



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA
CURSO DE QUÍMICA INDUSTRIAL**

Giovane Henrique de Aguiar

Estudo e caracterização de resinas para formulação de tinta para piso

**RECIFE
2025**

Giovane Henrique de Aguiar

Estudo e caracterização de resinas para formulação de tinta para piso

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado a Coordenação do Curso de
Graduação de Química Industrial da
Universidade Federal de Pernambuco,
como requisito parcial à obtenção do grau
de Bacharel em Química Industrial.

Orientadora: Prof.^a Yêda Medeiros Bastos de Almeida

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Aguiar, Giovane Henrique de.

Estudo e caracterização de resinas para formulação de tinta para piso / Giovane Henrique de Aguiar. - Recife, 2025.

45 p : il., tab.

Orientador(a): Yêda Medeiros Bastos de Almeida

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Química Industrial - Bacharelado, 2025.

Inclui referências.

1. Tintas imobiliárias . 2. Poliuretano. 3. Estireno-acrílico. 4. Resistência Mecânica . I. Almeida , Yêda Medeiros Bastos de. (Orientação). II. Título.

540 CDD (22.ed.)

RECIFE
2025
Giovane Henrique de Aguiar

Estudo e caracterização de resinas para formulação de tinta para piso

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado a Coordenação do Curso de
Graduação Química Industrial da
Universidade Federal de Pernambuco,
como requisito parcial à obtenção do grau
de Bacharel em Química Industrial.

Aprovado em: 15 / 04 / 2025.

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 **YEDA MEDEIROS BASTOS DE ALMEIDA**
Data: 15/05/2025 23:23:52-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof^a. Dr^a. Yêda Medeiros Bastos de Almeida (Orientadora)
Universidade Federal de Pernambuco

Documento assinado digitalmente
 **FELIPE PEDRO DA COSTA GOMES**
Data: 05/05/2025 16:15:29-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof^o. Dr^o. Felipe Pedro da Costa Gomes (1^o Examinador)
Universidade Federal de Pernambuco

Documento assinado digitalmente
 **ANA PAULA LIMA PACHECO**
Data: 05/05/2025 10:50:06-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof^a. Dr^a. Ana Paula Lima Pacheco (2^o Examinadora)
Universidade Federal de Pernambuco

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a toda minha família, por todo apoio e incentivo durante as minhas escolhas e decisões. Em especial a minha mãe, meu pai e meu irmão, por todo auxílio, conforto, inspiração e motivação que vocês me forneceram em todos esses anos, amo vocês.

Agradeço de forma muito especial a minha namorada, Mariana Medeiros, pelo companheirismo, carinho, incentivo, sempre me ajudar nas minhas decisões e por sempre estar comigo, amo você.

À minha orientadora Yêda Medeiros Bastos de Almeida, não só pela orientação e conselhos durante a elaboração deste trabalho, mas por todo auxílio durante a graduação.

À UFPE por fornecer a estrutura, professores e conhecimentos fundamentais durante a minha graduação.

À Tintas Iquine, indústria na qual tive meu primeiro contato profissional com a oportunidade de estágio e posterior efetivação. Agradeço por ter fornecido estrutura e um espaço onde pude adquirir diversos conhecimentos.

Ao meu gerente Bruno França, profissional capacitado que acompanhou e aconselhou não apenas este trabalho, mas toda minha evolução profissional, compartilhando toda sua experiência e conhecimentos.

À todos os colegas de trabalho, faculdade e iniciação científica, por todos os momentos compartilhados e experiências vividas.

RESUMO

Tintas para piso, classificadas como premium, precisam atender a exigências rigorosas de resistência mecânica e química. Embora as versões à base de solventes ofereçam desempenho superior nesses aspectos, a busca por soluções mais sustentáveis tem impulsionado o uso de tintas à base de água. No entanto, ainda é um desafio desenvolver essas formulações com alta resistência, aplicação facilitada e longa durabilidade. Esse trabalho investiga a formulação e o desempenho de tintas imobiliárias para piso à base de resinas poliuretânicas e estireno-acrílicas em dispersão aquosa. O estudo analisa as propriedades físico-químicas das resinas e sua influência em propriedades de aderência, resistência mecânica e química, entre outras características das formulações. A metodologia envolveu testes laboratoriais para avaliação de parâmetros como teor de sólidos, viscosidade, dureza, abrasão, brilho, pH, aderência, e formação de filme. Os resultados demonstraram que a escolha do poliuretano como polímero e a combinação adequada da resina e de aditivos impacta significativamente a performance do revestimento. Sendo possível concluir que sistemas poliuretanos base água, combinados com cargas minerais, coalescentes e outros aditivos, apresentam vantagens em resistência mecânica com um ganho de até 100% na resistência mecânica quando comparado com sistemas de polímeros estireno-acrílicos.

Palavras-chave: Tintas imobiliárias; Poliuretano; Estireno-acrílico; Resistência mecânica.

ABSTRACT

Floor paints, classified as premium, must meet strict requirements for mechanical and chemical resistance. Although solvent-based versions offer superior performance in these aspects, the demand for more sustainable solutions has driven the use of water-based paints. However, developing such formulations with high resistance, easy application, and long durability remains a challenge. This work investigates the formulation and performance of waterborne floor paints based on polyurethane and styrene-acrylic resins. This study analyzes the physicochemical properties of the resins and their influence on adhesion, mechanical and chemical resistance, among other formulation characteristics. The methodology involved laboratory tests to evaluate parameters such as solids content, viscosity, hardness, abrasion resistance, gloss, pH, adhesion, and film formation. The results showed that choosing polyurethane as the polymer and combining the resin with appropriate additives significantly impacts coating performance. It was concluded that waterborne polyurethane systems, combined with mineral fillers, coalescents, and other additives, offer advantages in mechanical resistance with up to a 100% increase in mechanical performance compared to styrene-acrylic polymer systems.

Keywords: Floor coatings; Polyurethane; Styrene-acrylic; Mechanical resistance.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Ilustração de cadeias poliméricas do tipo homopolímero (a) e copolímero alternado (b).....	18
Figura 2 – Exemplo de mecanismo de polimerização por adição (a) e por condensação (b).....	18
Figura 3 – Representação da polimerização por emulsão.....	22
Figura 4 – Monômero estireno e estrutura polimérica.....	23
Figura 5 – Mecanismo de formação de filme de emulsões aquosas.....	24
Figura 6 – Monômero acrílico e estrutura polimérica.....	26
Figura 7 – Estrutura da resina estireno-acrílica.....	27
Figura 8 – Estrutura do monômeros uretano.....	28
Figura 9 – Ilustração do processo produtivo de uma tinta.....	33
Figura 10 – Gráfico contendo as principais modificações nos resultados	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resumo sobre as propriedades dos monômeros e resinas.....	30
Tabela 2 – Exemplo de formulação utilizada no teste de referência.....	32
Tabela 3 – Exemplo de formulação utilizada no teste com modificações.....	32
Tabela 4 – Resultados do teste de referência com as resinas estireno-acrílicas, acrílica- uretânica e poliuretânica.....	37
Tabela 5 – Resultados do teste com modificações com as resinas estireno-acrílicas, acrílica-uretânica e poliuretânica.....	39

LISTA DE ABREVIACÕES

Abrafati - Associação Brasileira dos Fabricantes de Tintas

A-U – Acrílica-uretânica

E-A – Estireno-acrílica

N/M – Não mensurável

PU – Poliuretânica

Tg – Temperatura de transição vítrea

TMFF – Temperatura mínima de formação de filme

UB – Unidade de brilho

UV – Ultravioleta

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
2	OBJETIVOS	15
2.1	Objetivo Geral.....	15
2.2	Objetivos específicos.....	15
3	REVISÃO DE LITERATURA.....	16
3.1	Tintas e polímeros.....	16
3.2	Análises de desempenho.....	20
3.3	Polimerização em emulsão.....	21
3.4	Monômeros e suas propriedades	23
4	METODOLOGIA.....	32
4.1	Metodologia para produção de tintas.....	33
4.1.1	Pesagem das matérias-primas.....	33
4.1.2	Dispersão e Moagem.....	33
4.1.3	Completação e Envase.....	34
4.2	Metodologia para análise das tintas.....	34
4.2.1	Abrasão.....	34
4.2.2	Dureza.....	34
4.2.3	Aderência.....	34
4.2.4	Avaliação do Filme.....	35
4.2.5	Viscosidade.....	35
4.2.6	pH.....	35
4.2.7	Teor de Sólidos.....	35
4.2.8	Brilho.....	35
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	36
5.1	Resultados do teste de referência.....	36
5.1	Modificações realizadas e resultados da modificação.....	38
6	CONCLUSÃO.....	42
	REFERÊNCIAS.....	43

1 INTRODUÇÃO

Tintas imobiliárias desempenham um papel fundamental na proteção, estética e funcionalidade de superfícies, tanto em ambientes internos quanto externos. Definidas como revestimentos líquidos ou pastosos aplicados sobre superfícies sólidas para conferir cor, textura e proteção, as tintas imobiliárias são amplamente utilizadas em projetos residenciais, comerciais e industriais. Elas não apenas valorizam os imóveis esteticamente, mas também oferecem resistência frente as intempéries e ao desgaste físico (Fazenda, 2009).

No Brasil, a Associação Brasileira dos Fabricantes de Tintas (Abrafati) desempenha um papel central no setor. A entidade promove a inovação, a sustentabilidade e a normatização de padrões de qualidade para tintas imobiliárias, buscando garantir a segurança e a eficiência dos produtos no mercado. A Abrafati classifica as tintas em quatro categorias principais: *econômica*, *standard*, *premium* e *super premium* (Abrafati, 2024).

A resistência à abrasão, em particular, é uma característica especialmente crucial para avaliar a qualidade de uma tinta. Essa propriedade é importante em ambientes sujeitos a tráfego intenso, como pisos de áreas comerciais e industriais, onde o desgaste provocado por atrito e impactos pode comprometer a durabilidade e a estética das superfícies (Fazenda, 2009).

Tintas para piso, que são classificadas como tintas *premium*, especificamente, enfrentam desafios adicionais devido às exigências de alta resistência mecânica e química (Ding, 2018). Tradicionalmente, tintas à base de solventes têm sido amplamente empregadas devido à sua superior resistência a agentes abrasivos e produtos químicos. No entanto, a crescente demanda por alternativas mais sustentáveis tem impulsionado o desenvolvimento de tintas para piso à base de água. Apesar dos avanços, a obtenção de produtos à base de água que combinem alta resistência mecânica, fácil aplicação e durabilidade prolongada ainda é uma problemática do mercado (Ding, 2018).

Esse contexto ressalta a importância de estudos e inovações voltados para o aprimoramento de tintas imobiliárias e de piso, considerando tanto o desempenho técnico quanto a sustentabilidade ambiental. Esse trabalho tem como objetivo investigar resinas formadas por monômeros de estireno, acrílico e uretano, para a criação de formulações de alta resistência à abrasão e ao desgaste mecânico, com

foco em sistemas à base de água, que oferecem maior sustentabilidade e menor impacto ambiental.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Estudar e propor soluções inovadoras para a formulação de tintas imobiliárias, com foco específico em tintas para piso. Buscar-se-á investigar resinas que possam ser aplicadas no desenvolvimento de revestimentos de alta resistência à abrasão e ao desgaste mecânico, especialmente em formulações à base de água, que são mais sustentáveis e ambientalmente adequadas.

2.2 Objetivos Específicos

Para alcançar esse objetivo geral, serão perseguidos os seguintes objetivos específicos:

- Estudar e analisar resinas poliméricas, que apresentem potencial para compor tintas de alta performance, com ênfase na resistência a impactos, abrasão e condições adversas de uso em pisos.
- Realizar análises de formulações afim de investigar combinações de matérias-primas, como pigmentos, aditivos e cargas, que possam otimizar as propriedades físico-químicas e mecânicas das tintas para piso.
- Avaliar o desempenho técnico e comparar as formulações desenvolvidas quanto a parâmetros como resistência à abrasão, aderência, durabilidade e facilidade de aplicação, considerando as exigências normativas do setor.
- Promover a sustentabilidade por meio da substituição de solventes orgânicos por alternativas à base de água, buscando reduzir o impacto ambiental e garantir a viabilidade comercial dos produtos.

3 REVISÃO DE LITERATURA

A fundamentação teórica a seguir apresenta conceitos relacionados à formulação de tintas imobiliárias, com foco nas resinas poliméricas utilizadas em sistemas à base de água. Serão discutidos os tipos e classificações dos polímeros, suas propriedades físico-químicas para formulação de tintas, como teor de sólidos, temperatura de transição vítrea (T_g) e temperatura mínima de formação de filme (TMFF), bem como a importância desses parâmetros na performance das tintas. Além disso, serão analisadas as características dos monômeros estireno, acrílico e uretano, isoladamente e em sistemas copolímeros, destacando suas vantagens e limitações.

3.1 Tintas e polímeros

As tintas podem ser classificadas como *econômica*, *standard*, *premium* e *super premium*, de forma que tintas econômicas são opções mais acessíveis, com menor poder de cobertura e durabilidade limitada; tintas standard apresentam desempenho intermediário, com maior poder de cobertura e resistência moderada; tintas premium oferecem alta durabilidade, maior poder de cobertura e resistência a abrasão, sendo indicadas para ambientes que demandam maior qualidade; tintas super premium, por sua vez, representam o topo de linha, com tecnologia avançada, altíssima resistência e propriedades específicas, como lavabilidade superior e manutenção da cor ao longo do tempo podendo atingir oito anos de uso em ambiente interno e até seis anos em área externa (ABRAFATI, 2024).

Uma tinta tem em sua composição diferentes matérias-primas que desempenham papéis fundamentais na formação e no desempenho do revestimento.

As matérias-primas podem ser classificadas em 4 categorias; formadores de filmes, compostos voláteis, cargas e aditivos (Salvato, 2017).

Os formadores de filme, são as resinas e endurecedores, responsáveis por agregar, manter a coesão do sistema e fornecer as principais propriedades físico-químicas do revestimento. Os componentes voláteis, como solventes e coalescentes, desempenham um papel essencial na aplicação da tinta, pois auxiliam na aplicação da tinta com ajuste na viscosidade e, posteriormente, evaporam do sistema, facilitando o processo de secagem e formação do filme (Salvato, 2017).

Os componentes insolúveis, que incluem pigmentos e cargas, também possuem um papel significativo na formulação. Os pigmentos são responsáveis por

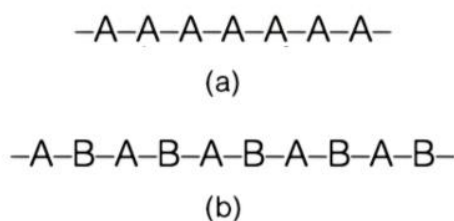
conferir cor e poder de cobertura à tinta, garantindo sua opacidade. Já as cargas, apesar de não possuírem poder de cobertura, influenciam propriedades como brilho e viscosidade. Os aditivos são adicionados em pequenas quantidades, geralmente abaixo de 5% em massa, com o objetivo de modificar propriedades específicas da formulação, como reologia, preservação e ajustes de processo (Salvato, 2017).

A formulação de tintas imobiliárias e para pisos é uma área de estudo que combina princípios de química, ciência dos materiais e engenharia. As resinas, especificamente, desempenham papel central na formação do filme de tinta, conferindo propriedades como adesão, flexibilidade, resistência química e mecânica (Fazenda, 2009). A escolha adequada dos polímeros e monômeros, que compõem as resinas é essencial para garantir que as tintas atendam às exigências de durabilidade, sustentabilidade e custo.

No contexto das tintas, eles constituem as resinas, responsáveis por formar o filme sólido após a aplicação e a evaporação dos solventes ou dispersantes. De acordo com Fazenda (2009), os polímeros podem ser classificados com base em alguns critérios principais: tipo de cadeia polimérica, tipo de polimerização e estrutura física, podendo também serem classificados de acordo com seu comportamento termomecânico.

Quanto ao tipo de cadeia polimérica, há duas categorias principais. Os homopolímeros ilustrados na Figura 1 (a), que são compostos por um único tipo de monômero, como o poliestireno, conhecido por sua rigidez, embora tenha baixa flexibilidade. Já os copolímeros, formados pela combinação de dois ou mais monômeros, conforme a Figura 1 (b), apresentam maior versatilidade por apresentar características de mais de um monômero (Fazenda, 2009). Um exemplo notável são os copolímeros estireno-acrílicos, que equilibram custo e desempenho ao combinar as propriedades químicas do estireno com a resistência aos raios ultravioleta (UV) dos acrílicos.

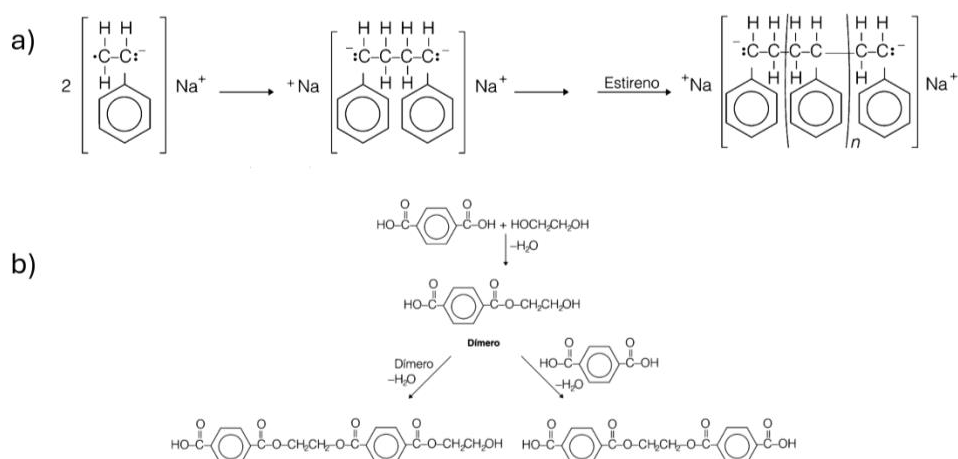
Figura 1 – Ilustração de cadeias poliméricas do tipo homopolímero (a) e copolímero alternado (b).



Fonte: Modificado Fazenda (2009).

Em relação ao tipo de polimerização, dois mecanismos principais se destacam. A polimerização por adição é típica de monômeros vinílicos, como estireno e acrilatos. Nesse processo, as ligações duplas dos monômeros são rompidas para formar cadeias longas sem a geração de subprodutos, conforme a Figura 2 (a). Por outro lado, a polimerização por condensação, ilustrada na Figura 2 (b), característica na obtenção de poliuretanos e poliéster, pode ocorrer com ou sem a formação de subprodutos, como água ou álcool, durante a reação. Esse tipo de polimerização resulta em cadeias poliméricas mais complexas e resistentes, conferindo propriedades desejáveis para aplicações de alto desempenho (Fazenda, 2009).

Figura 2 – Exemplo de mecanismo de polimerização por adição (a) e por condensação (b).



Fonte: Modificado Fazenda (2009).

Com relação à estrutura física, os polímeros podem ser lineares, ramificados ou reticulados. Polímeros lineares e ramificados não possuem ligações cruzadas, o que os torna mais flexíveis, sendo adequados para superfícies com menores exigências mecânicas. Por outro lado, os polímeros reticulados apresentam estruturas tridimensionais com alta densidade de ligações cruzadas, o que lhes confere resistência mecânica e química superiores (Fazenda, 2009). Essas características tornam os polímeros reticulados ideais para revestimentos em pisos industriais, onde a resistência ao desgaste é essencial.

De acordo com o comportamento termomecânico, os polímeros podem ser divididos em três categorias principais: termoplásticos, termofixos e elastômeros (Luo, 2022). Essa divisão é determinada pelas propriedades que os polímeros apresentam sob diferentes condições de temperatura e pelo tipo de ligações químicas presentes em suas estruturas.

Os termoplásticos são polímeros que amolecem ou fluem quando aquecidos e retornam ao estado sólido quando resfriados. Esse processo pode ser repetido várias vezes sem alterar significativamente a estrutura química do material, devido às forças intermoleculares, como interações de Van der Waals e ligações de hidrogênio, que mantêm as cadeias poliméricas unidas (Luo, 2022). Exemplos comuns de termoplásticos incluem polietileno, polipropileno, poliestireno e polímeros acrílicos. No contexto das tintas, esses polímeros são amplamente utilizados, como os acrílicos e os copolímeros estireno-acrílicos, devido à sua capacidade de formar filmes coesos e flexíveis após a evaporação do solvente (Fazenda, 2009). Sua versatilidade e facilidade de processamento os tornam ideais para revestimentos imobiliários e pisos de baixa a média exigência mecânica.

Os termofixos ou termorrígidos, diferem dos termoplásticos porque, após o processo de cura ou reticulação, formam uma rede tridimensional de ligações químicas covalentes que impede o material de ser reprocessado (Luo, 2022). Esse comportamento resulta em alta resistência mecânica, estabilidade térmica e química. Exemplos típicos incluem epóxis, resinas fenólicas e poliuretanos reticulados. No caso das tintas, os termofixos são amplamente utilizados em aplicações de alto desempenho, como revestimentos para pisos industriais, pois formam filmes altamente resistentes à abrasão e a agentes químicos (Fazenda, 2009).

Os elastômeros, por sua vez, apresentam uma estrutura parcialmente reticulada e baixa densidade de ligações cruzadas, o que lhes confere alta elasticidade. Esses polímeros podem ser deformados significativamente sob tensão e retornar ao seu formato original quando a força é removida. Exemplos incluem borracha natural, poliuretanos elastoméricos e copolímeros de estireno-butadieno (Luo, 2022). Em tintas, os elastômeros são utilizados em formulações específicas que requerem flexibilidade extrema e alta resistência ao impacto, como revestimentos para pisos sujeitos a vibrações ou movimentações constantes (Fazenda, 2009).

As propriedades críticas das resinas poliméricas, como por exemplo: teor de sólidos, temperatura de transição vítrea e temperatura mínima de formação de filme, também exercem um papel fundamental no desempenho da tinta. Segundo Fazenda (2009), o teor de sólidos, indica a proporção de material que permanece no filme após a evaporação do solvente. Resinas com maior teor de sólidos produzem filmes mais espessos e duráveis, reduzindo a necessidade de múltiplas camadas e melhorando o rendimento da aplicação.

Outro parâmetro essencial é a temperatura de transição vítrea (T_g), que define a temperatura abaixo da qual o polímero se comporta como um material rígido e quebradiço. Para tintas, é crucial que o valor de T_g seja adequado para permitir que o filme suporte variações térmicas sem perder flexibilidade ou aderência (Fazenda, 2009).

A temperatura mínima de formação de filme (TMFF) é particularmente relevante em tintas base água. Esse parâmetro representa a menor temperatura em que o polímero consegue coalescer e formar um filme contínuo. Uma TMFF elevada pode dificultar a aplicação em condições de baixa temperatura, enquanto uma TMFF muito baixa pode comprometer a resistência e durabilidade do filme formado (Fazenda, 2009).

Esses aspectos ressaltam a importância de compreender as propriedades e seleção dos polímeros para o desenvolvimento de tintas que atendam às exigências técnicas e comerciais do mercado.

3.2 Análises de desempenho

Para avaliação das tintas algumas análises são fundamentais para qualificar o seu desempenho. A abrasão avalia a resistência à abrasão úmida de revestimentos,

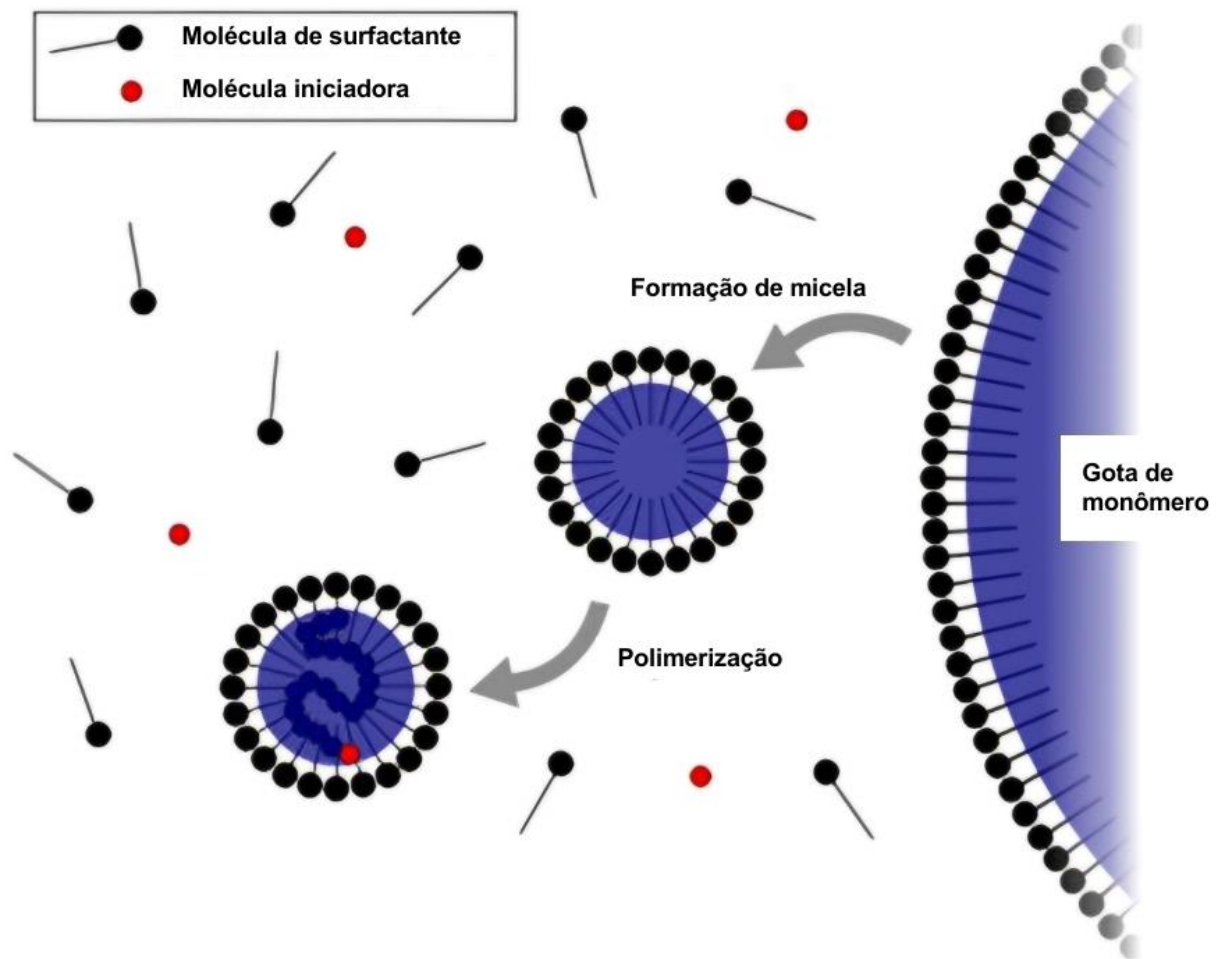
simulando o desgaste ocasionado por fricção contínua em superfícies pintadas. A medida da dureza avalia a resistência do filme seco de tinta à deformação permanente ou recuperação elástica, utilizando equipamentos padronizados para registrar a dureza de acordo com a escala específica (pêndulo König ou Person). A aderência é outro parâmetro essencial, pois determina a capacidade do filme de tinta de permanecer aderido ao substrato após aplicação e exposição a diferentes condições (Fazenda, 2009).

A viscosidade é analisada para garantir o comportamento reológico adequado da tinta durante a aplicação, sendo medida para indicar a facilidade de espalhamento ou a resistência ao fluxo. Além disso, a aplicação é avaliada para observar características práticas, como a formação de filme uniforme, a capacidade de cobertura e o comportamento ao longo do tempo. Esses testes em conjunto com pH, teor de sólidos, entre outras análises, permitem uma avaliação abrangente do desempenho e da durabilidade da tinta, assegurando que ela atenda às exigências específicas de sua aplicação (Fazenda, 2009).

3.3 Polimerização em emulsão

Outro aspecto crucial na síntese e no comportamento dos polímeros é a técnica de polimerização utilizada. A polimerização em emulsão, ilustrada na Figura 3, é uma técnica amplamente empregada para a produção de polímeros usados em tintas base água. Esse método ocorre em um meio aquoso, onde monômeros hidrofóbicos são dispersos na forma de pequenas gotas estabilizadas por surfactantes. A reação é iniciada por radicais livres gerados em micelas (El-Hoshoud, 2018).

Figura 3 - Representação de polimerização por emulsão.



Fonte: Modificado El-Hoshoud (2018).

A polimerização em emulsão apresenta diversas vantagens. Uma delas é a produção de partículas poliméricas uniformes, que são finamente dispersas em água, garantindo a formação de filmes contínuos e homogêneos. Além disso, as emulsões possuem baixa viscosidade mesmo em altas concentrações de sólidos, o que facilita sua aplicação prática. Outro benefício é a segurança e sustentabilidade do método, uma vez que ele reduz significativamente o uso de solventes orgânicos, diminuindo impactos ambientais e riscos à saúde humana (Machado, 2007).

Os principais monômeros utilizados nesse processo incluem estireno, acrilatos e metacrilatos, que podem ser combinados para formar copolímeros com propriedades ajustáveis. A presença de surfactantes e estabilizadores é essencial para a estabilidade da emulsão, durante e após o processo de polimerização (Machado, 2007). No entanto, um dos desafios desse método é a remoção ou redução de

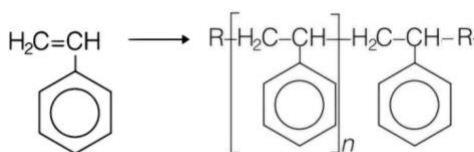
surfactantes residuais, que podem comprometer propriedades como resistência à água e aderência do filme formado.

3.4 Monômeros e suas propriedades

Os monômeros são os blocos construtores fundamentais dos polímeros que compõem as resinas utilizadas em tintas. Eles desempenham um papel crucial na definição das propriedades finais do revestimento, como adesão, resistência química e durabilidade. De acordo com Fazenda (2009), os monômeros estireno, acrílico e uretano são particularmente relevantes na formulação de tintas imobiliárias e para pisos, devido às suas características distintas e complementares.

O estireno, com sua estrutura descrita na Figura 4, é um monômero vinílico amplamente utilizado devido à sua rigidez, boa resistência química e excelente custo-benefício. Ele é frequentemente incorporado em copolímeros estireno-acrílicos, nos quais contribui para o brilho e a resistência ao desgaste, além de reduzir os custos gerais da formulação. No entanto, sua baixa resistência aos raios UV e menor flexibilidade limitam seu uso em aplicações externas, a menos que sejam realizadas modificações estruturais. Por isso, é comum sua utilização em tintas para interiores e em sistemas híbridos, onde suas limitações podem ser compensadas por outros monômeros (Fazenda, 2009).

Figura 4 – Monômero estireno e estrutura polimérica.

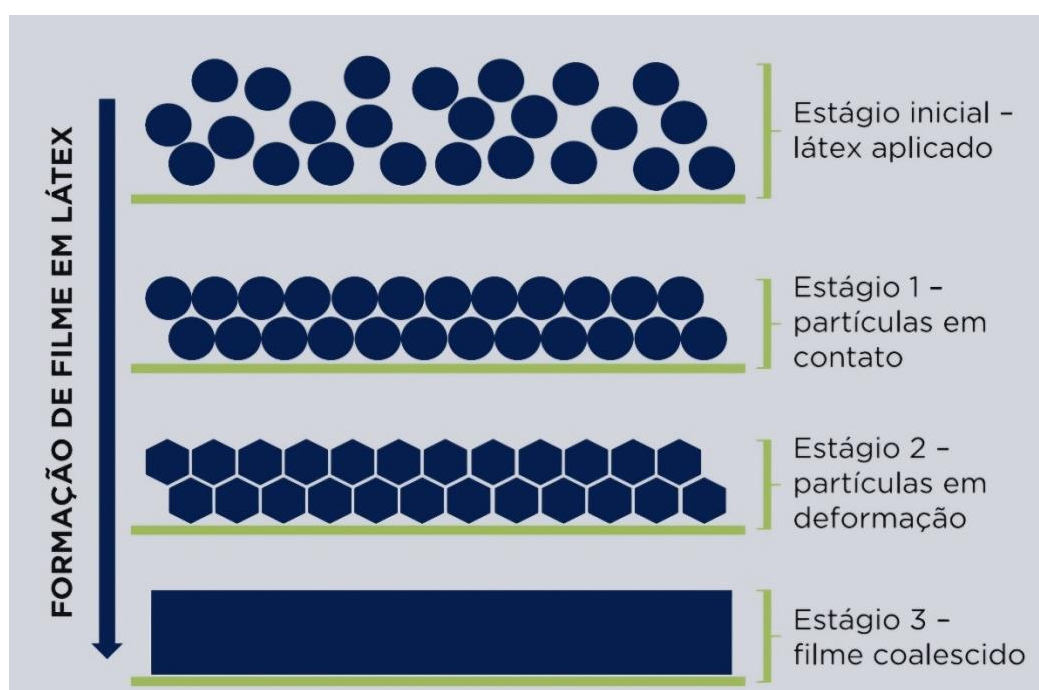


Fonte: Modificado Fazenda (2009).

No contexto de emulsões aquosas para tintas, a formação de filme, ilustrado na Figura 5, ocorre por um processo típico de coalescência das partículas poliméricas, dividido em três fases principais: a evaporação da água onde a fase aquosa da emulsão se dissipa, reduzindo a distância entre as partículas poliméricas dispersas, seguido pela aproximação e fusão das partículas, em que as partículas esféricas

começam a se fundir devido à tensão superficial e à presença de coalescentes, promovendo uma estrutura contínua (El-Hoshoud, 2018). No caso das resinas de estireno, essa etapa é fortemente influenciada pela alta hidrofobicidade das partículas poliméricas, dificultando a interação entre elas sem a presença de coalescentes adequados (Tian, 2024). A última fase é a consolidação do filme, em que ocorre o alinhamento estrutural e a estabilização das cadeias poliméricas, formando um revestimento rígido e resistente.

Figura 5 – Representação de formação de filme de emulsões aquosas.



Fonte: Salvato (2017).

A presença do anel benzênico na cadeia polimérica do estireno contribui para uma organização mais compacta e menor mobilidade das cadeias, o que confere alta dureza, mas por outro lado baixa flexibilidade ao filme (Luo, 2022). Contudo, a estrutura aromática do estireno também confere baixa polaridade ao sistema, tornando-o naturalmente hidrofóbico, o que pode dificultar a coalescência e a formação homogênea de filme. Dessa forma, é necessário o uso de coalescentes adicionados à formulação para reduzir a TMFF e melhorar a fusão das partículas poliméricas (Fazenda, 2009).

As resinas formadas apenas por estireno possuem características marcantes que afetam seu desempenho em tintas e revestimentos, como alta dureza e resistência mecânica. O estireno confere elevada rigidez ao filme seco devido à presença de interações π - π entre os anéis benzênicos das cadeias poliméricas, aumentando a resistência ao risco e ao desgaste (Fazenda, 2009).

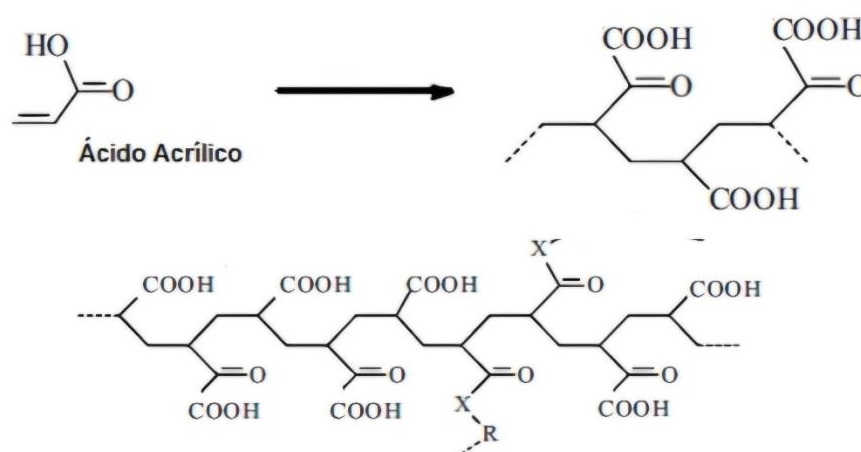
Outra característica é a baixa flexibilidade, devido a rigidez estrutural do filme polimérico que reduz a capacidade de absorção de impactos e pode levar à formação de microfissuras quando submetido a esforços repetitivos. Esse comportamento é resultado da alta densidade eletrônica do anel benzênico, que reduz a mobilidade das cadeias poliméricas (Luo, 2022).

A natureza apolar do estireno reduz a afinidade do polímero com a água, conferindo característica de hidrofobicidade e maior resistência à absorção de umidade, porém tornando-o menos compatível com cargas minerais hidrofílicas (Wu, 2024).

O estireno possui baixa resistência UV devido à formação de radicais livres em sua estrutura aromática sob exposição à radiação ultravioleta. Isso pode levar ao amarelamento do filme e à perda de propriedades mecânicas ao longo do tempo (Tian, 2024). Essas características tornam o estireno um monômero útil para conferir dureza e resistência química a filmes poliméricos, mas exigem a adição de aditivos para mitigar suas limitações.

Os monômeros acrílicos, conforme a Figura 6, são reconhecidos por sua excelente resistência aos raios UV e sua versatilidade química, sendo amplamente utilizados em revestimentos expostos às intempéries. Esses monômeros podem ser modificados para melhorar propriedades específicas, como adesão e resistência química, o que os torna ideais para aplicações externas. Em sistemas base água, os acrílicos apresentam baixa TMFF, permitindo a formação de filmes contínuos em condições de temperatura ambiente. Essa característica, combinada à sua transparência óptica e resistência ao amarelamento, faz dos polímeros acrílicos uma escolha padrão para tintas premium e super premium (Fazenda, 2009).

Figura 6 – Monômero acrílico e estrutura poliméricas.



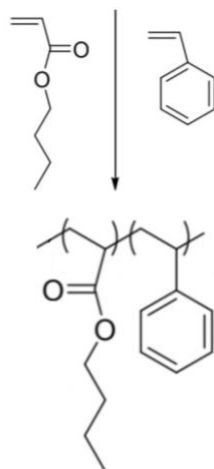
Fonte: Gomes (2011).

As resinas acrílicas são polímeros derivados da polimerização de monômeros acrílicos, como butil acrilato, metacrilato de metila e ácido acrílico, e são amplamente utilizadas devido à sua excelente estabilidade a UV e resistência química (Fazenda, 2009). A formação de filme ocorre por coalescência das partículas poliméricas e pode ser descrita de forma semelhante ao processo para resinas com estireno, se diferenciando pelo rearranjo estrutural das cadeias poliméricas que gera um filme resistente e flexível, com boas propriedades mecânicas e excelente aderência ao substrato (Wu, 2024). Os polímeros acrílicos são altamente polares, o que melhora a adesão e compatibilidade com cargas minerais, além de conferir boa resistência a intempéries (Fazenda, 2009).

As resinas acrílicas são amplamente reconhecidas por suas propriedades equilibradas, incluindo alta estabilidade a UV, diferentemente do estireno, os acrilatos possuem maior resistência à radiação a UV, minimizando o amarelamento e a degradação química ao longo do tempo (Tian, 2024). Os acrílicos são resistentes a solventes, produtos de limpeza e agentes alcalinos, tornando-os ideais para aplicações que exigem resistência a abrasão (Luo, 2022). Apresentam boa flexibilidade e resistência a impactos, devido ausência de estruturas aromáticas rígidas permitindo maior mobilidade das cadeias poliméricas, resultando em filmes mais flexível e menos propensos a trincas (Fazenda, 2009). Devido à sua TMFF relativamente baixa, as resinas acrílicas coalescem com eficiência, resultando em um filme bem nivelado, homogêneo e facilidade na formação de filme (Wu, 2024).

As resinas estireno-acrílicas são copolímeros derivados da combinação do estireno com monômeros acrílicos, ilustrado na Figura 7, essa combinação equilibra as propriedades de dureza e resistência mecânica do estireno com a flexibilidade e estabilidade UV dos acrilatos (Fazenda, 2009). A formação de filme dessas resinas ocorre por coalescência induzida pela evaporação da água, seguindo o processo conforme discutido anteriormente. A proporção entre estireno e acrilatos vai influenciar diretamente a TMFF e na dureza do revestimento. Um alto teor de estireno resulta em filmes mais rígidos, enquanto um aumento da fração de acrilatos melhora a flexibilidade e resistência à radiação UV (Fazenda, 2009).

Figura 7 – Estrutura da resina estireno-acrílica.



Fonte: Modificado Huang (2021).

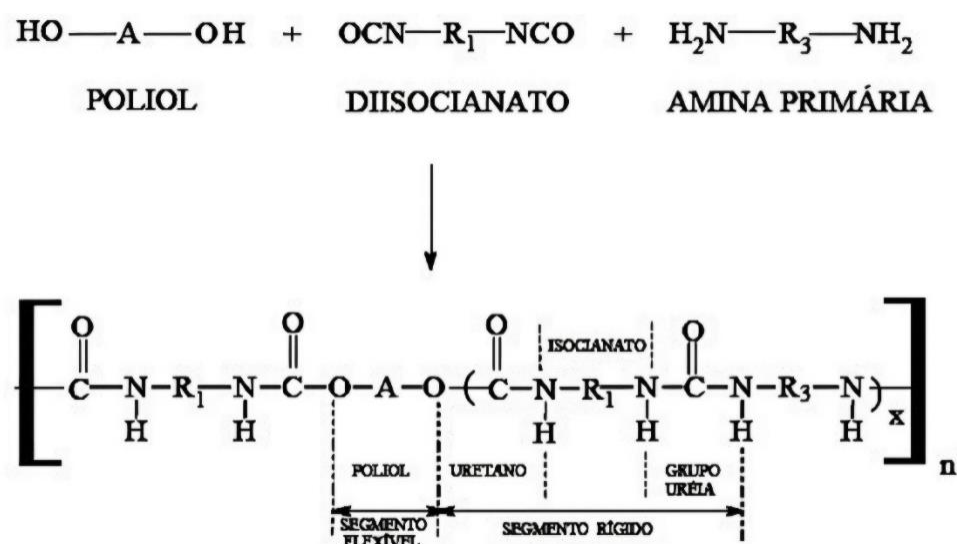
As resinas estireno-acrílicas são amplamente utilizadas devido ao seu bom equilíbrio entre custo, desempenho e a combinação das propriedades dos monômeros. Suas principais propriedades incluem a dureza, que pode ser ajustável com o teor de estireno no copolímero, podendo ser modulado para conferir maior resistência superficial e resistência à abrasão (Fazenda, 2009). Apresenta boa resistência química e a radiação UV com a introdução de acrilatos, que melhora a estabilidade térmica e a resistência à radiação UV, minimizando os efeitos de degradação e amarelamento típicos do estireno puro (Tian, 2024). O caráter polar dos acrilatos melhora a aderência da tinta ao substrato, garantindo um acabamento uniforme e estável, conferindo ótima aderência e nivelamento (Luo, 2022). A presença

do estireno confere maior resistência mecânica ao filme, tornando-o mais durável em aplicações sujeitas a limpeza frequente e desgaste mecânico (Wu, 2024).

A proporção estireno e acrilato deve ser cuidadosamente ajustada para equilibrar essas propriedades. Enquanto o estireno melhora a resistência mecânica e química, seu excesso pode reduzir a flexibilidade do filme e aumentar a TMFF, dificultando a coalescência e a aplicação em temperaturas baixas (Fazenda, 2009).

Para melhorar a qualidade dos revestimentos, resinas como uretano são ideais, tendo em vista que seu monômeros destaca-se por suas propriedades excepcionais, como alta resistência mecânica, química e à abrasão. Essas características fazem com que seja amplamente empregado em tintas para pisos de alto desempenho, especialmente em ambientes industriais e comerciais sujeitos a tráfego intenso. Recentemente, os poliuretanos base água têm emergido como alternativa mais sustentáveis às versões base solvente, alinhando-se às demandas por produtos de menor impacto ambiental. Contudo, desafios como o custo elevado quando comparado aos monômeros estireno e acrílico e a estabilidade das emulsões ainda representam obstáculos a serem superados. Mesmo assim, avanços tecnológicos têm contribuído para a expansão de seu uso em revestimentos de pisos com requisitos rigorosos (Fazenda, 2009).

Figura 8 – Estrutura do monômeros uretano.



Fonte: Rocha (2013).

As resinas poliuretânicas à base de água são formadas por cadeias poliméricas contendo ligações uretânicas, conforme a Figura 8, resultantes da reação entre grupos isocianato e hidroxila, esse tipo de resina se destaca por sua alta resistência mecânica e química (Fazenda, 2009). O processo de formação de filme em emulsões poliuretânicas ocorre por coalescência induzida pela evaporação da água, seguindo a evaporação da fase aquosa, fusão das partículas e possível reticulação química: Além da fusão física das partículas, pode ocorrer reticulação química entre as cadeias, formando uma estrutura tridimensional altamente resistente (Tian, 2024). E por fim, a consolidação do filme, ocorrendo formação de ligações cruzadas que fortalece o filme, conferindo resistência superior à abrasão e a produtos químicos agressivos (Wu, 2024). A capacidade de formar ligações cruzadas diferencia os poliuretanos de outros sistemas poliméricos, como estireno, acrílico e estireno-acrílico, dessa forma proporcionando resistência mecânica superior (Fazenda, 2009).

As resinas poliuretânicas possuem diversas vantagens que as tornam ideais para tintas de alto desempenho, como à alta resistência mecânica e abrasiva devido as ligações uretânicas formando uma rede reticulada densa, garantindo excelente resistência ao desgaste (Tian, 2024). Flexibilidade e elasticidade que difere dos polímeros rígidos, os poliuretanos podem ser formulados para apresentar comportamento elastomérico, reduzindo o risco de trincas (Luo, 2022), e apresentam hidrofobicidade e resistência química em virtude da sua estrutura química, o que lhe favorece a resistir a absorção de água e proteger contra solventes e agentes alcalinos (Wu, 2024).

Conforme Fazenda (2009), os monômeros estireno, acrílico e uretano possuem vantagens e limitações que os tornam complementares em diferentes formulações e a Tabela 1 resume as características e propriedades dos monômeros e resinas discutidos anteriormente.

Tabela 1 – Resumo sobre as propriedades dos monômeros e resinas.

Monômeros e Resinas	Pontos Positivos	Pontos Negativos
Estireno	Alta dureza	Baixa flexibilidade Baixa resistência a UV
Acrílico	Resistência a UV Baixa TMFF	Dureza inferior
Estireno-acrílico	Equilíbrio entre rigidez e flexibilidade Ganho de resistência a UV	Variabilidade das propriedades finais dependendo da proporção dos monômeros
Poliuretano	Excelente resistência mecânica e química	Custo elevado Estabilidade da emulsão

Fonte: Autor (2025).

Os copolímeros estireno-acrílicos, por exemplo, oferecem um equilíbrio entre custo e propriedades físico-químicas, sendo amplamente utilizados em tintas de categorias standard e premium. Enquanto isso, os acrílicos puros destacam-se em aplicações externas devido à sua resistência superior aos raios UV . Já os poliuretanos apresentam o melhor desempenho em resistência ao desgaste mecânico, sendo indispensáveis em revestimentos para pisos industriais, onde durabilidade e resistência a impactos são fundamentais (Wu 2024).

Embora essas diferenças tornem os monômeros adequados para aplicações específicas, sua combinação em emulsões híbridas tem demonstrado resultados promissores. Emulsões estireno-acrílicas e poliuretânicas base água, por exemplo, têm se mostrado capazes de oferecer desempenho semelhante às alternativas base solvente, mas com menor impacto ambiental. Estudos relatam avanços significativos na formulação dessas emulsões, com melhorias na resistência mecânica, adesão e estabilidade térmica (Wu, 2024; Tian, 2024). Esses desenvolvimentos reforçam a viabilidade de substituir progressivamente os sistemas base solvente, contribuindo para a sustentabilidade da indústria de tintas.

Na formulação de tintas base água, a polimerização em emulsão é amplamente utilizada devido à sua capacidade de produzir filmes coalescentes em condições

ambientais moderadas. Em tintas para pisos, essa técnica é particularmente relevante, pois permite a criação de revestimentos com propriedades mecânicas superiores, capazes de atender às exigências de aplicações industriais. Dessa forma, a escolha adequada do tipo de polímero, do método de síntese e das propriedades desejadas é essencial para garantir o desempenho e a durabilidade das tintas desenvolvidas para cada aplicação específica (Fazenda, 2009).

Portanto, o estudo aprofundado dos monômeros estireno, acrílico e uretano, tanto isoladamente quanto em combinações híbridas, é essencial para o desenvolvimento de tintas que equilibrem alto desempenho, sustentabilidade e viabilidade econômica. Suas propriedades distintas e complementares abrem espaço para soluções inovadoras, capazes de atender às demandas do mercado e às regulamentações ambientais cada vez mais rigorosas.

4 METODOLOGIA

Para a realização das formulações no laboratório de Pesquisa e Desenvolvimento da indústria de tintas Iquine, foram desenvolvidos diferentes protótipos, variando-se tipos e proporções de cargas minerais, coalescentes, porcentagem de resina, e outros aditivos, com o objetivo de otimizar o desempenho e a eficiência da formulação. Também foram avaliados cinco tipos de resinas: três resinas estireno-acrílicas, com diferentes concentrações de estireno e acrílico conferindo diferentes propriedades na tinta final, uma resina acrílica-uretânica e uma resina poliuretânica. A Tabela 2 apresenta uma formulação genérica com porcentagem fictícias, para exemplificar a formulação que foi utilizada como estrutura base para a formulação de referência. A Tabela 3, fornece as alterações realizadas para o segundo teste com modificações. Esses ajustes e diferentes protótipos irão permitir identificar a melhor combinação de propriedades para atender às exigências de desempenho e durabilidade da tinta.

Tabela 2 – Exemplo de formulação utilizado no teste de referência.

Matéria-prima	%
Solvente	40
Tensoativo	3
Aditivos de processo	2
Carga mineral 1	25
Resina	25
Coalescente 1	2
Aditivos de reologia	3

Fonte: Autor (2025).

Tabela 3 – Exemplo de formulação utilizado no teste com modificações.

Matéria-prima	%
Solvente	25
Tensoativo	5
Aditivos de processo	2
Carga mineral 2	15
Resina	45
Coalescente 2	5
Aditivos de reologia	3

Fonte: Autor (2025).

4.1 Metodologia para produção de tintas.

A Figura 9 apresenta de forma resumida as etapas para produção de tintas.

Figura 9 – Ilustração do processo produtivo de uma tinta, Etapa 1, pesagem das matérias-primas, Etapa 2, processo de dispersão e moagem e Etapa 3, completção e envase.



Fonte: Autor 2024

4.1.1 *Pesagem das matérias-primas*

Etapa representada na parte 1 da Figura 9, na qual ocorre a pesagem e separação de todas as matérias-primas que serão utilizadas na fabricação da tinta.

4.1.2 *Dispersão e Moagem*

O processo de dispersão, realizado em um tanque e utilizando um disco de dispersão do tipo colles é exemplificado na parte 2 da Figura 9 e tem como objetivo reduzir os aglomerados de pigmentos e cargas, aumentando a área superficial para

melhor umectação dos mesmos. Já o processo de moagem realizado em um moinho de esferas, também ilustrado a parte 2 da Figura 9, tem o objetivo de diminuir o tamanho das partículas dos pigmentos até alcançar as dimensões desejadas visando melhorar o desempenho das cargas minerais na tinta.

4.1.3 *Completação e Envase*

Nessa processo em batelada conforme exemplificado na parte 3 da Figura 9, inserem-se os componentes restantes da fórmula, resinas, aditivos e solventes, finalizando o processo de fabricação com o envase na embalagem adequada para o produto.

4.2 Metodologia para análise das tintas

4.2.1 *Abrasão*

A análise de abrasão foi conduzida conforme os requisitos estabelecidos na norma ABNT NBR 14940. Para este teste, foi utilizada a variação que emprega uma pasta abrasiva, aplicada sobre a amostra de tinta. Para realização do teste, foi realizada a extensão de uma filme de 175 µm em uma cartela de PVC e aguardado 7 dias para formação e secagem do filme em ambiente controlado. O resultado é descrito em quantidade de ciclos necessários para romper o filme.

4.2.2 *Dureza*

A análise de dureza foi conduzida de acordo com a norma ASTM D 4366-16-2021. Para o teste, foi realizado a extensão de um filme de 150 µm em um vidro com dimensões padronizadas para o equipamento. As análises foram realizadas com um espaço de 1, 3 e 7 dias de secagem em ambiente controlado. Os resultados são descritos em Person, com a média do resultado das leituras realizadas que indica a resistência a deformação do filme.

4.2.3 *Aderência*

O ensaio seguiu os procedimentos estabelecidos pela norma ABNT NBR 1103, utilizando o método em grade. Uma grade de cortes equidistantes foi realizada no filme

seco da tinta, e a aderência foi avaliada pela remoção do filme em cada interseção, conforme critérios da norma.

4.2.4 Avaliação do Filme

A avaliação do filme consiste em estender um filme com um extensor de 75 e 150 μm , e considerar parâmetros visuais e técnicos, como uniformidade, defeitos, brilho e espessura do filme, utilizando critérios padronizados pela equipe de pesquisa.

4.2.5 Viscosidade

A viscosidade foi medida conforme a norma ASTM D 562-10, utilizando o viscosímetro Stormer. O ensaio avaliou a resistência ao escoamento do produto, sendo essencial para determinar a consistência da tinta durante a aplicação.

4.2.6 pH

Uma amostra homogeneizada foi colocada em um recipiente padronizado e o pH foi medido utilizando um pHmetro calibrado com soluções-tampão apropriadas.

4.2.7 Teor de Sólidos

De acordo com a norma ABNT NBR 8621, o teor de sólidos foi determinado por pesagem da amostra antes e após a secagem completa, secagem que foi realizada com auxílio de uma balança de sólidos. O valor é expresso em porcentagem e reflete a quantidade de material que forma o filme após a evaporação dos voláteis.

4.2.8 Brilho

A medição de brilho foi realizada seguindo a norma ABNT NBR 15299. Para realização do ensaio um filme de 150 μm foi estendido e com o auxílio de um glossímetro calibrado foi possível avaliar o nível de reflexão luminosa do filme seco, expressando o resultado em unidades de brilho (UB).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As resinas desempenham papel fundamental nas tintas, pois conferem suas principais propriedades físico-químicas. Neste estudo, foram realizadas duas etapas de testes, o teste de referência, para avaliar o desempenho das diferentes resinas e o teste com modificações de formulação propondo alterações aprimoradas.

5.1 Resultados do teste de referência

Com o teste de referência se avaliou três protótipos contendo resinas estireno-acrílicas e dois protótipos contendo resinas de naturezas diferentes: acrílica-uretânica e poliuretânica. A Tabela 4 apresenta os resultados obtidos para os parâmetros analisados. Para o teste de referência a resina acrílica-uretânica foi denominada como R-AU, a resina estireno-acrílica contendo uma maior concentração do monômero acrílicos foi denominada como R-EA-a, a resina estireno-acrílica contendo um equilíbrio entre os monômeros foi denominada como R-EA-eq, a resina estireno-acrílica contendo uma maior concentração do monômero estireno foi denominada como R-EA-e e a resina poliuretânica foi nomeada com R-PU.

Tabela 4 – Resultados do teste de referência com as resinas estireno-acrílicas, acrílica-uretânica e poliuretânica.

Análise	R-EA-a	R-EA-eq	R-EA-e	R-AU	R-PU
Viscosidade (KU)	130	115	102	145	145
pH	9,0	9,2	9,1	9,6	9,6
Teor de Sólidos (%)	54	55	54	49	50
Abrasão (ciclos)	86	164	156	N/M	32
Dureza (Person)	81	75	101	N/M	37
Aderência (classe)	0	0	0	N/M	0
Brilho (UB)	2,3	2,2	2	N/M	1,9
Filme	Conforme	Conforme	Conforme	Não conforme	Conforme

R-EA-a – Estireno-acrílica contendo maior porcentagem de acrílico no teste de referência; R-EA-eq – Estireno-acrílica com equilíbrio entre os monômeros no teste de referência; R-EA-a – Estireno-acrílica contendo maior porcentagem de estireno no teste de referência; R-AU – Acrílica-uretânica no teste de referência; R-PU – Poliuretânica no teste de referência; N/M – Não mensurável

Fonte: Autor (2025).

Os resultados descritos na Tabela 4 indicaram que os testes com resinas estireno-acrílicas apresentaram desempenho superior na maioria dos parâmetros avaliados, com destaque para dureza e abrasão. Esses resultados são consistentes com estudos anteriores que indicam que copolímeros estireno-acrílicos apresentam boa resistência mecânica, característica avaliada na análise de abrasão, devido à presença do estireno, que confere maior rigidez à estrutura polimérica (Fazenda, 2009).

Por outro lado, a resina acrílica-uretânica apresentou um filme quebradiço e não coalecido, inviabilizando a realização de certas análises. Isso pode estar relacionado à interação inadequada entre os segmentos acrílicos e uretânicos, prejudicando a formação homogênea do filme (Luo, 2022). A resina poliuretânica, apesar de formar um filme, demonstrou limitações em resistência mecânica e coalescência, como pode ser observado na Tabela 4, nas análises de abrasão e dureza, possivelmente devido à baixa interação entre as cadeias poliméricas

(Honarkar, 2017). Esses resultados indicaram a necessidade de ajustes na formulação para melhorar a performance das resinas.

5.2 Modificações realizadas e resultados da modificação

Levando em consideração as limitações encontradas no teste de referência, ajustes foram realizados para as formulações do segundo teste. Conforme apresentados na Tabela 3, as mudanças incluíram maior percentual de resina, ajuste nas cargas minerais e uso de diferentes coalescentes. O alteração na concentração de resina, visa o aumento no teor dos monômeros buscando evidenciar suas características na tinta, o ajuste nas cargas minerais, busca o aumento na resistência mecânica do filme e a modificação do coalescente, para formar um filme mais coeso, tendo em vista que o coalescente desempenha um papel crucial na formação do filme ao reduzir a TMFF, promovendo a fusão das partículas de resina em condições de aplicação padrão (Fazenda, 2009).

O teste com modificações foi realizado utilizando os mesmos tipos de resinas do teste de referência. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 5 e a nomenclatura das resinas foram modificadas, ocorrendo a substituição da letra "R" pela letra "M".

Tabela 5 – Resultados do teste com modificações com as resinas estireno-acrílicas, acrílica-uretânica e poliuretânica.

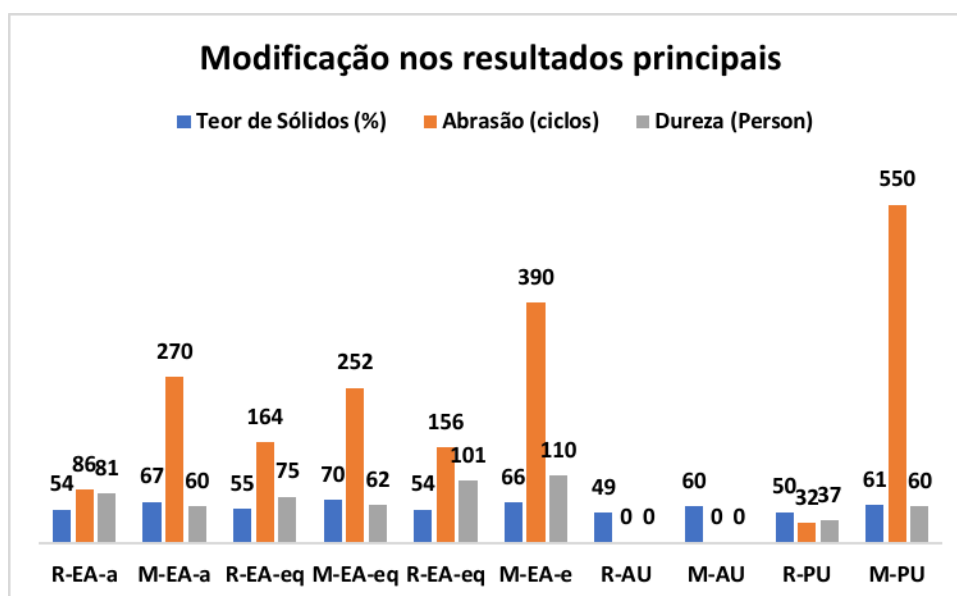
Análise	M-EA-a	M-EA-eq	M-EA-e	M-AU	M-PU
Viscosidade (KU)	110	100	70	110	80
pH	8,7	9,0	7,6	9,3	9,6
Teor de Sólidos (%)	67	70	66	60	61
Abrasão (ciclos)	270	252	390	N/M	550
Dureza (Person)	60	62	110	N/M	60
Aderência (classe)	0	0	0	N/M	0
Brilho (UB)	34	35	33	N/M	20
Filme	Conforme	Conforme	Conforme	Não conforme	Conforme

M-EA-a – Estireno-acrílica contendo maior porcentagem de acrílico no teste modificado; M-EA-eq – Estireno-acrílica com equilíbrio entre os monômeros no teste modificado; M-EA-a – Estireno-acrílica contendo maior porcentagem de estireno no teste modificado; M-AU – Acrílica-uretânica no teste modificado; M-PU – Poliuretânica no teste modificado; N/M – Não mensurável

Fonte: Autor (2025).

Quando é observado a Tabela 5 é visto que os protótipos apresentaram melhorias significativas em relação ao teste 1. A Figura 10 contém um gráfico que ilustra as principais melhorias e alterações nos resultados quando comparado as formulações no teste de referência e com modificações.

Figura 10 – Gráfico contendo as principais modificações nos resultados.



Fonte: Autor (2025).

Como é observado na Figura 10, os protótipos contendo resinas estireno-acrílicas, apresentaram uma formação de filmes mais resistente, conforme pode ser observado a partir dos resultados de abrasão, que apresentou em média um ganho de 160 ciclos de abrasão em comparação com o teste de referência. Com o aumento no teor de sólidos, por volta de 10% quando comparado com o teste de referência, a tinta final apresentou um maior teor de estireno resultando em um filme mais rígido, enquanto o aumento no teor de acrilatos melhora a resistência do filme, resultado que pode ser avaliado na Tabela 5 com o aumento na dureza e resistência à abrasão (Fazenda, 2009).

No entanto, a resina acrílica-uretânica continuou apresentando problemas de coalescência, com formação de filme quebradiço e não uniforme, impossibilitando determinadas análises.

Em contrapartida, a resina poliuretânica demonstrou avanços notáveis, podendo ser observado na Figura 10, um resultado de um filme com excelente desempenho no parâmetro de abrasão, de forma que quando comparado com o teste de referência teve um aumento de 518 ciclos e quando comparado a resina M-EA-e, que apresentou melhor desempenho dentre as resinas estireno-acrílicas, a resina M-PU performou 160 ciclos a mais. A adição de coalescentes adequados pode ter

favorecido a distribuição uniforme das partículas poliméricas, contribuindo para a formação de um filme mais coeso e resistente, além de apresentar um teor de sólidos mais elevado, produzindo filmes mais espessos e duráveis, evidenciando ainda mais as propriedades da resina (Fazenda, 2009).

Os dados obtidos reforçam que o desempenho das tintas para piso é altamente dependente do sistema polimérico utilizado na formulação e da otimização de outros parâmetros como: teor de sólidos, da escolha adequada de coalescentes e aditivos. As resinas estireno-acrílicas oferecem alta dureza, mas podem apresentar limitações na absorção de impactos. Em contraste, as resinas poliuretânicas, quando devidamente otimizadas, demonstram um desempenho superior em termos de lavabilidade e resistência à abrasão, características fundamentais para aplicações em ambientes de tráfego intenso.

6 CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como objetivo o desenvolvimento e a caracterização de formulações de tintas para piso à base de água, com ênfase na avaliação de diferentes sistemas poliméricos, incluindo resinas estireno-acrílicas, acrílica-uretânicas e poliuretânicas. Ao longo do estudo, foram exploradas as propriedades físico-químicas e mecânicas dessas formulações, considerando aspectos como resistência à abrasão, aderência e dureza. A metodologia adotada envolveu a preparação de diferentes formulações e realização de ensaios laboratoriais para garantir uma análise de desempenho de cada sistema avaliado.

Os resultados obtidos demonstraram que as formulações de resinas estireno-acrílicas apresentaram bons resultados, especialmente no segundo teste, apresentando resultados superiores, com mais de 100 ciclos de resistência a abrasão quando comparado com a formulação utilizada como referência. As formulações contendo resinas acrílica-uretânicas apresentaram dificuldades na formação de um filme homogêneo e resistente. Por outro lado, as formulações poliuretânicas se destacaram pela alta resistência à abrasão, com 550 ciclos de abrasão, com os devidos ajustes na formulação entre o teste de referência e o modificado, apresentou grande evolução, com 518 ciclos a mais de abrasão, representando uma boa resistência mecânica que é características do monômero uretano. Essa última categoria mostrou grande potencial para aplicações de alto desempenho, especialmente em ambientes sujeitos a desgaste intenso podendo oferecer uma alternativa as tintas base solvente.

Com base nesses resultados, surgem diversas oportunidades para estudos futuros. O desenvolvimento de formulações híbridas, combinando diferentes resinas para otimizar propriedades específicas, representa um caminho promissor. Além disso, estudos mais aprofundados sobre a influência de coalescentes e agentes reticulantes podem contribuir para a melhoria da formação de filme e da resistência mecânica das tintas. Dessa forma, este estudo não apenas contribui para o aprimoramento de tintas para piso, mas também abre novas perspectivas para pesquisas e inovações tecnológicas no setor de revestimentos imobiliários.

REFERÊNCIAS

ABNT. **NBR 1103**. Tintas - Determinação da aderência, Rio de Janeiro, RJ, 2009.

ABNT. **NBR 11702**. Tintas para construção civil - Tintas, vernizes, texturas e complementos para edificações não industriais - Classificação e requisitos, Rio de Janeiro, RJ, 2021.

ABNT. **NBR 14940**. Tintas para construção civil - Método para avaliação de desempenho de tintas para edificações não industriais - Determinação da resistência à abrasão úmida, Rio de Janeiro, RJ, 2018.

ABNT. **NBR 15299**. Tintas para construção civil – Método para avaliação de desempenho de tintas para edificações não industriais - Determinação de brilho, Rio de Janeiro, RJ, 2016.

ABNT. **NBR 8621**. Determinação do volume de sólidos – Método de ensaio, Rio de Janeiro, RJ, 2014.

ABRAFATI. O Setor de Tintas no Brasil. in: ABRAFATI. **Setor de Tintas**. [São Paulo,SP]: ABRAFATI. Disponível em:<https://abrafati.com.br/setor-de-tintas/dados-do-setor/>. Acesso em: 12 de Novembro de 2024.

ASTM INTERNATIONAL. **ASTM D 562-10**: Standard Test Method for Consistency of Paints Measuring Krebs Unit (KU) Viscosity Using a Stormer-Type Viscometer, 2018.

ASTM INTERNATIONAL. **ASTM D4366-16**: Standard Test Methods for Hardness of Organic Coatings by Pendulum Damping Tests. West Conshohocken: ASTMInternational, 2021.

DING, J. et al. A novel hydroxyl epoxy phosphate monomer enhancing the anticorrosive performance of waterborne Graphene/Epoxy coatings. **Applied Surface Science**, v. 427, p. 981–991, 2018.

EL-HOSHOUDY, Abdelaziz Nasr Moawad Bakr. Emulsion Polymerization Mechanism. In: Recent Research in Polymerization. **InTech**, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.5772/intechopen.72143>.

FAZENDA, J. M. R.; DINIZ, F. D. **Tintas & Vernizes: Ciência e Tecnologia**. 4 ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2009. 1124 p.

GOMES, F. W.; PINTO, M. C. C. **Desenvolvimento de um Processo para Produção de Partículas de Poli(ácido acrílico)**. 2011. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

HONARKAR, H. Waterborne polyurethanes: A review. **Journal of Dispersion Science and Technology**, v 39 p. 4, 507–516, 2017.

HUANG, T.; GONG, S. Preparation of Emulsifier-Free Styrene–Acrylic Emulsion via Reversible Radical Transfer Polymerization. **Polymers** 2021, 13, 3348.

LUO, J. et al. Elastic vitrimers: Beyond thermoplastic and thermoset elastomers. **Matter**, v. 5, p. 1391-1422, 2022.

MACHADO, F. et al. Uma revisão sobre os processos de polimerização em suspensão. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, vol. 17, núm. 2, 2007, pp. 166-179.

ROCHA, R. J. et al. Síntese de poliuretanos modificados por óleo e mamona empregados em materiais energéticos. **Química Nova**, v. 36, No. 6, 793-799, 2013.

SALVATO, R. C. J. P. S. et al. **Manual Descomplicado de Tecnologia de Tintas: um Guia Rápido e Prático Para Formulação de Tintas e Emulsões**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2017. 228 p.

TIAN, X. et al. Recent advancement in synthesis and modification of water-based acrylic emulsion and their application in water-based ink: A comprehensive review. **Progress in Organic Coatings**, v. 185, p. 108320, 2024.

WU, J. et al. Pickering emulsion approach: A novel strategy to fabricate waterborne polyurethane with enhanced abrasability and water-resistance comparable to that of solvent-based coating. **Progress in Organic Coatings**, v. 188, p. 108174, 2024.