



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS**  
**DEPARTAMENTO DE QUÍMICA ORGÂNICA E INORGÂNICA**  
**CURSO DE BACHARELADO EM QUÍMICA COM HABILITAÇÃO INDUSTRIAL**

**ROBERTO MARTINS MADEIRO**

**ESTUDO PARA A MELHORIA DO PODER TINTORIAL DE PASTA AQUOSA**  
**AMARELO ÓXIDO E VERMELHO ÓXIDO PARA USO EM TINTAS**

**FORTALEZA**

**2024**

ROBERTO MARTINS MADEIRO

ESTUDO PARA A MELHORIA DO PODER TINTORIAL DE PASTA AQUOSA  
AMARELO ÓXIDO E VERMELHO ÓXIDO PARA USO EM TINTAS

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Graduação em Química do Centro de Ciências da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do grau de Bacharel em Química com habilitação em Química Industrial.

Orientadora pedagógica: Dra. Judith Pessoa de Andrade Feitosa

Orientador profissional: Tec. Antônio Odeilson dos Santos

FORTALEZA

2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Sistema de Bibliotecas

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

M153e Madeiro, Roberto Martins.

Estudo para a melhoria do poder tintorial de pasta aquosa amarelo óxido e vermelho óxido para uso em tintas / Roberto Martins Madeiro. – 2024.

52 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Curso de Química, Fortaleza, 2024.

Orientação: Profa. Dra. Judith Pessoa de Andrade Feitosa.

Coorientação: Prof. Antônio Odeilson dos Santos.

1. Pigmentos inorgânicos. 2. Óxido de ferro. 3. Dispersão de pigmentos. I. Título.

CDD 540

---

ROBERTO MARTINS MADEIRO

ESTUDO PARA A MELHORIA DO PODER TINTORIAL DE PASTA AQUOSA  
AMARELO ÓXIDO E VERMELHO ÓXIDO PARA USO EM TINTAS

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Graduação em Química do Centro de Ciências da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do grau de Bacharel em Química com habilitação em Química Industrial.

Aprovado em: \_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_.

BANCA EXAMINADORA

---

Profa. Dra. Judith Pessoa de Andrade Feitosa (Orientadora)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Tec. Antônio Odeilson dos Santos  
Grupo Iquine

---

Prof. Dr. Antoninho Valentini  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

## AGRADECIMENTOS

À Deus, por me dar proteção, confiança, serenidade para enfrentar os momentos mais difíceis e colocar anjos em meu caminho, que me auxiliaram a enfrentar as adversidades.

Aos meus pais, que sempre me apoiaram e estiveram presentes em todos os momentos da minha vida acadêmica.

À Universidade Federal do Ceará por me proporcionar um ambiente enriquecedor, onde pude conhecer pessoas incríveis e construir laços duradouros.

Ao Laboratório de Ligantes Asfálticos, pelas análises de reologia.

Ao Laboratório de Polímeros, por todo conhecimento compartilhado e adquirido e pela oportunidade de conhecer pessoas excepcionais que me auxiliaram durante todo o meu período de iniciação científica e durante a realização desse trabalho.

À Ma. Nádia Aline, pelas análises de espectroscopia na região do UV-Visível e auxílio nas análises de espalhamento de luz dinâmico.

Aos meus professores de graduação, com os quais pude trocar ideias e ter reflexões profundas sobre os rumos da química.

À Professora Dra. Judith Pessoa de Andrade Feitosa, pelo apoio durante toda a graduação e pela excelente orientação durante todo meu período de iniciação científica e durante a elaboração desse trabalho.

Às professoras do Laboratório de Polímeros Regina Paula, Jeanny Maciel e Pablyana da Cunha por todo o suporte e disponibilidade.

Ao Professor Dr. Antoninho Valentini pelas reflexões e apoio para a realização desse trabalho.

Aos amigos da graduação, pelo aprendizado e sugestões recebidas e por tornar mais leve esse período. Eles ficarão para sempre guardados em meu coração.

Ao Grupo Iquine, que me proporcionou a oportunidade de realizar esse trabalho, além de colocar excelentes profissionais em meu caminho, que me inspiram a evoluir cada vez mais, Odeilson Santos, Bruno França, Cícero Lima e todos os meus colegas do LCQ, LTP e LD.

## RESUMO

As tintas arquitetônicas são constituídas majoritariamente por solvente, resina, aditivos e pigmento, sendo, esse último, o responsável por fornecer embelezamento e proteção. Os pigmentos podem ser de origem orgânica, que degrada rapidamente pela ação da radiação ultravioleta, oferecendo menor resistência as intempéries, ou de origem inorgânica, que possuem interações intermoleculares mais fortes. Para obter o melhor desempenho dos pigmentos é crucial que ele esteja bem disperso, para que cada partícula presente possa cobrir uma maior área. Portanto, a elaboração de pasta de dispersão de pigmento tem se mostrado eficiente para garantir o maior poder tintorial possível. Esse trabalho tem como objetivo avaliar diferentes formulações da pasta de dispersão dos pigmentos amarelo e vermelho óxido para obter uma melhoria no poder tintorial e no processo de fabricação. As formulações V1 utilizam agentes dispersantes comuns e espessantes do tipo HASE, enquanto as formulações V2 utilizam agentes dispersantes de ação combinada, que dispersa e umecta, e espessantes do tipo HEUR, que fornecem melhor estabilidade e menor viscosidade aos materiais. Os resultados do poder tintorial mostraram uma melhora para as formulações V2 das pastas de dispersão desses pigmentos, aliado principalmente ao uso do agente dispersante e umectante, garantindo uma eficiência no processo de dispersão, observado pela redução de tamanho das partículas, e o uso dos modificadores reológicos do tipo HEUR, que proporcionaram uma maior estabilidade e menor viscosidade das amostras.

**Palavras-chave:** pigmentos inorgânicos; óxido de ferro; dispersão de pigmentos.

## ABSTRACT

Architectural paints are mostly made up of solvent, resin, additives and pigment, the latter being responsible for providing beautification and protection. The pigments can be of organic origin, which degrades quickly by the action of ultraviolet radiation, offering less resistance to weathering, or of inorganic origin, which have stronger intermolecular interactions. To get the best performance from the pigments, it is crucial that it is well dispersed, so that each particle present can cover a larger area. Therefore, the elaboration of pigment dispersion paste has proven to be efficient to ensure the highest possible tinting power. This work aims to evaluate different formulations of the dispersion paste of the yellow and red oxide pigments to obtain an improvement in the tinting power and in the manufacturing process. V1 formulations use common dispersing agents and HASE-type thickeners, while V2 formulations use combined-action dispersing agents, which disperses and moistens and HEUR-type thickeners, which provide better stability and lower viscosity to the materials. V1 formulations use common dispersing agents and HASE-type thickeners, while V2 formulations use combined-action dispersing agents, which disperses and moistens and HEUR-type thickeners, which provide better stability and lower viscosity to the materials. The results of the tinting power showed an improvement for the V2 formulations of the dispersion pastes of these pigments, combined mainly with the use of dispersing and wetting agent, ensuring efficiency in the dispersion process, observed by the reduction in particle size, and the use of rheological modifiers of the HEUR type, which provided greater stability and lower viscosity of the samples.

**Keywords:** inorganic pigments; iron oxide; pigment dispersion.

## LISTA DE SIMBOLOS

°C – Temperatura em graus Celsius

G' – Módulo de Armazenamento

G'' – Módulo de Perda

µm – Micrometro

nm – Nanômetro

Hg – Hegman

Hz – Hertz

KU – Unidade Krebs

L, A, B, C – Coordenadas do sistema CIE LAB

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Reação de polimerização de adição via radical livre.....	18
Figura 2 - Reação de polimerização por condensação. ....	18
Figura 3 - Exemplo de biocida: Metil-isotiazolinona .....	19
Figura 4 - Grupos cromóforos de pigmentos orgânicos. ....	20
Figura 5 – Descrição dos três estágios de umectação de uma partícula sólida em meio líquido. (a) partícula seca. (b) umectação adesiva. (c) umectação por alastramento. (d) umectação por imersão.....	22
Figura 6 – Dispersor do tipo Cowles. ....	23
Figura 7 – Etapas do processo de dispersão. a) aglomerado dos pigmentos. b) quebra dos aglomerados. c) estabilização. ....	24
Figura 8 – Processo de estabilização a) eletrostática. b) estérica.....	24
Figura 9 – Comportamento dos fluídos independentes do tempo. ....	25
Figura 10 – Comportamento dos fluídos dependentes do tempo.....	26
Figura 11 - Estrutura do agente dispersante tetrapirofosfato de sódio.....	28
Figura 12 - Estrutura de espessante do tipo HASE.....	29
Figura 13 - Estrutura de espessante tipo HEUR. ....	30
Figura 14 - Morfologia das partículas de óxido de ferro. a) romboédrica. b) acicular. ....	32
Figura 15 – Espaço de cor pelo sistema CIE LAB.....	34
Figura 16 – Cargas dos pigmentos. a) Vermelho óxido. b) Amarelo óxido. ....	37
Figura 17 – Processo de dispersão das pastas de pigmentos. ....	38
Figura 18 – Grindômetro de metal.....	40
Figura 19 – Equipamento. a) espectrofotômetro. b) esferas integradoras. ....	41
Figura 20 – Análise de viscosidade com o aumento da taxa de cisalhamento. ....	42
Figura 21 – Análises do ensaio tixotrópico. ....	43
Figura 22 - Ensaio de varredura de frequência. ....	44
Figura 23 - Distribuição de tamanho das partículas da dispersão dos pigmentos.....	46
Figura 24 - Espectro de absorção na região do visível. ....	47

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características de algumas resinas utilizadas nas formulações de tintas. .....	17
Tabela 2 - Coloração dos óxidos de ferro naturais. ....	30
Tabela 3 - Componentes utilizados na formulação das pastas de dispersão. ....	36
Tabela 4 - Relação entre a profundidade da partícula e a escala Hegman. ....	40
Tabela 5 - Viscosidade aparente das amostras com o passar do tempo em dias. ....	42
Tabela 6 - Média de viscosidade inicial, final e taxa de recuperação das amostras. ....	44
Tabela 7 - Tamanho e índice de polidispersão dos pigmentos em pó e das pastas de dispersão. ....	45
Tabela 8 - Grau de dispersão das partículas das pastas de dispersão. ....	46
Tabela 9 - Poder tintorial e as coordenadas LAB das pastas de dispersão dos pigmentos. ....	48
Tabela 10 - Desempenho das formulações. ....	48

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

3ITT – *Three Interval Thixotropy Test*

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABRAFATI – Associação Brasileira dos Fabricantes de Tintas

ASE – Emulsão Álcali Solúvel

CIE – *Commission Internationale de l'Eclairage*

CMC – Carboximetilcelulose

HASE – Emulsão Álcali Solúvel Hidrofobicamente Modificada

HEC – Hidroxietilcelulose

HEUR – Emulsão Uretânica Hidrofobicamente Modificada

IPD – Índice de Polidispersão

TPF – Tripolifosfato de sódio

TSPF – Tetrapirofosfato de sódio

UFC – Universidade Federal do Ceará

UV – Ultravioleta

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>14</b>
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	<b>16</b>
<b>2.1 Objetivo geral</b> .....	<b>16</b>
<b>2.2 Objetivos específicos</b> .....	<b>16</b>
<b>3. REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>16</b>
<b>3.1 Composição de uma tinta</b> .....	<b>16</b>
3.1.1 Solventes .....	16
3.1.2 Resina .....	17
3.1.3 Aditivos .....	18
3.1.4 Pigmentos.....	20
<b>3.2 Pasta de dispersão de pigmentos</b> .....	<b>21</b>
<b>3.3 Processo de dispersão</b> .....	<b>22</b>
<b>3.4 Reologia</b> .....	<b>24</b>
3.4.1 Modificadores reológicos .....	27
<b>3.5 Óxidos de ferro</b> .....	<b>30</b>
<b>3.6 Tamanho de partícula</b> .....	<b>32</b>
<b>3.7 Colorimetria</b> .....	<b>33</b>
<b>3.8 Poder tintorial</b> .....	<b>35</b>
<b>4. MATERIAIS E METODOS</b> .....	<b>35</b>
<b>4.1 MATERIAIS</b> .....	<b>35</b>
<b>4.2 METODOS</b> .....	<b>37</b>
4.2.1 Processo de dispersão .....	37
4.2.2 Caracterização físico-química .....	38
4.2.2.1 Viscosidade .....	38
4.2.2.2 Reologia .....	38
4.2.3 Caracterização das partículas .....	39
4.2.3.1 Espalhamento de luz dinâmico .....	39
4.2.3.2 Grau de dispersão do pigmento .....	39
4.2.4 Caracterização colorimétrica .....	40
4.2.4.1 Espectrofotometria na região do UV-Visível .....	40
4.2.4.2 Poder tintorial e Colorimetria .....	41
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>41</b>
<b>5.1 Análises físico-químicas</b> .....	<b>41</b>

5.1.1	Viscosidade .....	41
5.1.2	Ensaio de fluxo .....	42
5.1.3	Ensaio tixotrópico .....	43
5.1.4	Ensaio de varredura de frequência.....	44
<b>5.2</b>	<b>Análises das partículas .....</b>	<b>45</b>
5.2.1	Espalhamento de luz dinâmico.....	45
5.2.2	Grau de dispersão do pigmento .....	46
<b>5.3</b>	<b>Análises colorimétricas.....</b>	<b>47</b>
5.3.1	Espectrofotometria na região do UV-Visível .....	47
5.3.2	Poder tintorial e colorimetria .....	47
<b>5.4</b>	<b>Análise comparativa do desempenho das formulações .....</b>	<b>48</b>
<b>6.</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>49</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>50</b>

## 1. INTRODUÇÃO

As cores sempre fizeram parte do cotidiano dos seres humanos, seja para alertar contra os perigos da natureza, para embelezar paisagens ou pessoas. Ela é uma sensação resultante da interpretação do cérebro dos estímulos visuais pelas radiações visíveis (SILVA, 2014). Nas sociedades antigas, materiais capazes de proporcionar cores intensas e brilhantes eram empregados para colorir ambientes, sendo amplamente utilizados em pinturas corporais e de quadros. Com a industrialização, esses materiais passaram por processos mais complexos para serem empregados na proteção de superfícies (ABRAFATI, 2024a). Assim, a evolução da utilização de tintas pela sociedade enfrentou diversas mudanças para atender às demandas variadas.

Nesse contexto, as tintas imobiliárias ou arquitetônicas - uma classificação de tintas de revestimento, podem ser definidas como uma mistura homogênea composta por quatro principais materiais: solvente, resina, aditivos e pigmentos (FAZENDA, 2009). No Brasil, a indústria de tintas é bastante expressiva. O país se destaca globalmente por ser um dos cinco maiores mercados mundiais. Em 2023, o país produziu cerca de 1,88 bilhões de litros, sendo 75% desse total referente às tintas imobiliárias (ABRAFATI, 2024b). No cenário internacional, as tintas imobiliárias representam 57% do volume total produzido, impulsionadas pela construção civil e pela indústria automobilística - setores em ascensão em economias emergentes, como China, Índia e países da América do Sul (RÁCZ; YAMAGA, 2024). Além disso, devido à crescente busca por inovação e de valor agregado aos materiais, o mercado de tintas imobiliárias tem projeções para um crescimento contínuo até 2028 (SARAIVA, 2024).

A cor conferida às tintas é proporcionada pelos pigmentos, que podem ser de origem orgânica ou inorgânica. Eles são constituídos por um material sólido finamente dividido, insolúvel, que deve estar bem disperso no meio. Além da cor, os pigmentos também fornecem à tinta opacidade e outras características de resistência (PATTON, 1979).

A utilização de pigmentos em tintas imobiliárias se dá de duas maneiras: durante o processo de fabricação - na etapa de tingimento, ou por meio do sistema

tintométrico, onde a base do produto é tingida na loja com o uso de pastas de pigmentos. Uma máquina lança com precisão a quantidade ideal de base e de pigmento necessária para atingir a cor pretendida, sendo homogeneizado em seguida (SILVA, 2014).

O processo para a produção dos pigmentos utilizados em indústrias de tintas, consiste principalmente na dispersão desse material com o uso de alguns aditivos que facilitam uma distribuição homogênea das partículas. É comum que agentes umectantes, dispersantes, estabilizadores e alguns modificadores reológicos sejam empregados para melhorar a dispersão do pigmento e potencializar as suas propriedades na aplicação. Assim, uma boa dispersão do pigmento é essencial para obter uma cor e cobertura ideais, brilho elevado e resistência às intempéries (AGBO et al., 2018).

Para uniformizar a identificação das cores entre os observadores, a *Commission Internationale de l'Eclairage* (CIE) desenvolveu um modelo matemático com três espaços de cor, sendo o sistema CIE LAB o mais utilizado para avaliar as cores (SILVA, 2014). Esse sistema é composto por três coordenadas: O eixo L representa a luminosidade, variando do preto (valor mínimo) ao branco (valor máximo); o eixo A representa a variação entre o verde e o vermelho; e o eixo B que representa a variação entre o amarelo e o azul. Os instrumentos empregados na avaliação da qualidade da cor de uma tinta são o espectrofotômetro, que compara a luz emitida e a luz refletida por um objeto, e o colorímetro, que analisa as características cromáticas de um objeto. Os dois dispositivos utilizam as coordenadas no espaço de cor do sistema CIE LAB (“Entendendo o Espaço de Cor L\*a\*b\*”, 2024)

Desse modo, é essencial garantir uma excelente dispersão do pigmento para obter melhores resultados nos instrumentos de análise. No contexto de pigmentos disperso em pastas, para alcançar uma maior precisão das coordenadas LAB, maior poder de cobertura e maior poder tintorial, é fundamental que as partículas estejam bem dispersas e tenham um tamanho uniforme (BUXBAUM; PFAFF, 2005). Dessa forma, esse trabalho busca analisar as diferenças obtidas a partir de mudanças na formulação e no processo de produção de pastas de pigmentos inorgânicos buscando alcançar um melhor poder tintorial e um processo mais eficiente.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

Avaliar a reformulação da estrutura química da pasta de dispersão dos pigmentos vermelho e amarelo óxido para obter uma melhora no poder tintorial e no processo de fabricação.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Caracterizar as pastas dos pigmentos de óxido de ferro;
- Melhorar o poder tintorial das pastas dos pigmentos de óxido de ferro;
- Melhorar a estabilidade das pastas de dispersão dos pigmentos de óxido de ferro;
- Melhorar a dispersão da pasta dos pigmentos de óxido de ferro.

## **3. REFERENCIAL TEÓRICO**

### **3.1 Composição de uma tinta**

As tintas são compostas por quatro principais materiais: solvente -, responsável por solubilizar a resina e diminuir a viscosidade da tinta; resina, que confere as características fundamentais, como brilho, aderência e resistência, além de atuar como agente de ligação entre os demais componentes; aditivos, que proporcionam propriedades específicas, como secagem rápida ou resistência a intempéries; e pigmentos, que são responsáveis pela coloração das tintas. A combinação desses componentes resulta em uma mistura homogênea com características específicas, dependendo da proporção de cada material (LAMBOURNE; STRIVENS, 1999).

#### **3.1.1 Solventes**

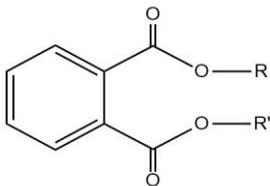
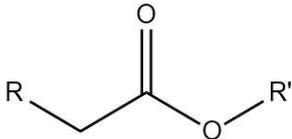
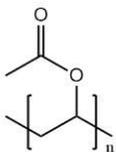
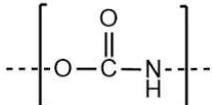
Os solventes constituem a parte volátil da tinta, onde os materiais são dissolvidos. Eles desempenham um papel crucial na regulação de uma viscosidade adequada para a aplicação da tinta. Além disso, por serem responsáveis por diluir a resina, os solventes também contribuem para o controle do nivelamento do filme, garantindo a homogeneidade da mistura e influenciando no brilho e na taxa de evaporação (LAMBOURNE; STRIVENS, 1999).

### 3.1.2 Resina

A resina - parte não volátil das tintas, é formada por um composto polimérico, podendo ser de cadeia longa ou curta. A partir dela, forma-se o filme que agrega as partículas dispersas na mistura. Ele é formado quando o solvente evapora e as macromoléculas se ligam umas às outras. O tipo de polímero utilizado na composição da resina determina o tipo da tinta (MÜLLER; POTH, 2019).

Há diversos tipos de resina utilizados na fabricação de tintas arquitetônicas, que, dependendo do monômero, auxiliam na agregação das partículas, fornecem maior resistência à abrasão ou uma secagem mais rápida. O monômero utilizado na fabricação da resina também proporciona melhoria no desempenho para a aplicação de tintas imobiliárias (FAZENDA, 2009), como pode ser observado na Tabela I.

Tabela 1 - Características de algumas resinas utilizadas nas formulações de tintas.

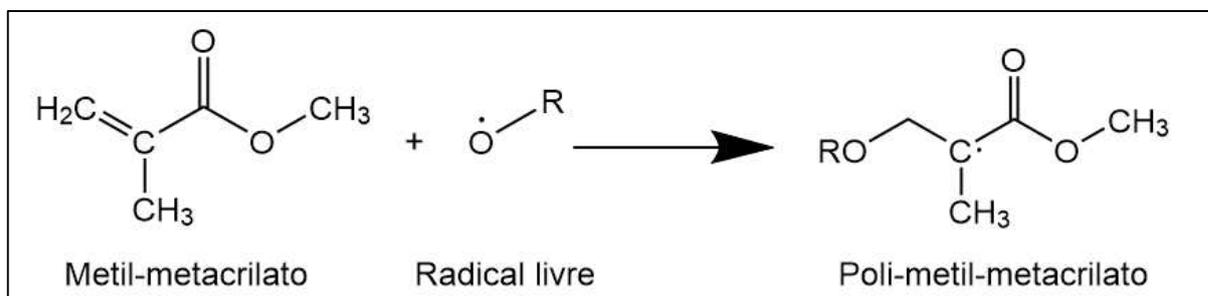
Tipos de Resina	Exemplo de estrutura	Características
Alquídicas	 <p>Éster de anidrido ftálico</p>	São poliéster produzidos a partir de óleos ou ácidos graxos modificados com ácidos anidros, possuem secagem mais rápida e resistência ao amarelamento
Acrílicas	 <p>Acrilato substituído</p>	Produzidas a partir de derivados de acrilatos e metacrilatos, possuem elevada resistência a intempéries, dureza, retenção de cor e resistência a água
Vinílicas	 <p>Acetato de polivinila</p>	Emulsões produzidas a partir do acetato de vinila, possuem elevada dureza, coalescência, resistência a água e flexibilidade
Poliuretânicas	 <p>Grupo isocianato</p>	Produzidas a partir da reação grupo do isocianato com hidrogênio altamente reativo, possuem resistência a abrasão e as intempéries

Fonte: Adaptado de Muller e Poth, (2019).

Para a obtenção das principais resinas utilizadas em tintas arquitetônicas, os métodos predominantes são a reação de polimerização de adição via radical livre (Figura 1) e a polimerização por condensação (Figura 2) (FAZENDA, 2009).

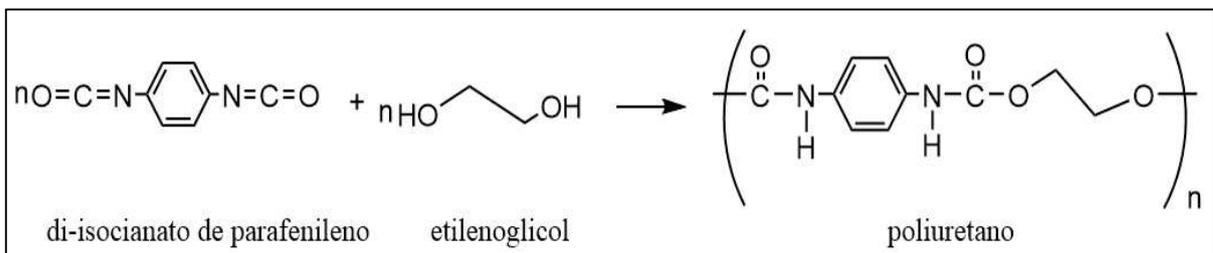
Na reação de adição via radical livre, monômeros insaturados se combinam para formar uma cadeia polimérica. Enquanto que na polimerização por condensação, ocorre a reação entre monômeros contendo grupos funcionais que reagem entre si, formando uma cadeia polimérica (CAREY, 2000).

Figura 1 - Reação de polimerização de adição via radical livre.



Fonte: Adaptado de Carey (2000).

Figura 2 - Reação de polimerização por condensação.



Fonte: Adaptado de Carey (2000).

O processo de secagem dessas resinas é fundamental para obter as propriedades de revestimento desejadas. Esse processo é influenciado pelos monômeros utilizados na formulação da resina e por aditivos específicos. Esses aditivos, que podem ser incorporados à formulação, auxiliam na reticulação do material, proporcionando outras características desejáveis ao produto final (BIERWAGEN; HUOVINEN; BHUIYAN, 2017).

### 3.1.3 Aditivos

Os aditivos são compostos químicos capazes de conferir características especiais as tintas. Mesmo em pequenas quantidades na formulação, eles geram

grande influência na qualidade, aplicabilidade, estabilidade e, até mesmo, no processo de produção (MÜLLER; POTH, 2019). Desse modo, os aditivos podem ser classificados em quatro tipos diferentes: aditivos de cinética, aditivos de reologia, aditivos de processo e aditivos de preservação (YAMANAKA et al., 2006). De acordo com a complexidade dos compostos da tinta, um aditivo pode adquirir funções múltiplas, sendo necessário que o formulador compreenda bem cada tipo de aditivo para manter uma formulação equilibrada.

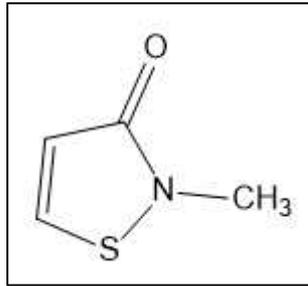
Os aditivos de cinética são divididos em três tipos: os agentes secantes - que promovem a cura ou secagem da resina; os catalisadores, que promovem o aumento da velocidade das reações; e os agentes antipeles, que retardam a formação de uma película na superfície da tinta que está em repouso, promovendo a estabilidade do produto em estoque (FAZENDA, 2009).

Os aditivos de reologia são responsáveis por regular as características de fluidez do material, proporcionando meios controlados para isso. Eles são classificados em dois tipos principais: os silicatos estratificados organicamente modificados - que formam um gel após sua completa umectação e adição de um ativador polar; e os compostos orgânicos especiais, que podem ser encontrados na forma de pó, pasta ou líquido. Esses aditivos tendem a modificar a viscosidade do material, influenciando diretamente em sua fluidez e aplicabilidade (PEIFER, 2006).

Os aditivos de processo são materiais que facilitam a etapa de produção da tinta. Em geral, são utilizados para melhorar a dispersão do sistema, facilitar a desagregação das moléculas e evitar a formação de espumas durante a fabricação. Dentre os compostos mais utilizados, encontram-se os surfactantes, que - por serem compostos anfifílicos, diminuem a tensão superficial entre as fases e melhoram a umectação dos compostos (MÜLLER; POTH, 2019).

Por fim, os aditivos de conservação, são compostos utilizados para preservar a tinta por mais tempo. Os compostos biocidas utilizados são derivados de isotiazolinona (Figura 3) que possuem a capacidade de eliminar microrganismos (WANG et al., 2022; YAMANAKA et al., 2006)

Figura 3 - Exemplo de biocida: Metil-isotiazolinona



Fonte: Adaptado de Wang et al. (2022).

### 3.1.4 Pigmentos

De acordo com Müller e Poth (2019, p.16), “os pigmentos são partículas praticamente insolúveis na composição da tinta ou revestimento”. Eles podem ser compostos por substâncias orgânicas ou inorgânicas e tem a função de oferecer proteção contra corrosão por meio da proteção catódica, de barreira e liberação de inibidores. Além disso, os pigmentos são responsáveis por fornecer cor e embelezamento às tintas ou revestimentos (BIERWAGEN; HUOVINEN; BHUIYAN, 2017). Devido ao seu tamanho finamente dividido, é importante que um processo de dispersão seja feito de forma eficiente para garantir a homogeneidade e uniformidade do tamanho das partículas e o melhor desempenho na aplicação de tintas arquitetônicas (HARAMAGATTI et al., 2018).

Os pigmentos orgânicos possuem compostos carbônicos em sua estrutura. Eles são classificados com base na composição química do seu grupo cromóforo (Figura 4) (HERBST; HUNGER, 2004). Esses pigmentos são menos resistentes às reações fotoquímicas, pois a radiação ultravioleta intensifica a quebra das ligações  $\pi$  presente em sua estrutura (MÜLLER; POTH, 2019).

Figura 4 - Grupos cromóforos de pigmentos orgânicos.

$- N = N -$	Azo
$- CH = N -$	Azometino
$\text{>C} = O$	Carbonil
$- N = NO -$	Azóxi
$\text{>C} = S$	Tiocarbonila
$- N = O$	Nitroso
$\text{>C} = C \text{<}$	Etenodilideno

Fonte: Fazenda (2009).

Por outro lado, os pigmentos inorgânicos são mais resistentes à luz, devido à força das suas ligações (AGBO et al., 2018). Eles podem ser classificados como: brancos, coloridos, pretos, de efeito, de efeito metálico, com brilho perolado, de interferência, luminescentes, fluorescentes e fosforescentes. De modo geral, os pigmentos inorgânicos são considerados mais estáveis e resistentes às reações fotoquímicas, o que garante a tinta maior resistência a luz e as intempéries (BUXBAUM; PFAFF, 2005).

Para obter o melhor desempenho dos pigmentos nas tintas, ou seja, a melhor opacidade e o melhor poder tintorial, é necessário que o material esteja bem disperso e com um tamanho de partícula uniforme. Assim, o uso de uma solução concentrada do pigmento dispersa no solvente tem se mostrado eficiente ao entrar em contato com os outros componentes da mistura, por facilitar a interação com a resina e garantir uma maior fixação, utilizando a menor quantidade possível de pigmento após a formação do filme (PARICAGUAN; MUÑOZ; SÁENZ-PALENCIA, 2022).

### **3.2 Pasta de dispersão de pigmentos**

O pigmento - quando está bem disperso, desempenha um papel crucial na formulação das tintas, especialmente no setor de tintas imobiliárias. As dispersões em pasta compõem uma etapa fundamental do processo produtivo de tintas de alta performance, uma vez que possibilita um melhor uso dos pigmentos em tintas arquitetônicas (LOPEZ, 2023).

De acordo com Fazenda (2009), esse processo permite incorporar as partículas de um pigmento no meio formador da tinta, quebrando mecanicamente os aglomerados e permitindo uma melhor umectação e interação com os outros componentes da tinta.

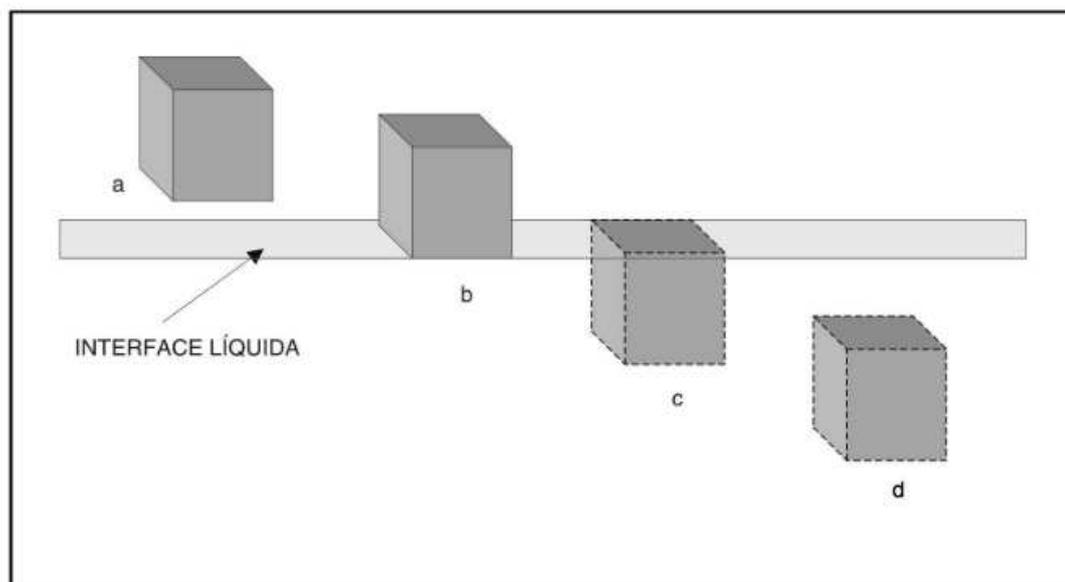
Nesse sentido, as dispersões aquosas de pigmentos conferem melhorias quanto à reologia, compatibilidade e estabilidade em tintas à base água, sendo, portanto, uma estratégia eficaz para otimizar a qualidade e o desempenho desses materiais (LADEN, 1997).

### 3.3 Processo de dispersão

Conforme descrito por Wicks, Jones e Pappas (2001), o processo de dispersão compreende três etapas fundamentais: a umectação do material particulado, a quebra dos aglomerados e a estabilização do material.

A umectação do material particulado torna-se espontânea quando as partículas estão completamente imersas na interface líquida e é potencializado pela ação dos aditivos de processo. Esse fenômeno passa por três estágios distintos antes de tornar-se espontâneo: o estágio adesivo - quando o sólido toca a interface líquida, o estágio de alastramento, quando uma gota da interface líquida começa a se espalhar na superfície do sólido; e o estágio de imersão, quando o sólido está totalmente submerso na interface líquida (Figura 5) (FAZENDA, 2009).

Figura 5 – Descrição dos três estágios de umectação de uma partícula sólida em meio líquido. (a) partícula seca. (b) umectação adesiva. (c) umectação por alastramento. (d) umectação por imersão.



Fonte: Fazenda, 2009.

De acordo com Agbo *et al.* (2018), a quebra dos aglomerados de pigmento ocorre durante o processo de dispersão. Desse modo, à medida que as partículas são dispersadas, elas se distribuem uniformemente por todo o sistema, o que ocorre sem moer os sólidos. Para complementar, Fazenda (2009) afirma que esse processo pode ser realizado utilizando um dispersor do tipo cowles (Figura 6). Ele consiste em um disco serrado com bordas alternadas montadas em um eixo de alta velocidade de

rotação, permitindo a umectação da superfície externa/interna de cada partícula. Esse equipamento aplica uma tensão de cisalhamento sobre os aglomerados, buscando separá-los. Dependendo da característica físico-química e da natureza dos pigmentos, é necessário utilizar rotações mais altas para a quebra eficaz dos aglomerados.

Cardoso *et al.* (2016) evidenciaram que o dispersor do tipo cowles foi eficiente na redução do grau de floculação e aumento da área de contato de partículas de argila dispersa em água (CARDOSO *et al.*, 2016).

Além disso, para um eficiente uso desse equipamento é necessário que a sua velocidade e a viscosidade do material proporcionem a formação de um vórtice, de modo que a partícula que esteja localizada na superfície se mova até o fundo antes de completar uma volta no tanque de mistura (SHREVE; JR, 1997).

Figura 6 – Dispersor do tipo Cowles.

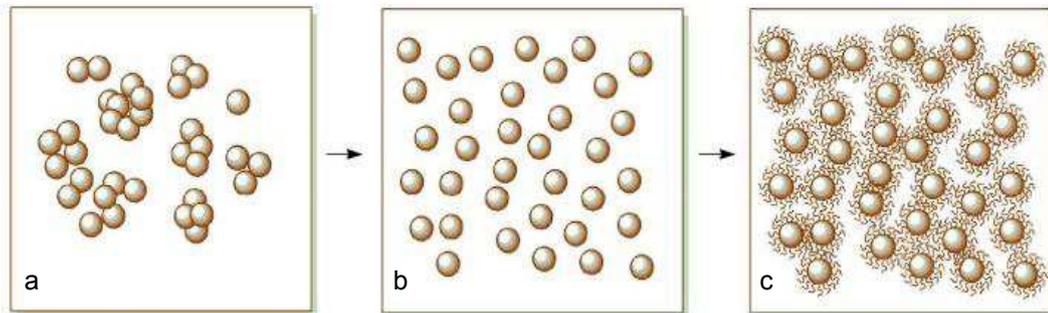


Fonte: O autor, 2024.

A quebra mecânica dos aglomerados, segundo Agbo *et al.* (2018), refere-se à ruptura das forças atrativas entre as partículas. Ou seja, as forças de atração intermoleculares presentes nesse processo são forças adesivas e coesivas, que atuam entre as moléculas das partículas dos aglomerados. Essas interações podem ser do tipo forças de Van der Waals, forças de London ou forças Coulombicas, que podem ser superadas pela aplicação de uma energia mecânica externa, como agitação, moagem ou cisalhamento. Quando essas forças são excedidas, os aglomerados se desintegram em partículas menores, resultando em uma dispersão mais uniforme e estável.

Posterior a quebra dos aglomerados, ocorre a estabilização das partículas para garantir a eficiência do processo de dispersão. Nessa etapa, é essencial que as partículas dispersas sejam distribuídas uniformemente no meio, evitando a floculação e mantendo a estabilidade da dispersão ao longo do tempo (AGBO et al., 2018). As etapas do processo de dispersão estão evidenciadas na Figura 7.

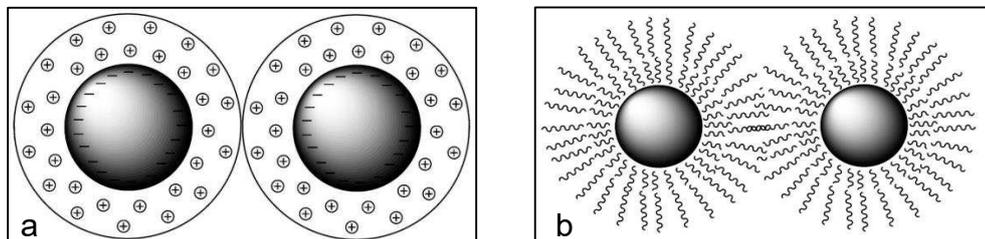
Figura 7 – Etapas do processo de dispersão. a) aglomerado dos pigmentos. b) quebra dos aglomerados. c) estabilização.



Fonte: Agbo *et al.* (2018).

Brander e Thorn (1997) explicam que a estabilização das partículas de pigmentos pode ocorrer por dois mecanismos principais. O primeiro é o mecanismo eletrostático, no qual há uma repulsão entre partículas com cargas de superfície iguais ao se aproximarem (Figura 8a). O segundo é o mecanismo estérico, que ocorre quando um grupo de moléculas presentes na superfície da partícula se organiza de modo a formar uma barreira física, dificultando a formação de aglomerados (Figura 8b).

Figura 8 – Processo de estabilização a) eletrostática. b) estérica.



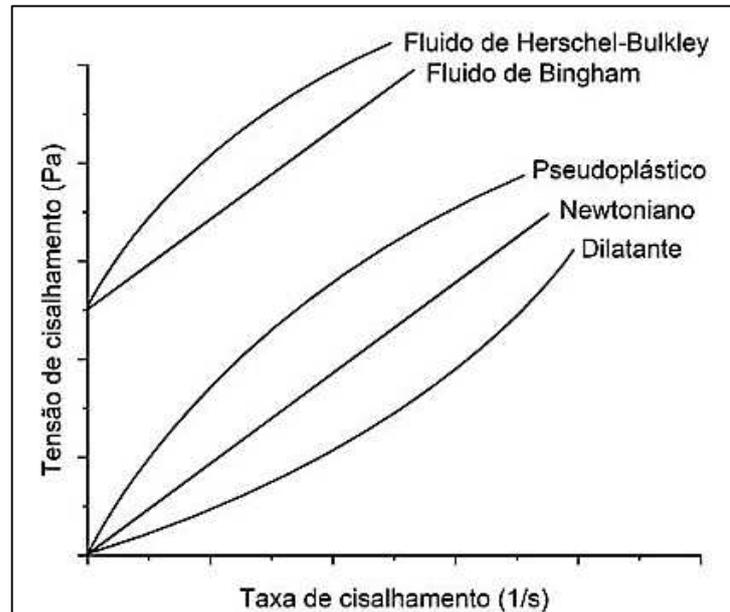
Fonte: Agbo *et al.* (2018).

### 3.4 Reologia

De acordo com Shaw (1992), a reologia é a ciência da deformação e do fluxo da matéria, contribuindo para entender melhor os sistemas coloidais. De modo

complementar, Perry (1997) afirma que a reologia analisa as deformações e tensões de um fluido. Nesse sentido, para o estudo das deformações e tensões sofridas pelos fluidos, é possível classificá-los como: Newtonianos, que apresentam uma curva de fluxo linear e não Newtonianos, que possuem uma curva de fluxo não linear (Figura 9).

Figura 9 – Comportamento dos fluidos independentes do tempo.

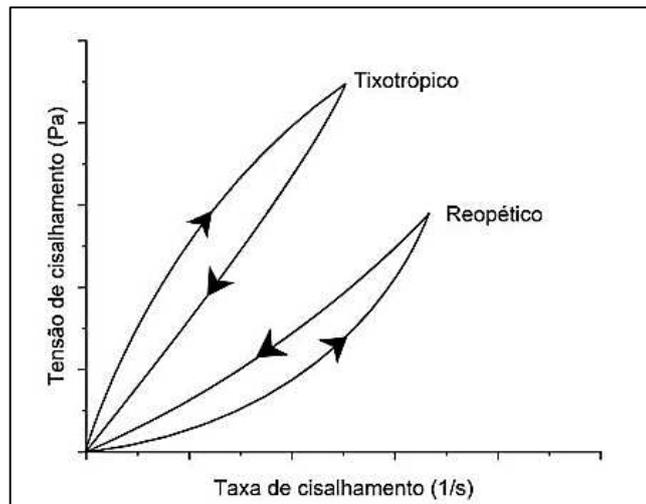


Fonte: Adaptado de Machado *et al.* (2022).

No contexto de dispersão de pigmentos, a reologia desempenha um papel crucial na compreensão do comportamento das pastas de pigmento. A eficiência da dispersão e a estabilidade do sistema são influenciadas diretamente pelas propriedades reológicas da pasta (BUXBAUM; PFAFF, 2005).

A viscosidade é uma propriedade fundamental a ser analisada pela reologia. Em um fluido Newtoniano, ela independe da taxa de cisalhamento aplicada e depende do material, temperatura e pressão. Os fluidos não Newtonianos podem ser dependentes do tempo (tixotrópicos e reopéticos) (Figura 10), ou independentes do tempo (fluido de Herschel-Bulkley, fluido de Bingham, pseudoplástico e dilatante), onde a sua viscosidade varia com a taxa de cisalhamento (MACHADO *et al.*, 2022).

Figura 10 – Comportamento dos fluídos dependentes do tempo.



Fonte: Adaptado de Machado *et. al.* (2022).

Os fluídos não Newtonianos dependentes do tempo mudam a sua viscosidade com o aumento da taxa de cisalhamento, recuperando-se quando o cisalhamento diminui ou é cessado. A característica tixotrópica é um comportamento no qual a viscosidade diminui com o aumento da taxa de cisalhamento e se recupera quando o cisalhamento é reduzido. A característica reopética é o contrário, a viscosidade aumenta com o cisalhamento e diminui quando o cisalhamento é reduzido (PERRY, 1997).

Para as dispersões, o comportamento tixotrópico é mais interessante, uma vez que permite que a pasta de pigmento flua facilmente durante a mistura e aplicação, mas recupere sua viscosidade para evitar escorrimento e sedimentação dos pigmentos após a aplicação (MACHADO *et al.*, 2022).

Para avaliar o comportamento reológico desse tipo de sistema são utilizados diversos tipos de ensaios. Entre os métodos mais usados, Machado *et al.* (2022) destaca o ensaio de fluxo, o ensaio tixotrópico e o ensaio de varredura de frequência.

O ensaio de fluxo é utilizado para analisar como a viscosidade aparente do material se comporta em diferentes taxas de cisalhamento. Nesse tipo de ensaio, a amostra é submetida a um pré-cisalhamento para remover quaisquer tensões adicionais relacionadas às condições de armazenamento e de carregamento do material. Em seguida, a viscosidade aparente é medida variando a taxa de

cisalhamento, desde valores muito baixos até valores muito altos, para avaliar o comportamento da amostra em diferentes etapas do processo (RAMIRO, 2019).

O método mais conhecido para a realização do ensaio tixotrópico é o método 3ITT (*Three Interval Thixotropy Test*), o qual, de acordo com Machado *et al.* (2022), submete a amostra a três estágios de variação da taxa de cisalhamento. Inicialmente, aplica-se uma taxa de cisalhamento baixa, seguida de uma taxa mais elevada, e retorna para a taxa de cisalhamento menor. Este procedimento permite observar a desestruturação da amostra sob alta taxa de cisalhamento e sua regeneração quando esse parâmetro é reduzido.

O ensaio de varredura de frequência é utilizado para analisar o estado viscoelástico do material. Nele, a amostra é submetida a uma pequena deformação, enquanto a frequência é variada. O material responde em termos do módulo de armazenamento ( $G'$ ), ou seja, a quantidade de energia armazenada e recuperada por ciclo de deformação, e do módulo de perda ( $G''$ ), que indica a quantidade de energia dissipada por cada ciclo devido ao fluxo viscoso dentro do material. Isso permite inferir que: se o  $G'$  for maior do que  $G''$ , o material possui um comportamento elástico, como um sólido; se o  $G'$  for menor do que o  $G''$ , o material apresenta um comportamento viscoso, como um líquido; e, se os dois parâmetros foram iguais, pode indicar um estado de transição de fase do estado sólido para o estado de gel (MACHADO *et al.*, 2022).

A análise desse resultado é crucial para verificar a eficiência de formulações quanto à reologia, uma vez que podem ser utilizados aditivos que modificam essa propriedade do produto e a sua estabilidade, avaliando, também, o uso de dispersões de pigmentos em tintas arquitetônicas.

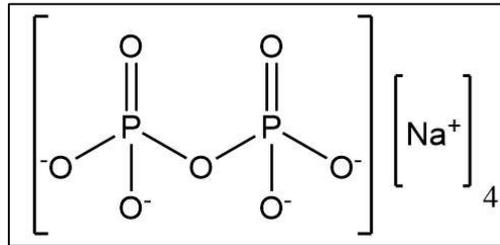
#### **3.4.1 Modificadores reológicos**

Para garantir o comportamento reológico desejável em uma dispersão de pigmentos, são utilizados aditivos que modificam essa propriedade. Os aditivos que modificam a reologia da dispersão podem ser divididos em dois tipos: dispersantes e espessantes (PATTON, 1979).

Os dispersantes utilizados para garantir e melhorar a dispersão das cargas também podem ser do tipo dispersante e umectante, que, além de auxiliarem na quebra dos aglomerados do pigmento, são adsorvidos na superfície da partícula e,

por meio da repulsão eletrostática ou impedimento estérico, evita a aglomeração do material. Em dispersões de pigmento metálicos, esses aditivos são formados por sais de fosfato (Figura 11) que formam complexos facilmente com os íons metálicos, além de manter a estabilidade da dispersão, evitando a reaglomeração (PIRRUNG; MÜLLER-CRISTADORO, 2021).

Figura 11 - Estrutura do agente dispersante tetrapirofosfato de sódio.



Fonte: Adaptado de Plury Química (2022).

Os espessantes são utilizados para garantir o controle da viscosidade do fluido e da estabilidade da dispersão. Os espessantes em geral são compostos poliméricos de alta massa molar que absorve a água do meio, reduzindo a fluidez da dispersão. Eles podem ser formados por compostos poliméricos naturais, como a hidroxietilcelulose (HEC) ou a carboximetilcelulose (CMC), que tendem a elevar a viscosidade do meio ao absorver a água presente na solução e reduzir a sua mobilidade (DE SOUZA et al., 2017).

Para a melhoria do controle da reologia dos materiais e, diferente dos espessantes convencionais, menor sensibilidade a ação microbológica, novas tecnologias para modificadores reológicos surgiram, conforme evidenciado por De Souza *et. al.* (2017).

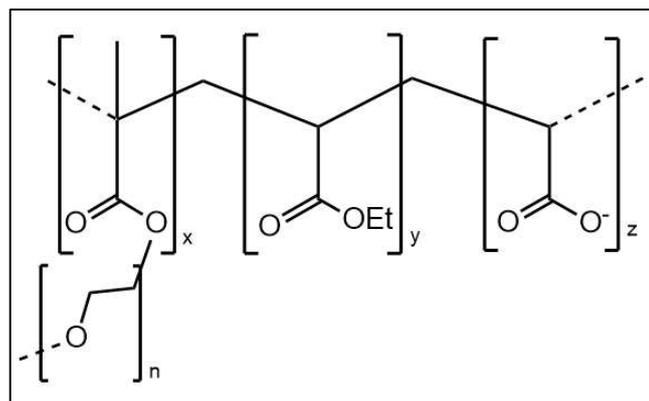
Nesse sentido, há diferentes tipos de espessantes disponíveis, como os formados por uma Emulsão Álcali Solúvel (ASE), que são geralmente copolímeros de ácido acrílico e acrilatos que se dissolvem em soluções alcalinas, aumentando a viscosidade aparente do fluido. Isso ocorre pois, ao ser solubilizado em meio alcalino, os grupos ácido são ionizados a carboxilato e, devido a repulsão eletrostática no interior da cadeia gerada pela formação dos ânions, ocorre um aumento do raio hidrodinâmico da molécula, reduzindo a mobilidade do fluido (DE SOUZA et al., 2017).

Além desse tipo de espessante, também há os espessantes aniônicos associativos, definidos como polímeros solúveis em água que aumentam a viscosidade dos fluidos, por meio da formação de uma rede entre as partículas

presentes na emulsão, quando adsorvidos na superfície delas, criando interações que estabilizam a dispersão e aumentam a viscosidade do fluido (NUNES et al., 2016).

Strauss e Jakson (1951) iniciaram os estudos com esses polímeros solúveis em água com grupamentos hidrofóbicos, uma vez que essa modificação facilita as interações entre as partículas e o polímero, promovendo uma estrutura mais robusta e uma ação espessante mais eficiente e controlada (STRAUSS; JACKSON, 1951). A partir disso, foram desenvolvidos espessantes aniônicos associativos modificados para melhorar a aplicação desse tipo de aditivo, como os espessantes formados por uma Emulsão Álcali Solúvel Hidrofobicamente Modificada (HASE) (Figura 12), que são copolímeros, semelhante aos do tipo ASE, que possuem grupos hidrofóbicos ligados à estrutura polimérica.

Figura 12 - Estrutura de espessante do tipo HASE.



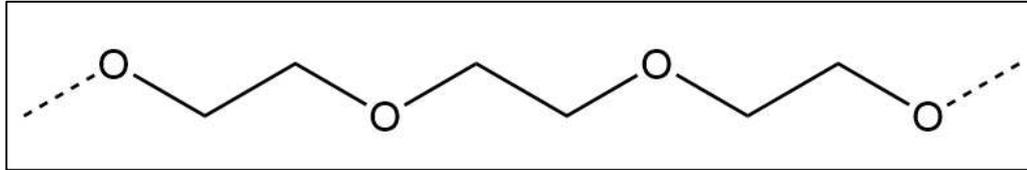
Fonte: Adaptado de De Souza et al. (2017).

Essa modificação proporciona uma interação com grupos hidrofóbicos presentes nas formulações, as quais resultam na formação de agregados e redes tridimensionais dentro da solução, aumentando significativamente a viscosidade. Além disso, também promove uma estabilidade maior do produto final, prevenindo a floculação e sedimentação dos pigmentos (DE SOUZA et al., 2017).

Um outro tipo de espessante associativo modificado são aqueles que possuem polímeros não iônicos na cadeia, com grupos hidrofóbicos e uretano, ou seja, uma Emulsão Uretânica Hidrofobicamente Modificada (HEUR) (Figura 13). Eles promovem uma interação no interior da cadeia polimérica e com outras partículas hidrofóbicas presentes na formulação através de forças de Van der Waals. Isso resulta em uma rede tridimensional que aumenta a viscosidade da solução, conforme evidenciado por Haramagatti *et. al.* (2018), que identificou a interação desse tipo de

espessante com surfactantes não iônicos em uma dispersão de pigmento amarelo óxido.

Figura 13 - Estrutura de espessante tipo HEUR.



Fonte: Adaptado de De Souza et al. (2017).

Assim, é evidente que a modificação hidrofóbica na cadeia polimérica de espessantes acrílicos, tanto para os do tipo HASE, como do tipo HEUR, proporciona um aumento das interações desse material com os outros componentes da formulação, ocasionando uma melhoria significativa na estabilidade de dispersões de pigmentos, bem como um bom nivelamento e resistência ao escorrimento do produto final (DE SOUZA et al., 2017).

### 3.5 Óxidos de ferro

Os pigmentos inorgânicos são conhecidos por serem mais estáveis e resistentes. Aqueles formados por óxidos possuem a estabilidade como uma característica evidente devido à elevada proteção do seu substrato, conferindo maior resistência aos processos fotoquímicos. Desse modo, além da estabilidade, os pigmentos de óxido de ferro têm sido utilizados como pigmentos industriais por possuírem uma elevada variedade de cor e boa relação entre desempenho e preço (BUXBAUM; PFAFF, 2005).

Embora os pigmentos inorgânicos tenham origem mineral, eles também podem ser produzidos sinteticamente a partir de pigmentos minerais. Os óxidos de ferro, por exemplo, possuem estruturas conhecidas tanto nos pigmentos de origem mineral quanto nos sintéticos (BUXBAUM; PFAFF, 2005).

Tabela 2 - Coloração dos óxidos de ferro naturais.

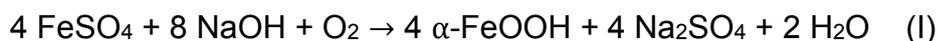
Mineral	Fórmula	Cor
Goethita	$\alpha\text{-FeOOH}$	Amarelo ocre
Hematita	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	Vermelho ocre

Maghemita	$\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$	Marrom
Magnetita	$\text{Fe}_3\text{O}_4$	Preto

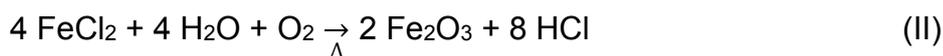
Fonte: Adaptado de Eastaugh *et al.* (2004).

A Tabela 2 apresenta a fórmula química e a coloração dos principais minerais utilizados como pigmento de óxidos de ferro, sendo a goethita e a hematita responsáveis pela coloração amarelo e vermelho ocre utilizados na elaboração das pastas de pigmentos, respectivamente.

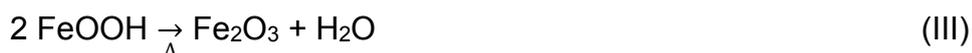
A goethita é um mineral composto majoritariamente por hidróxido de óxido de ferro ( $\alpha\text{-FeOOH}$ ). Ele possui uma coloração amarelada e é formado a partir da micronização do mineral ou de maneira sintética. Na maneira sintética, ocorre a precipitação do sulfato de ferro (II) ( $\text{FeSO}_4$ ) em meio básico, sendo o  $\text{FeSO}_4$  oxidado pelo ar (Equação I) (BUXBAUM; PFAFF, 2005, p.102). O tempo de reação e a temperatura vão depender do tamanho de partícula desejado.



Os pigmentos derivados do óxido de ferro, que apresentam tonalidade avermelhada, são originados do minério hematita ( $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ). Esse pigmento é formado através da cristalização do minério em solução aquosa pela decomposição do cloreto de ferro (II) ( $\text{FeCl}_2$ ) (Equação II) (CHANEAC; DUCHATEAU; ABOU-HASSAN, 2016).

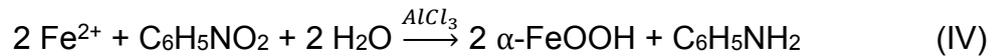


Além disso, é possível obter esse pigmento naturalmente quando a goethita, presente em regiões mais quentes, é aquecida a temperaturas próximas a 900 °C (Equação III). Esse minério possui uma cor intensa e uma notável estabilidade, o que justifica seu valor como pigmento de cor vermelha (EASTAUGH *et al.*, 2004).



Os pigmentos de óxido de ferro de alta qualidade podem ser produzidos por meio do Processo Laux. Foi observado que ao modificar o processo adicionando uma solução de cloreto de alumínio ( $\text{AlCl}_3$ ) para reduzir o nitrobenzeno ( $\text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_2$ ), promovia a formação do pigmento amarelo de qualidade elevada e, ao calcinar esse produto, formava pigmentos avermelhados. O nitrobenzeno oxida o  $\text{Fe}^{2+}$  para  $\text{Fe}^{3+}$  e

é adicionado gradualmente no meio reacional sob agitação (Equação IV) (BUXBAUM; PFAFF, 2005, p.102).

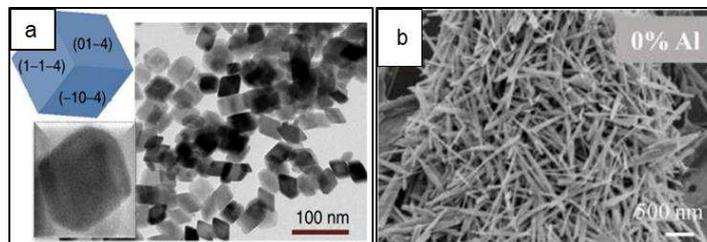


Desse modo, observa-se que o Processo Laux é um método eficiente que possibilitou a elaboração de pigmentos de óxido de ferro de alta qualidade (MLECZKO et al., 2008).

### 3.6 Tamanho de partícula

Algumas propriedades dos pigmentos derivados de óxido de ferro variam de acordo com o método de fabricação. A hematita pode assumir uma estrutura romboédrica (Figura 14a), com tamanho médio de partícula variando de 0,35 a 0,90  $\mu\text{m}$ , dependendo do modo de produção (ZANDI; BEARDSLEE; HAMANN, 2014). Em comparação, a goethita apresenta uma estrutura acicular (Figura 14b), com tamanho médio de partícula variando de 0,2 a 1,5  $\mu\text{m}$  (KAKUTA; NUMATA; OKAYAMA, 2014).

Figura 14 - Morfologia das partículas de óxido de ferro. a) romboédrica. b) acicular.



Fonte: Adaptado de Chaneac; Duchateau; Abou-Hassan (2016, p. 226) e Liang et al (2024)

Partículas menores proporcionam uma melhor dispersão, e uma cor mais intensa, enquanto a estrutura do cristal influencia a estabilidade da cor e a reflexão da luz. Portanto, o controle dessas características durante a fabricação é crucial para proporcionar um melhor desempenho na produção de tintas.

De acordo com Agbo *et. al.* (2018) e Fazenda (2009), alguns métodos podem ser utilizados para determinar o tamanho de partícula. Dentre eles, o espalhamento de luz dinâmica (DLS), que mede a variação da intensidade da luz dispersa quando um laser passa através de uma amostra contendo partículas em movimento browniano. Outro método utiliza o grindômetro, que é uma ferramenta simples, usada para medir o tamanho máximo das partículas de pigmentos inorgânicos, ao espalhar uma certa quantidade de material na canaleta da ferramenta

e observar a formação de faixas derivadas de partículas não dispersas ou aglomerados em determinada profundidade. Embora eficaz para detectar partículas grandes, o grindômetro não consegue medir com precisão distribuições de partículas muito pequenas ou uniformes.

Esses métodos são fundamentais para assegurar a qualidade e a estabilidade das dispersões de pigmentos, influenciando diretamente na intensidade da cor e na uniformidade dos produtos finais.

### **3.7 Colorimetria**

Uma das principais análises para caracterizar a dispersão de um pigmento em pasta é a análise colorimétrica. A partir dela é possível identificar variações da cor ocasionadas por uma má dispersão ou má interação entre os produtos da formulação (PATTON, 1979). Essa análise também é fundamental para o controle de qualidade de tintas arquitetônicas.

A colorimetria pode ser definida como a ciência que quantifica e descreve a percepção humana das cores. Ela se baseia nos princípios físicos da luz e na percepção das cores pelo olho humano (BUXBAUM; PFAFF, 2005).

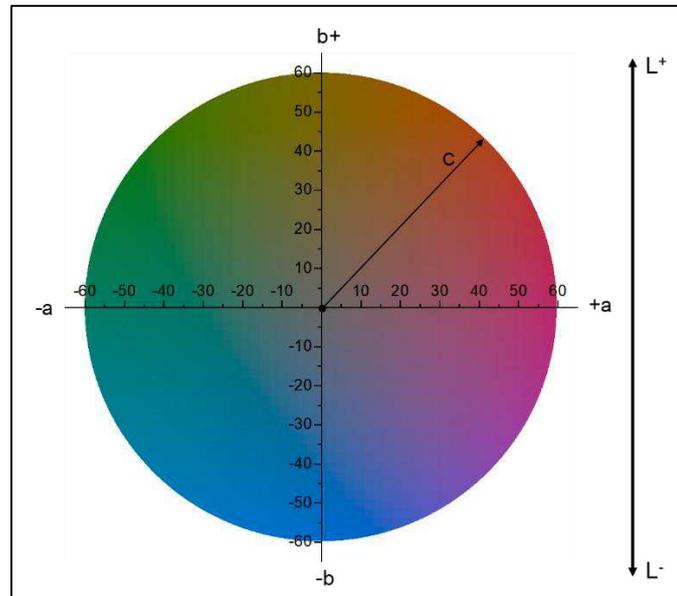
Para conseguir verificar como as cores são interpretadas pelo olho humano, a CIE desenvolveu um sistema matemático que descreve as cores por três elementos: luminosidade, tonalidade e saturação, que pode ser representado graficamente por um círculo colorimétrico (CAMARGOS; GONÇALEZ, 2001).

De acordo com Camargos e Gonzalez (2001), a luminosidade descreve a escala de cinza entre o preto e o branco e, pelo sistema CIE LAB, é representada graficamente pela letra L, variando de 0 (preto) a 100 (branco).

A tonalidade é representada pelas cores primárias (vermelho, verde, amarelo e azul), onde o eixo horizontal representa as coordenadas  $-a$  e  $+a$ , formando um ângulo de  $180^\circ$  (verde) e  $0^\circ$  (vermelho) e o eixo vertical que representa as coordenadas  $-b$  e  $+b$ , formando um ângulo de  $90^\circ$  (amarelo) e  $270^\circ$  (azul).

A saturação representa o raio do círculo colorimétrico, partindo do ponto zero da luminosidade até a extremidade do círculo e é representado pela variável C, que vai de 0 a 60. O círculo colorimétrico é representado graficamente pela Figura 15.

Figura 15 – Espaço de cor pelo sistema CIE LAB.



Fonte: Adaptado de Camargos e Gonzalez (2001).

Nesse sentido, para tintas imobiliárias, ao ser definida uma cor padrão ela é utilizada para comparar com as amostras. Essa variação representada pela variável “ $\Delta E$ ” é definida pela diferença de cor entre a amostra e o padrão e é calculada pela equação V (BUXBAUM; PFAFF, 2005)

$$\Delta E = \sqrt{\Delta a^2 + \Delta b^2 + \Delta L^2} \quad (V)$$

O valor de  $\Delta E$  é importante para o controle de qualidade de tintas, pois identifica pequenos desvios de cor, ajudando a garantir que os produtos finais atendam aos padrões de qualidade esperados. Esses desvios podem ser ocasionados por variações no processo ou nos materiais da formulação (FAZENDA, 2009).

Camargos e Gonzalez (2001) explicam que quando  $\Delta E$  é igual a zero, não há variação de cor perceptível, quando está entre 0 e 1, há uma variação perceptível apenas para observadores treinados ou para um colorímetro e quando a variação é maior do que 1, a diferença de cor é facilmente perceptível.

### 3.8 Poder tintorial

Um fator crucial para determinar uma boa dispersão de pigmentos é o poder tintorial, pois ele permite inferir a capacidade de um pigmento de cobrir ou tingir uma superfície com uma quantidade mínima de material, ou seja, o quão eficazmente o pigmento pode transferir sua cor para uma base (PATTON, 1979). Para isso, é necessário que o processo de dispersão seja eficiente. Ao reduzir o tamanho das partículas e promover uma melhor interação entre os componentes da fórmula, é possível utilizar a menor quantidade possível de pigmento para obter a cor desejada (BYK, 2024).

A medição do poder tintorial segue a teoria matemática desenvolvida por Kubelka-Munk, que descreve a interação da luz com materiais opacos e espalhadores, relacionando a refletância com a absorção (K) e o espalhamento (S) (FAZENDA, 2009). Para obter o poder tintorial, em termos percentuais, o colorímetro determina a razão entre o fator de absorção e de espalhamento entre a amostra e o padrão no comprimento de onda máximo, conforme a equação VI (BYK, 2024).

$$\text{Poder Tintorial (\%)} = \frac{\text{Amostra } K/S_{(nm_{m\acute{a}x})}}{\text{Padr\~{a}o } K/S_{(nm_{m\acute{a}x})}} \times 100\% \quad (\text{VI})$$

A norma ABNT NBR 11127:2017 determina o método para determinar o poder tintorial de pigmentos. Segundo ela, é necessário que o pigmento tenha um poder tintorial igual a 100%, com uma margem de variação de 5%.

## 4. MATERIAIS E METODOS

### 4.1 MATERIAIS

O tripolifosfato de sódio (TPF) e o tetrapirofosfato de sódio (TSPP), utilizados como aditivos dispersantes, foram adquiridos da Biochemicals do Brasil e da Plury Química, respectivamente. O aditivo dispersante e umectante foi obtido da Byk. A hidroxietilcelulose (HEC), utilizada como espessante, foi obtida da Ashland Brazil. Os antiespumantes e emulsionantes foram providos pela BASF. O pigmento de óxido de ferro foi adquirido da Oxinor, enquanto o pigmento hidróxido de óxido de ferro foi obtido da Lanxess. Os aditivos dispersantes e o modificador reológico do tipo HASE foram obtidos da Wana Química, enquanto o modificador reológico do tipo

HEUR foi adquirido da Dow Química. Os alcalinizantes, utilizados para ajuste de pH, foram comprados da SYCO. O biocida foi adquirido da IPEL.

Com esses reagentes, foram preparadas quatro formulações de pastas de dispersão de pigmentos (Tabela 3). Duas amostras contêm pastas de dispersão do pigmento amarelo óxido, utilizando óxido de ferro mineral, enquanto as outras duas amostras utilizam o pigmento vermelho óxido, usando o óxido de ferro de origem sintética.

As pastas de dispersão de pigmento amarelo foram chamadas de AmO V1 e AmO V2 e as pastas de dispersão de pigmento vermelho de VmO V1 e VmO V2.

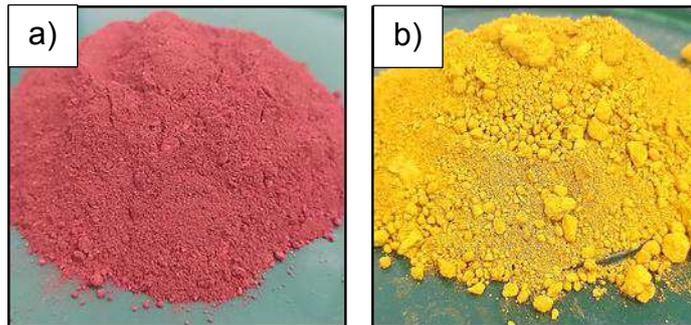
Tabela 3 - Componentes utilizados na formulação das pastas de dispersão.

Amarelo Óxido V1	Amarelo Óxido V2	Vermelho Óxido V1	Vermelho Óxido V2
Água	Água	Água	Água
Tripolifosfato de sódio	Tripolifosfato de sódio	Tetrapirofosfato de sódio	Tripolifosfato de sódio
Estabilizante de cargas	Estabilizante de cargas	Estabilizante de cargas	Estabilizante de cargas
Hidroxietilcelulose	Hidroxietilcelulose	Alcalinizante metálico	Hidroxietilcelulose
Antiespumante	Antiespumante	Antiespumante	Antiespumante
-	Aditivo Dispersante e Umectante	-	Aditivo Dispersante e Umectante
Aditivo Dispersante	Aditivo Dispersante	Aditivo Dispersante	Aditivo Dispersante
Emulsionante	-	Emulsionante	Alcalinizante metálico
Pigmento de hidróxido de óxido de ferro	Pigmento de hidróxido de óxido de ferro	Pigmento de óxido de ferro	Pigmento de óxido de ferro
Biocida	Biocida	Biocida	Biocida
Alcalinizante de amina modificada	Alcalinizante de amina modificada	Modificador reológico tipo HASE	Modificador reológico tipo HASE
-	Modificador reológico tipo HEUR	-	Modificador reológico tipo HEUR

Fonte: O autor, 2024.

A partir dos componentes observa-se que há diferenças quanto aos aditivos dispersantes, onde utiliza-se o TSP para a formulação VmO V1 e o TPF para as demais formulações, além dos aditivos com dupla ação (dispersante e umectante), e modificadores reológicos hidrofóbicos com grupos substituintes diferentes. Também se observa a diferença de mineral de óxidos de ferro para cada pigmento (Figura 16).

Figura 16 – Cargas dos pigmentos. a) Vermelho óxido. b) Amarelo óxido.



Fonte: O Autor, 2024.

## 4.2 METODOS

### 4.2.1 Processo de dispersão

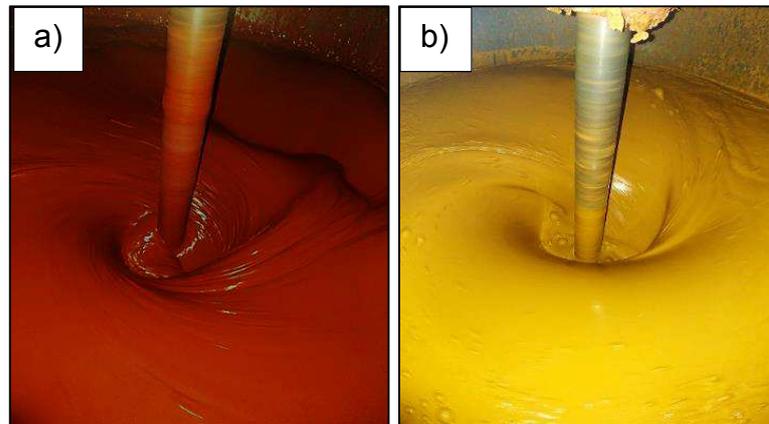
Os materiais foram adicionados sob agitação constante em um tanque de dispersão acoplado a um dispersor do tipo cowles, para promover a dispersão mecânica dos sólidos.

Inicialmente, foi adicionado a água, agindo como solvente, seguido dos aditivos dispersantes, estabilizantes, espessantes e antiespumantes para preparar o meio e promover a estabilização e quebra das partículas, obtendo uma dispersão e umectação de maneira eficaz.

Após isso, adicionou-se as cargas dos pigmentos, deixando o sistema sob agitação por 30 min, para garantir uma boa interação dos componentes da fórmula. Em seguida, foram adicionados os biocidas, alcalinizantes, para promover a reação dos modificadores reológicos e as emulsões espessantes modificadoras de reologia. Ao final, a mistura foi agitada por mais 20 min para uma completa homogeneização (Figura 17).

Figura 17 – Processo de dispersão das pastas de pigmentos.

a) Vermelho óxido. b) Amarelo óxido



Fonte: O autor, 2024.

## 4.2.2 Caracterização físico-química

### 4.2.2.1 Viscosidade

Foi realizado a medida rápida da viscosidade das pastas de dispersão de pigmento, utilizando o método proposto pela ABNT NBR 12105:2022. Uma alíquota de aproximadamente 200 g foi medida em um viscosímetro rotacional do tipo Stormer Brookfield KU-2 na temperatura de 25 °C.

As amostras foram mantidas em temperatura ambiente (25 °C) e a análise foi repetida de 7 em 7 dias em um ciclo de 28 dias para verificar a estabilidade das amostras.

### 4.2.2.2 Reologia

Para a realização dos ensaios reológicos de fluxo, tixotropia e varredura de frequência, foi utilizada a metodologia de Machado *et. al.* (2022) com modificações. Foi usado um reômetro do tipo AR-2000 da TA Instruments, com uma geometria cone-placa de 40 mm de diâmetro, com 1° de ângulo e gap de 27  $\mu\text{m}$ , na temperatura de 25 °C.

Para o ensaio de fluxo, utilizado para determinar a viscosidade de forma mais detalhada das amostras, foi realizado o pré-cisalhamento utilizando uma velocidade angular de 0,1 Hz por 5 min, correspondendo a uma taxa de cisalhamento de 35,63  $\text{s}^{-1}$ . Em seguida, variou-se a taxa de cisalhamento de 0,1 a 5.500  $\text{s}^{-1}$  para obter a viscosidade aparente das amostras.

Para o ensaio tixotrópico, utilizou-se o método 3ITT, submetendo as amostras a três estágios de taxa de cisalhamento. Inicialmente, elas foram submetidas a um cisalhamento de  $0,1 \text{ s}^{-1}$  por 120 s, seguido de um cisalhamento de  $300 \text{ s}^{-1}$  por 120 s e, por fim, retornando a um cisalhamento de  $0,1 \text{ s}^{-1}$  por 300 s. Essa variação da taxa de cisalhamento foi feita para verificar a recuperação da viscosidade das pastas de concentrado de pigmento após passarem por um alto cisalhamento.

A taxa de recuperação foi obtida utilizando a Equação VII, a partir dos valores das médias de viscosidade antes ( $\eta_i$ ) e após ( $\eta_f$ ) o alto cisalhamento.

$$\text{Taxa de recuperação} = \frac{\eta_f}{\eta_i} \times 100 \% \quad (\text{VII})$$

Para o ensaio de varredura de frequência, as amostras foram submetidas a uma frequência angular de  $0,1$  a  $500 \text{ rad. s}^{-1}$  com uma taxa de deformação de  $1 \%$  durante 2 min, na temperatura de  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ .

### 4.2.3 Caracterização das partículas

#### 4.2.3.1 Espalhamento de luz dinâmico

O tamanho das partículas do pigmento disperso nas pastas foi obtido por meio do diâmetro hidrodinâmico das partículas por espalhamento de luz dinâmico no equipamento Nano Zetasizer da Malvern® modelo ZS 3600. As análises foram feitas em temperatura ambiente, com as pastas diluídas em água destilada na concentração de  $10 \text{ mg/L}$ .

#### 4.2.3.2 Grau de dispersão do pigmento

O grau de dispersão dos pigmentos foi determinado pelo método proposto na ABNT NBR 7135:2011, utilizando um grindômetro de metal, como mostrado na Figura 18.

Cerca de  $1 \text{ g}$  de amostra foi estendida ao longo da caneleira de um grindômetro de metal com o auxílio de um raspador de mesmo material. Em seguida, sob um ângulo de aproximadamente  $30^\circ$ , foi realizada a leitura da escala Hegman (Hg). A Tabela 4 relaciona a escala Hegman com a profundidade em que as partículas do pigmento começam a surgir.

Tabela 4 - Relação entre a profundidade da partícula e a escala Hegman.

Profundidade ( $\mu\text{m}$ )	Hegman (Hg)
100	0
90	1
75	2
65	3
50	4
40	5
25	6
15	7
0	8

Fonte: Fazenda (2009).

Figura 18 – Grindômetro de metal



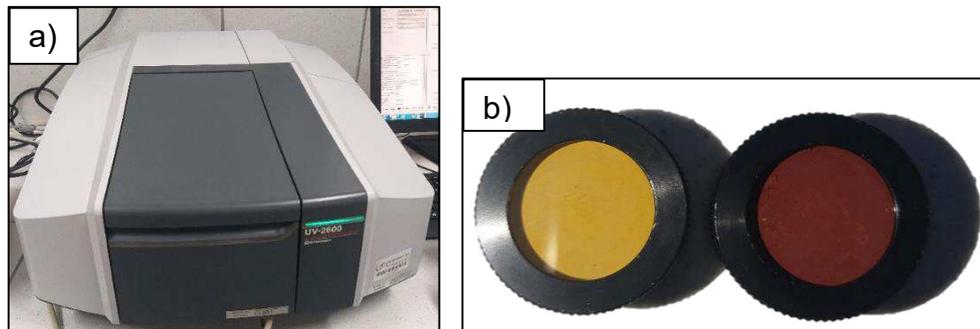
Fonte: O autor, 2024.

#### 4.2.4 Caracterização colorimétrica

##### 4.2.4.1 Espectrofotometria na região do UV-Visível

A caracterização das pastas e do pigmento em pó na região do UV-Visível foi realizada utilizando um espectrofotômetro Shimadzu UV 2600 com esfera integradora ISR-2600Plus, conforme é apresentado na Figura 19, para verificar o comprimento de onda de absorção das amostras.

Figura 19 – Equipamento. a) espectrofotômetro. b) esferas integradoras.



Fonte: O autor, 2024.

#### 4.2.4.2 Poder tintorial e Colorimetria

O poder tintorial foi obtido de acordo com o método proposto pela ABNT NBR 11127:2017. Foi pesado 2 g de pasta de pigmento e adicionado a 98 g de Base Acetinada para pigmentos, a mistura foi agitada por 30 min sob agitação constante no Agitador Red Devil 5400. Em seguida, a mistura foi homogeneizada e aplicada cerca de 20 g dela em uma cartela BYK WG branca com auxílio de extensor em forma de barra BYK de 150 micrometros.

A cartela foi colocada na estufa de 100 °C por 5 min. Em seguida, foi realizada a leitura no Espectrofotômetro de bancada Datacolor 200M no comprimento de onda de 400 a 700 nm para determinar o poder tintorial e as coordenadas LAB das pastas de dispersão de pigmento. As análises foram realizadas em triplicata na temperatura de 25 °C.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Análises físico-químicas

#### 5.1.1 Viscosidade

Com base nos resultados mostrados na Tabela 5, é possível identificar que há pouca variação de viscosidade nas formulações V2, mostrando uma estabilidade com o passar do tempo. O que se deve ao uso do modificador reológico do tipo HEUR, pois o uso de espessantes hidrofóbicos com a presença do uretano promove uma quantidade maior de interações intermoleculares entre a parte hidrofóbica e as partículas do pigmento, tornando a estrutura mais estável (DE SOUZA et al., 2017).

Tabela 5 - Viscosidade aparente das amostras com o passar do tempo em dias.

Tempo (dias)	Viscosidade (KU)			
	AmO V1	AmO V2	VmO V1	VmO V2
0	77	88	86	81
7	79	88	88	79
14	80	88	90	79
21	80	90	90	79
28	80	91	89	80

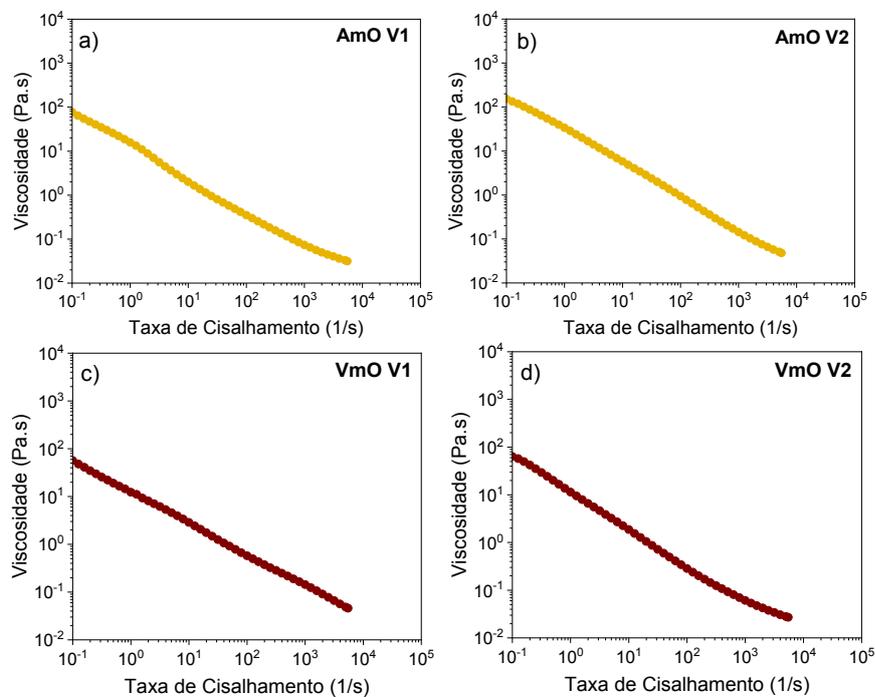
Fonte: O autor, 2024.

### 5.1.2 Ensaio de fluxo

Com base nos resultados de viscosidade em diferentes taxas de cisalhamento (Figura 20), é observado que as pastas produzidas seguem um comportamento de fluido pseudoplástico, uma vez que o aumento da taxa de cisalhamento influencia na redução da viscosidade, facilitando o uso desse material durante o tingimento.

Figura 20 – Análise de viscosidade com o aumento da taxa de cisalhamento.

a) AmO V1. b) AmO V2. c) VmO V1. d) VmO V2.



Fonte: O autor, 2024.

As formulações V2 apresentaram uma menor viscosidade inicial e uma maior sensibilidade ao cisalhamento, pois foi possível observar uma redução

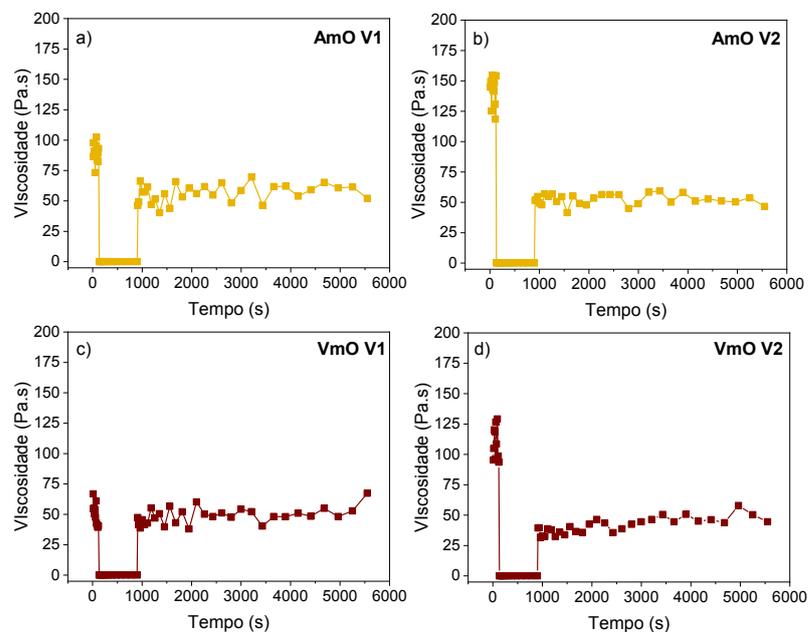
acentuada da viscosidade. Isso sugere que os modificadores reológicos do tipo HEUR sofrem um rompimento das interações intermoleculares da sua estrutura, conforme foi evidenciado por De Souza et al. (2017). Essa redução é favorável para garantir o melhor manuseio das pastas durante o tingimento.

### 5.1.3 Ensaio tixotrópico

A partir da análise da Figura 21 é possível observar que apenas a amostra VmO V1 teve a viscosidade totalmente recuperada após um alto cisalhamento, conforme apresentado na Tabela 6.

Figura 21 – Análises do ensaio tixotrópico.

a) AmO V1. b) AmO V2. c) VmO V1. d) VmO V2.



Fonte: O autor, 2024.

A taxa de recuperação elevada das formulações V1 pode estar associada à ação do modificador reológico do tipo HASE, que possui uma tendência a elevar a viscosidade do material e proporcionar uma estrutura flexível e recuperável, retornando a viscosidade inicial (HARAMAGATTI et al., 2020). As formulações V2, para ambos os pigmentos, apresentaram uma menor taxa de retorno da viscosidade, pois o modificador reológico do tipo HEUR tende a diminuir a viscosidade, o que torna o material mais fluido (DE SOUZA et al., 2017). Esse comportamento é intensificado pelo alto cisalhamento aplicado em seguida, devido ao comportamento pseudoplástico do material. Isso evidencia um melhor desempenho das formulações

V2 em relação às formulações V1, pois facilita a manipulação das pastas durante o tingimento.

Tabela 6 - Média de viscosidade inicial, final e taxa de recuperação das amostras.

Amostras	Média $\eta_i$ (Pa.s)	Média $\eta_f$ (Pa.s)	Taxa de recuperação (%)
AmO V1	89	56	63
AmO V2	142	52	37
VmO V1	49	49	99
VmO V2	107	41	39

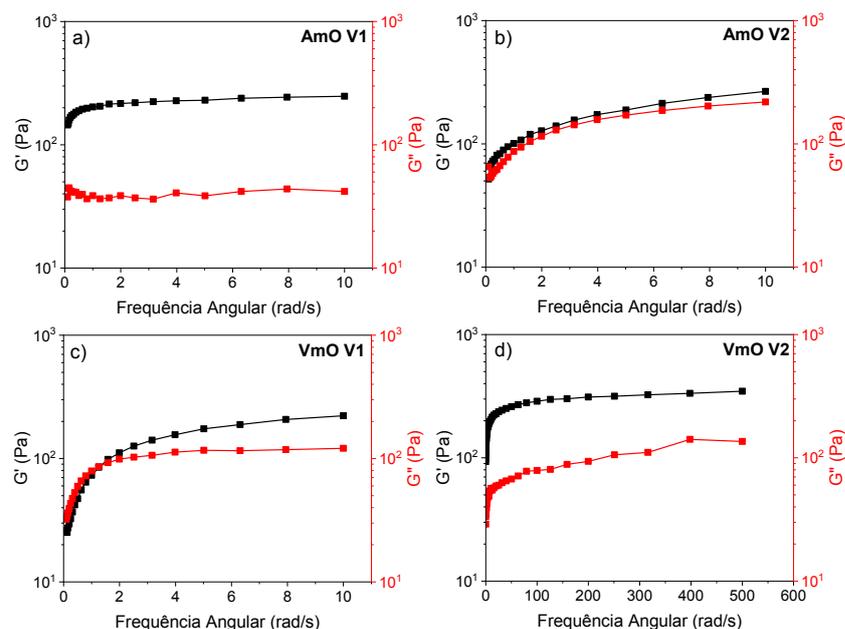
Fonte: O autor, 2024.

#### 5.1.4 Ensaio de varredura de frequência

A partir da análise da Figura 22 é possível identificar que as amostras apresentam estruturas estáveis com um comportamento predominantemente elástico, representado pelos valores de  $G'$  serem superiores aos de  $G''$  (MACHADO et al., 2022). Esse comportamento ocorre devido ao uso de modificadores reológicos do tipo HEUR nas amostras V2, que contribui para um aumento na estabilidade e na viscoelasticidade do material, conforme observado nos estudos de De Souza et al. (2017) e Haramagatti et al. (2020).

Figura 22 - Ensaio de varredura de frequência.

a) AmO V1. b) AmO V2. c) VmO V1. d) VmO V2.



Fonte: O autor, 2024.

Apenas a amostra VmO V1 apresentou um cruzamento dos valores de  $G'$  e  $G''$ , indicando a mudança de um comportamento viscoso para um comportamento elástico com o aumento da frequência angular. O uso de espessante do tipo HASE influenciou nesse cruzamento, uma vez que esse espessante possui uma tendência a formar gel em meio alcalino, oferecendo uma elasticidade menor em frequências mais altas (HARAMAGATTI et al., 2020).

O comportamento viscoelástico, apresentado pelas formulações V2, é algo desejável para matérias-primas de tintas arquitetônicas, pois proporciona uma melhor aplicação e desempenho (Machado et al. 2022).

## 5.2 Análises das partículas

### 5.2.1 Espalhamento de luz dinâmico

A análise do tamanho das partículas mostra a eficiência do processo de dispersão na quebra de aglomerados e redução do tamanho das cargas (Tabela 7). As partículas presentes nas pastas tiveram um tamanho muito menor do que aquelas no pigmento inicial.

O índice de polidispersão (IPD) está associado à homogeneidade de tamanho de partícula. Elevados valores de IPD (máximo é 1,0) indicam que as partículas apresentaram tamanhos polidispersos, ou seja, há tamanhos variados das partículas na amostra do pigmento em pó. As pastas apresentaram valores de IPD menores, o que indica tamanhos de partículas mais homogêneos. A distribuição unimodal de tamanhos está apresentada na Figura 23 (KAKUTA; NUMATA; OKAYAMA, 2014; ZANDI; BEARDSLEE; HAMANN, 2014).

Além disso, segundo Fazenda (2009, p. 349), o tamanho obtido para o pigmento amarelo óxido, tanto sólido, como em pasta, sugere uma goetita de estrutura acicular. Enquanto que para o pigmento vermelho óxido, o tamanho obtido pelas pastas de dispersão sugere uma estrutura romboédrica.

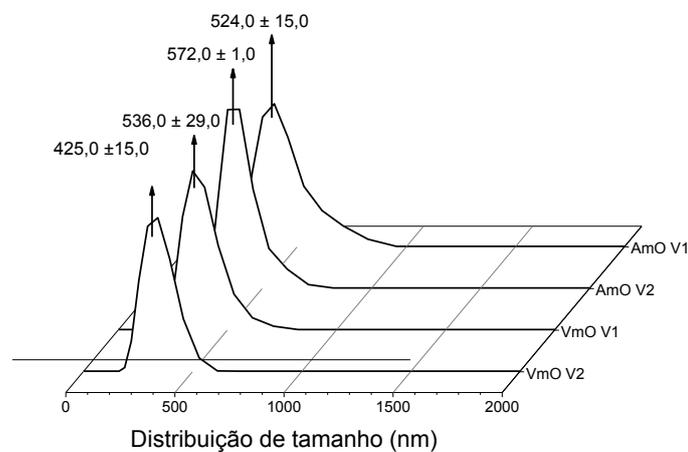
Tabela 7 - Tamanho e índice de polidispersão dos pigmentos em pó e das pastas de dispersão.

Amostra	Tamanho Médio (nm)	IPD
Amarelo Óxido (s)	962 ± 68,0	0,60 ± 0,03

Vermelho Óxido (s)	$3.509 \pm 672,0$	$1,00 \pm 0,00$
AmO V1	$524 \pm 15,0$	$0,41 \pm 0,03$
AmO V2	$572 \pm 1,0$	$0,43 \pm 0,03$
VmO V1	$536 \pm 29,0$	$0,42 \pm 0,01$
VmO V2	$425 \pm 15,0$	$0,33 \pm 0,03$

Fonte: O autor, 2024.

Figura 23 - Distribuição de tamanho das partículas da dispersão dos pigmentos.



Fonte: O autor, 2024.

### 5.2.2 Grau de dispersão do pigmento

A partir dos dados da Tabela 8, observa-se que apenas a amostra VmO V1 teve o grau de dispersão reduzido ao final dos 28 dias, indicando uma leve formação de aglomerados com o passar do tempo.

Tabela 8 - Grau de dispersão das partículas das pastas de dispersão.

Tempo (Dias)	Grau de Dispersão de Pigmentos (H)			
	AmO V1	AmO V2	VmO V1	VmO V2
7	7	7	7	7
14	7	7	7	7
21	7	7	7	7
28	7	7	6	7

Fonte: O autor, 2024.

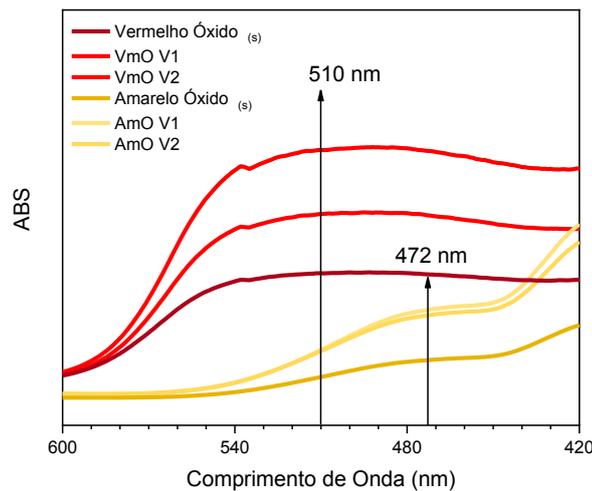
### 5.3 Análises colorimétricas

#### 5.3.1 Espectrofotometria na região do UV-Visível

Os espectros dos pigmentos amarelo óxido e vermelho óxido na forma de pó e em pastas de dispersão apresentam os comprimentos de onda máximos de 472 nm, para o pigmento amarelo óxido, e 510 nm, para o pigmento vermelho óxido (Figura 24). Isso indica que o processo de dispersão não alterou a coloração desses pigmentos.

Esses comprimentos de onda referem-se à absorção da luz próximo ao azul e ao verde-azulado, refletindo, portanto, as cores amarelo e vermelho, respectivamente, conforme é evidenciado em Skoog *et. al.* (2014, p.685).

Figura 24 - Espectro de absorção na região do visível.



Fonte: O Autor, 2024.

#### 5.3.2 Poder tintorial e colorimetria

As amostras AmO V1, AmO V2 e VmO V2 apresentaram um poder tintorial em conformidade com a ABNT NBR 11127:2017, com valores acima de 95%, indicando uma excelente dispersão do pigmento e a possibilidade de utilização de uma menor quantidade desse material para o tingimento de tintas arquitetônicas (Tabela 9).

As coordenadas LAB mostram que a pasta de dispersão do pigmento amarelo apresenta valores de luminosidade elevados, indicando uma coloração mais clara. Enquanto que a pasta de dispersão do pigmento vermelho indica uma cor mais

escura, com a amostra VmO V2 apresentando um tom mais intenso devido ao elevado valor de A e de B.

Tabela 9 - Poder tintorial e as coordenadas LAB das pastas de dispersão dos pigmentos..

Amostra	Poder tintorial (%)	L	A	B
AmO V1	98,3 ± 1,4	85,34	7,08	26,36
AmO V2	100,3 ± 0,9	85,19	7,10	26,79
VmO V1	83,0 ± 1,4	69,76	18,01	5,88
VmO V2	95,5 ± 0,3	68,29	19,74	7,01

Fonte: O autor, 2024.

#### 5.4 Análise comparativa do desempenho das formulações

Os valores comparativos da taxa de recuperação de viscosidade, tamanho de partícula e poder tintorial apontam que as formulações V2 são superiores as formulações V1 (Tabela 10). O aspecto mais fluído dessa formulação torna melhor a manipulação durante a etapa do tingimento. Além de apresentarem uma distribuição do tamanho de partícula mais homogêneo, comprovando tratar-se de uma dispersão mais eficiente.

E, por fim, o poder tintorial elevado permite que as pastas com a formulação V2 possam tingir as bases com uma quantidade menor de pigmento, representando uma economia de recursos.

Tabela 10 - Desempenho das formulações.

Análise	AmO V1	AmO V2	VmO V1	VmO V2
Taxa de recuperação de viscosidade (%)	63	37	99	39
Tamanho de partícula (nm)	524 ± 15,0	572 ± 1,0	536 ± 29,0	425 ± 15,0
Poder tintorial (%)	98,3 ± 1,4	100,3 ± 1,0	83,0 ± 1,4	95,5 ± 0,3

Fonte: O autor, 2024.

## 6. CONCLUSÃO

A adição do agente de ação combinada dispersante e umectante e do modificador reológico do tipo HEUR, nas formulações V2, potencializaram a melhoria do poder tintorial das pastas de dispersão de pigmentos, garantindo um processo de dispersão mais eficiente.

Os resultados das análises físico-químicas mostraram que o uso de modificadores reológicos uretânicos tornou o material mais fluido, o que facilitada a aplicabilidade durante o tingimento de uma tinta arquitetônica.

As análises das partículas mostraram a eficiência do processo de dispersão, devido a redução dos tamanhos de partículas. O grau de dispersão das partículas mostrou que as amostras se mantiveram estáveis em um tempo de 28 dias, exceto a amostra AmO V1, o que sugere a formação de aglomerados nesse período.

As análises colorimétricas evidenciaram que uma dispersão eficiente promove um poder tintorial maior, como foi visto para as amostras AmO V2 e VmO V2. Além disso, observou-se que o processo de dispersão não causou mudanças na cor das pastas.

De maneira geral, as formulações V2 mostraram-se mais eficientes, devido à menor recuperação da viscosidade ao passar por um alto cisalhamento, ocasionando em uma facilidade de manipulação das pastas para o tingimento de tintas arquitetônicas. Além disso, o elevado valor de seu poder tintorial permite o uso de uma menor quantidade de pigmento.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAFATI. **HISTÓRIA DAS TINTAS**. Disponível em: <<https://abrafati.com.br/setor-de-tintas/historia-das-tintas/>>. Acesso em: 8 mar. 2024a.

ABRAFATI. **DADOS DO SETOR**. Disponível em: <<https://abrafati.com.br/setor-de-tintas/dados-do-setor/>>. Acesso em: 8 mar. 2024b.

AGBO, C. et al. A Review on the Mechanism of Pigment Dispersion. **Journal of Dispersion Science and Technology**, v. 39, n. 6, p. 874–889, 3 jun. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7135 — Pigmentos — Grau de dispersão no veículo de uma tinta**. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11127 — Pasta pigmentada — Determinação do poder tintorial**. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12105 — Tintas para construção civil — Determinação da consistência de tintas usando o viscosímetro Stormer digital**. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

BIERWAGEN, G. P.; HUOVINEN, A. M.; BHUIYAN, M. S. H. Paint Formulation. In: **Reference Module in Materials Science and Materials Engineering**. North Dakota: Elsevier, 2017. p. 24.

BUXBAUM, G.; PFAFF, G. **Industrial Inorganic Pigments**. 3th. ed. Weinheim: Wiley, 2005.

BYK. **Industrial coatings - Determination of tinting strength**. Disponível em: <<https://www.byk-instruments.com/en/industrial-coatings-determination>>. Acesso em: 5 jun. 2024.

CAMARGOS, J. A. A.; GONÇALEZ, J. C. A colorimetria aplicada como instrumento na elaboração de uma tabela de cores de madeira. **Brasil Florestal**, v. 71, p. 30–41, 2001.

CARDOSO, F. DE P. et al. Processos de produção e avaliação de requisitos de desempenho de tintas para a construção civil com pigmentos de solos. **Ambiente**

**Construído**, v. 16, n. 4, p. 167–183, dez. 2016.

CAREY, F. A. **Organic Chemistry**. 4th. ed. Boston: McGraw Hill Higher Education, 2000.

CHANEAC, C.; DUCHATEAU, A.; ABOU-HASSAN, A. Synthetic Formation of Iron Oxides. In: FAIVRE, D. (Ed.). . **Iron Oxides**. 1st. ed. London: Wiley, 2016. p. 225–242.

DE SOUZA, T. V. et al. A novel approach to thickening characterization of an acrylic latex thickener. **Progress in Organic Coatings**, v. 106, p. 1–10, maio 2017.

EASTAUGH, N. et al. **The Pigment Compendium - A dictionary of historical pigments**. 1st. ed. London: Elsevier, 2004.

**Entendendo o Espaço de Cor L\*a\*b\***. Disponível em:

<[https://sensing.konicaminolta.us/br/blog/entendendo-o-espaco-de-cor-lab/#:~:text=CIE L\\*a\\*b\\*,usados para avaliar as cores](https://sensing.konicaminolta.us/br/blog/entendendo-o-espaco-de-cor-lab/#:~:text=CIE L*a*b*,usados para avaliar as cores)>. Acesso em: 14 mar. 2024.

FAZENDA, J. M. R. (ED.). **Tintas - Ciência e Tecnologia**. 4<sup>a</sup> ed. São Paulo: Blucher, 2009.

HARAMAGATTI, C. R. et al. Role of surfactants on stability of iron oxide yellow pigment dispersions. **Progress in Organic Coatings**, v. 120, n. February, p. 260–265, jul. 2018.

HARAMAGATTI, C. R. et al. Stability assessment of iron oxide yellow pigment dispersions and temperature dependent implications of rheological measurements. **Progress in Organic Coatings**, v. 144, n. March, p. 105669, jul. 2020.

HERBST, W.; HUNGER, K. **Industrial Organic Pigments**. 3th. ed. Weinheim: Wiley, 2004.

KAKUTA, S.; NUMATA, T.; OKAYAMA, T. Shape effects of goethite particles on their photocatalytic activity in the decomposition of acetaldehyde. **Catal. Sci. Technol.**, v. 4, n. 1, p. 164–169, 2014.

LADEN, P. **Chemistry and Technology of Water Based Inks**. 1st. ed. Dordrecht:

Springer Netherlands, 1997.

LAMBOURNE, R.; STRIVENS, T. A. (EDS.). **Paint and surface coatings. Theory and practice**. 2nd. ed. Cambridge: Woodhead Publishing Ltd, 1999.

LIANG, Y. et al. Review of the structural properties and interfacial reactions of Al-substituted goethite, hematite and ferrihydrite. **Pedosphere**, jun. 2024.

LOPEZ, A. B. **Controle da Dispersão de Pigmentos através da Técnica de Transmissão da Luz**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação)—Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2023.

MACHADO, A. M. L. et al. Estudo comparativo entre os parâmetros reológicos de tintas acrílicas arquitetônicas. **Ambiente Construído**, v. 22, n. 1, p. 223–240, dez. 2022.

MLECZKO, L. et al. **Processes for the preparation of iron oxide pigments**Leverkusen, Alemanha, 16 set. 2008.

MÜLLER, B.; POTH, U. Part I. Basics. In: **Coatings Formulation**. Hanover: Vincentz Network, 2019. p. 13–74.

NUNES, J. S. et al. Thickening of Crosslinked Ethyl Methacrylate-Acrylic Acid Latexes. **Journal of Dispersion Science and Technology**, v. 37, n. 3, p. 398–406, 3 mar. 2016.

PARICAGUAN, B.; MUÑOZ, J. L.; SÁENZ-PALENCIA, L. Implementation of the process by slurry and concentrate of pigments in latex-type paint formulas. Challenges and opportunities for planning. **Revista UIS Ingenierías**, v. 21, n. 2, p. 1–13, 15 mar. 2022.

PATTON, T. C. **Paint Flow and Pigment Dispersion: A Rheological Approach to Coating and Ink Technology**. 2nd. ed. New York: Wiley, 1979.

PEIFER, M. T. Estudo da influência de formulações de espessante acrílico em sistemas pigmentados de alto PVC. 2006.

PERRY, R. H. **Perry's Chemical Engineer's Handbook**. 7th. ed. New York:

McGraw Hill, 1997.

PIRRUNG, F.; MÜLLER-CRISTADORO, A. **Processo para preparar ésteres de ácido fosfórico hiper-ramificados** Brasil Instituto Nacional da Propriedade Industrial, , 2021.

QUÍMICA, P. **Indústria**. Disponível em: <<https://pluryquimica.com.br/industria/>>. Acesso em: 20 ago. 2024.

RÁCZ, F.; YAMAGA, W. O poder de compra e o consumo de tintas nos mercados ao redor do mundo. **Revista PAINT & PINTURA**, v. 291, p. 32–33, fev. 2024.

RAMIRO, C. **Reologia Aplicada à Resolução de Problemas em Revestimentos**. [s.l.] Elementis Specialties, 2019.

SARAIVA, W. **O Mercado Brasileiro de Tintas e Revestimentos: Análise Atual e Perspectivas Futuras**. Disponível em: <<https://w2sconsultoria.com.br/?p=1296>>. Acesso em: 9 mar. 2024.

SHREVE, R. N.; JR, J. A. B. **Indústrias de Processos Químicos**. Rio de Janeiro: Editora Guanabra Koogan LTDA, 1997.

SILVA, F. M. C. **Bases de dados de formulações de cor para tintas decorativas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química)—Aveiro: Universidade de Aveiro, 2014.

STRAUSS, U. P.; JACKSON, E. G. Polysoaps. I. Viscosity and solubilization studies on an n -dodecyl bromide addition compound of poly-2-vinylpyridine . **Journal of Polymer Science**, v. 6, n. 5, p. 649–659, 1951.

WANG, W.-L. et al. Chlorination of isothiazolinone biocides: kinetics, reactive species, pathway, and toxicity evolution. **Water Research**, v. 223, n. June, p. 119021, set. 2022.

WICKS, J.; JONES, F. N.; PAPPAS, S. P. Pigment dispersion: I. **Journal of Coatings Technology**, v. 73, n. 921, p. 145–149, 7 nov. 2001.

YAMANAKA, H. T. et al. Tintas e vernizes: guia técnico ambiental tintas e vernizes.

v. 1, p. 70, 2006.

ZANDI, O.; BEARDSLEE, J. A.; HAMANN, T. Substrate Dependent Water Splitting with Ultrathin  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Electrodes. **The Journal of Physical Chemistry C**, v. 118, n. 30, p. 16494–16503, 31 jul. 2014.