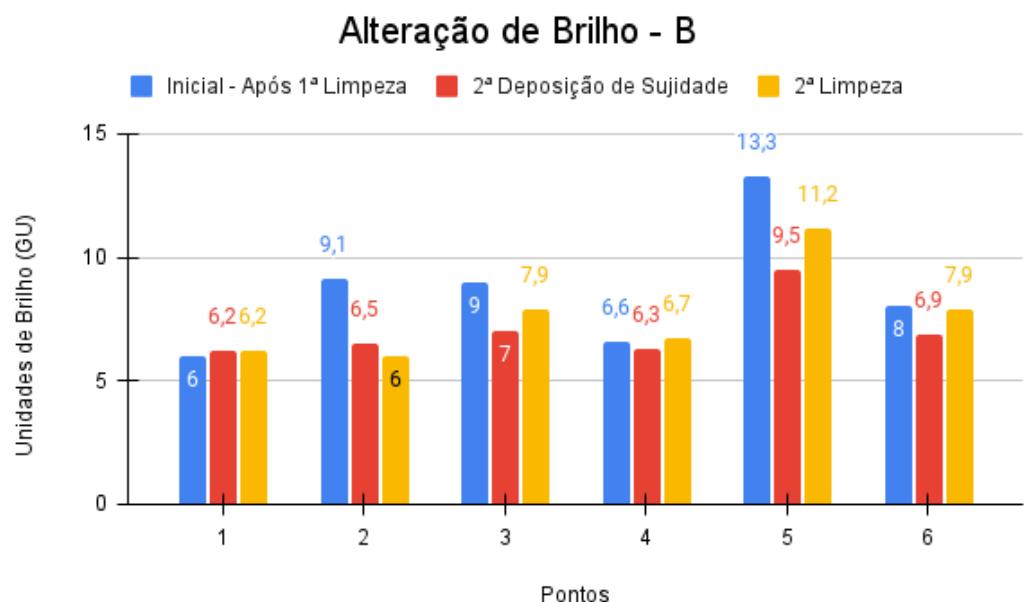
Na tela B, houve anomalia no ponto B1, no qual o brilho registrado foi maior que o inicial após ambas as deposições de sujidades, o que pode ser observado nos Gráficos 9 e 10. Após a 1ª limpeza com a Água Ajustada 1, o brilho final é maior que o inicial em 5 dos 6 pontos; mas após a 2ª limpeza, ocorre o contrário.

Gráfico 9 - Alteração de Brilho na tela B



Fonte: De autoria própria.

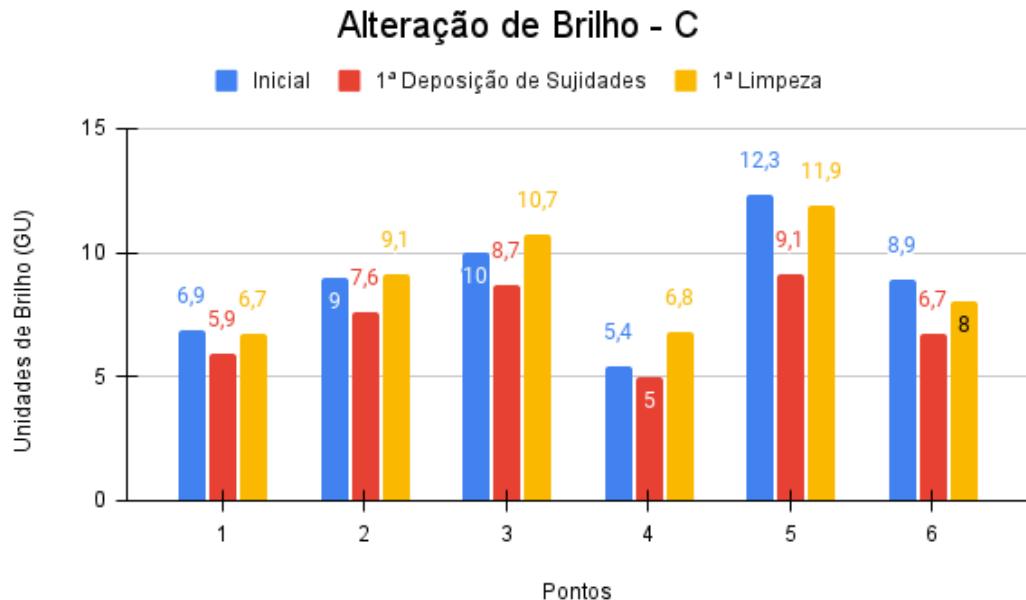
Gráfico 10 - Alteração de Brilho na tela B após o envelhecimento artificial



Fonte: De autoria própria.

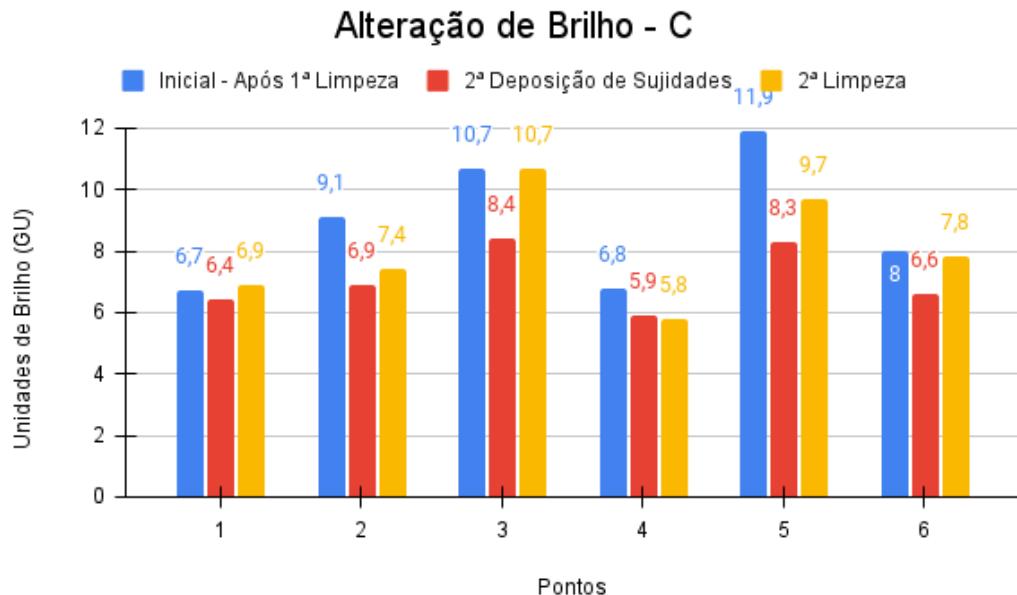
Na tela C, a 1ª limpeza com a Água Ajustada 2, quatro dos seis pontos apresentaram brilho menor que o inicial; enquanto na 2ª limpeza, todos os pontos apresentaram brilho menor, conforme os Gráficos 11 e 12. É importante citar que as variações de brilho foram maiores após o envelhecimento artificial.

Gráfico 11 - Alteração de Brilho na tela C



Fonte: De autoria própria.

Gráfico 12 - Alteração de Brilho na tela C após o envelhecimento artificial



Fonte: De autoria própria.

Uma vez que o brilho está intimamente relacionado à topografia e à porosidade da superfície, fatores que na pintura terão influência da forma de aplicação da tinta e pinçelada do artista, observou-se que não era possível comparar diretamente as variações de brilho entre os pontos de medição. Desse modo, ao contrário de ΔE ,

não foi possível racionalizar, por comparação direta, as variações de brilho entre os pontos.

Apesar disso, existe uma tendência observável de dispersão dos dados medidos nas variações de brilho em relação à água utilizada para a limpeza. A análise de dispersão dos dados utilizou primeiramente a medida estatística de amplitude que consiste na diferença dos módulos (valores absolutos desconsiderando sinais negativos) entre as diferenças de brilho. Na tabela 1 pode-se ver que há uma amplitude de 5,3 GU (ponto A3) entre a 1^a e a 2^a limpeza com a Água Destilada, enquanto que entre a 1^a e a 2^a limpeza com Água Ajustada 2, a maior amplitude foi de 2,2 GU (ponto C5).. Por fim, através da análise das amplitudes, fica evidenciado que a Água Ajustada 2 apresentou os menores valores de amplitude de brilho entre as limpezas.

Tabela 1 - Variação de Brilho nas telas A, B e C

Pontos	Inicial - 1 ^a Limpeza			1 ^a -2 ^a Limpeza		
	Tela A	Tela B	Tela C	Tela A	Tela B	Tela C
1	0,3	0,2	0,2	0,9	0,2	0,2
2	0,7	0,2	0,1	0,3	3,1	1,7
3	1,3	1,6	0,7	5,6	1,1	0
4	0,8	0,2	1,4	0,4	0,1	1
5	2,1	2,3	0,4	0,9	2,1	2,2
6	0,2	0,5	0,2	3	0,1	0,2
Amplitudes	1,9	2,1	1,3	5,3	3	2,2
Desvio Padrão Amostral	0,71	0,90	0,49	2,08	1,25	0,91

Fonte: De autoria própria.

Outra forma de se observar a dispersão das variações de brilho é através do desvio padrão amostral. O desvio padrão amostral é um cálculo estatístico relacionado a variância dos valores, ou seja, o quanto eles estão distantes entre si. Ele é calculado através da seguinte equação:

$$s = \sqrt{\sum \frac{(x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

Onde “s” é o desvio padrão amostral, “ x_i ” é o valor da medida, “ \bar{X} ” é a média e “n” é o número de medidas. O desvio padrão amostral das variações de brilho, foi calculado utilizando o software Planilhas Google, encontramos os valores dispostos na tabela 1. Estes valores mostram uma menor dispersão das diferenças de brilho na Água Ajustada 2.

Por fim, tanto uma análise dos valores de diferenças de brilho, assim como os valores de amplitude e desvio padrão amostral, indicam uma maior segurança do uso da água com Água Ajustada 2 por esta causar menor variação dos valores após as limpezas.

CONCLUSÃO

Os resultados obtidos nas análises das variações da colorimetria e de brilho evidenciaram que existem, de fato, vantagens no uso do sistema das Águas Ajustadas. Além disso, o comportamento distinto das pinturas entre a 1^a e a 2^a limpeza evidencia a diferença que uma maior concentração dos tensoativos na superfície da pintura provoca na forma como a limpeza interage com a camada pictórica, assim como comprova a eficiência do processo de envelhecimento artificial.

As limpezas conduzidas com o uso da Água Destilada sem ajustes apresentaram os maiores valores de variação de brilho (Tabela 1), enquanto a colorimetria não revelou vantagens significativas na limpeza, sendo a variação de cor provocada pela sujidade extremamente semelhante à provocada pela limpeza (Gráficos 1 e 2).

Já as limpezas com a Água Ajustada 2 demonstraram os melhores resultados, com as menores variações de brilho (Tabela 1) e as mais significativas diferenças de variação de cor em relação à deposição de sujidades, na qual a variação de cor após a limpeza foi muito menor na 1^a limpeza (Gráfico 5). Esses resultados indicam que o uso de soluções com pH mais ácido, sem alteração da condutividade, como foi o caso da Água Ajustada 1, não oferece vantagens significativas.

Dessa forma, pode-se concluir que, utilizados em conjunto, o ajuste do pH para que fique mais ácido e a manipulação de condutividade para valores hipertônicos das soluções aquosas de limpeza, tal como realizado neste trabalho, acarretam em intervenções mais seguras e menos danosas para as pinturas acrílicas.

REFERÊNCIAS

ALEPHGRAPHICS. Alegraphics, 2022. EQUAÇÕES CIE ΔE* (DIFERENÇA DE COR). Disponível em:

<<https://www.alephgraphics.com.br/equacoes-cie-%CE%B4e-diferenca-de-cor/>>.

Acesso em: 07 de ago. de 2024.

BARTOLETTI, Angelica et al. Reviving WHAAM! a comparative evaluation of cleaning systems for the conservation treatment of Roy Lichtenstein's iconic painting. **Heritage Science**, v. 8, p. 1-30, 2020.

DATACOLOR. Datacolor, c2024. CIELAB Color Space Explained. Disponível em:

<<https://www.datacolor.com/business-solutions/blog/what-is-cielab/>>. Acesso em: 19 de ago. de 2024.

DILLON, Courtney E.; LAGALANTE, Anthony F.; WOLBERS, Richard C. Acrylic emulsion paint films: The effect of solution pH, conductivity, and ionic strength on film swelling and surfactant removal. **Studies in Conservation**, v. 59, n. 1, p. 52-62, 2014.

GARCÍA, José Manuel Barros. Fundamentos metodológicos en la limpieza de estructuras pictóricas: una visión objetiva. **PH: boletín del Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico**, v. 8, n. 30, p. 75-84, 2000.

GARCÍA, José Manuel. Los efectos del proceso de limpieza en las estructuras pictóricas. **PH: boletín del Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico**, v. 9, n. 36, p. 53-61, 2001.

GARCÍA, José Manuel Barros. Re-evaluating the roles of the cleaning process in the conservation of paintings. **Ge-conservación**, v. 7, p. 14-23, 2015.

GARRIDO, Bruno Miguel Alegria. **Síntese e caracterização de partículas submicrométricas de carbonato de cálcio para aplicação em tintas decorativas**. 2013. Dissertação de Mestrado.

MUÑOZ, Maria Antonia Zalbidea; REGIDOR ROS, Jose Luis; PÉREZ MARÍN, Eva. La limpieza en obras de arte. Conceptos básicos. 2016.

OLIVEIRA, A. **ESTUDO COMPARATIVO DO USO DE GÉIS E EMULSÕES NA LIMPEZA DE TINTAS DE EMULSÃO ACRÍLICA**. Lisboa, 2021. Dissertação de Mestrado.

ORMSBY, Bronwyn et al. Wet cleaning acrylic emulsion paint films: an evaluation of physical, chemical, and optical changes. In: **Modern paints uncovered: proceedings from the modern paints uncovered symposium**. Getty Conservation Institute, Los Angeles, California, 2007. p. 189-200.

ORMSBY, Bronwyn; PHENIX, Alan. Cleaning acrylic emulsion paintings.

Conservation perspectives: the GCI newsletter, v. 24, n. 2, p. 13-15, 2009.

ORMSBY, Bronwyn; LEARNER, Tom. The effects of wet surface cleaning treatments on acrylic emulsion artists' paints—a review of recent scientific research. **Studies in Conservation**, v. 54, n. sup1, p. 29-41, 2009.

ORTIZ, Alicia Sánchez. Restauración de obras de arte: pintura de caballete. Ediciones AKAL, 2012.

PHILIPPOT, Paul. El concepto de pátina y la limpieza de pinturas. **PH: boletín del Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico**, v. 4, n. 15, p. 92-94, 1996.

APÊNDICE A – MEDIDAS DE COLORIMETRIA

Tabela 2 - Medidas de colorimetria A

		Inicial	1 ^a Deposição de Sujidades	1 ^a Limpeza	2 ^a Deposição de Sujidades	2 ^a Limpeza
A1	L	32,35	33,62	32,39	33,76	32,66
	a	-1,17	-1,58	-1,18	-1,21	-1,91
	b	-7,81	-8,57	-8,79	-8,31	-8,41
A2	L	68,56	67,93	67,69	66,72	67,71
	a	15,88	17,05	16,67	17,69	15,69
	b	12,1	11,3	10,57	8,76	7,96
A3	L	49,15	49,15	48,84	52,45	51,85
	a	38,25	26,5	36,77	32,54	33,25
	b	21,45	15,49	21,03	25	24,73
A4	L	48,99	48,46	49,06	48,66	49,13
	a	-8,83	-8,64	-10,46	-8,49	-10,78
	b	-22,59	-23,52	-23,68	-23,5	-24,8
A5	L	81,84	77,51	81,94	80,66	81,34
	a	5,35	8,37	4,77	4,88	5,6
	b	15,6	17	15,61	15,03	15,87
A6	L	27,94	28,53	27,83	28,37	27,4
	a	1,28	1,31	0,89	1,24	0,6
	b	-2,08	-1,23	-1,77	-1,01	-1,98

Tabela 3 - Medidas de colorimetria B

		Inicial	1 ^a Deposição de Sujidades	1 ^a Limpeza	2 ^a Deposição de Sujidades	2 ^a Limpeza
B1	L	33,38	37,46	33,13	33,27	32,69
	a	-1,73	-2,31	-2,32	-1,68	-1,78
	b	-7,16	-6,39	-6,85	-6	-7,62
B2	L	67,38	72,46	67,39	65,96	66,7
	a	15,89	13,64	16,18	16,5	15,4
	b	10,14	8,6	8,36	6,31	6,65
B3	L	52,47	51,7	51,93	53,25	51,55
	a	41,72	42,65	43,53	41,29	43,18
	b	24,41	24,59	25,4	25,91	24,88
B4	L	44,76	45	44,7	44,45	44,28
	a	-10,02	-9,8	-9,86	-8,83	-8,99
	b	-22,53	-22,8	-23,82	-23,23	-24,72
B5	L	81,58	80,91	78,87	82,1	82,02
	a	0,55	0,4	0,72	-0,42	-1,21
	b	44,07	43,07	39,63	44,9	43,78
B6	L	28,29	28,53	27,46	28,88	27,85
	a	0,33	0,2	-0,28	0,3	-0,39
	b	-1,26	-0,9	-1,1	-1,38	-1,8

Tabela 4 - Medidas de colorimetria C

		Inicial	1 ^a Deposição o de Sujidades	1 ^a Limpeza	2 ^a Deposição o de Sujidades	2 ^a Limpeza
C1	L	30,02	33,71	30,09	30,59	29,8
	a	-0,44	-1	-0,75	-0,54	-0,5
	b	-4,73	-4,22	-4,83	-3,95	-4,98
C2	L	67,13	73,89	67,37	66,48	67,45
	a	20,12	18,15	19,4	19,88	17,97
	b	7,04	6,91	6,59	5,59	5,37
C3	L	45,75	50,33	44,64	44,26	45,05
	a	39,08	43,16	36,86	35,37	36,55
	b	18,04	20,02	17,62	17,06	16,63
C4	L	44,22	49,46	45,52	45,08	44,12
	a	-8,43	-9,48	-8,4	-7,62	-7,2
	b	-18,66	-21,28	-21,05	-20,58	-19,3
C5	L	82,82	86,18	82,46	80,94	77,01
	a	4,63	6,15	5,34	4,59	5,84
	b	5,71	12,15	7,23	6,95	14,7
C6	L	28,09	32,26	30,98	31,48	28,44
	a	0,92	1,39	-2,77	-1,44	-1,53
	b	-0,9	-0,53	2,17	-3,92	-0,52