ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
Departamento de Engenharia de Construção Civil

NATHALIA MARA SANGION DE ABREU

Avaliação do impacto do uso de nanofibras de celulose no desempenho de tintas imobiliárias

São Paulo
2022

NATHALIA MARA SANGION DE ABREU

Avaliação do impacto do uso de nanofibras de celulose no desempenho de tintas imobiliárias

Versão Corrigida

Dissertação apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Ciências

Área de Concentração: Inovação na Construção Civil

Orientador: Prof. Dr. Flávio Leal Maranhão

São Paulo

2022

FICHA CATALOGRÁFICA

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Abreu, Nathalia Mara Sangion de

Avaliação do impacto do uso de nanofibras de celulose no desempenho de tintas imobiliárias

N. Abreu – versão corr. - São Paulo, 2022. 122 p.

Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil.

1. Tintas; 2. Sistema de Pintura; 3. Dióxido de Titânio; 5. Nanotecnologia; 6. Celulose; 7. Nanofibras de celulose;

Nome: ABREU, Nathalia Mara Sangion de

Título: Avaliação do impacto do uso de nanofibras de celulose no desempenho de tintas imobiliárias

Dissertação apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do título de mestre em Ciências

Aprovado em:

Banca Examinadora

Prof. Dr.: _____

Instituição: _____

Julgamento: _____

Prof. Dr.: _____

Instituição: _____

Julgamento: _____

Prof. Dr.: _____

Instituição: _____

Julgamento: _____

AGRADECIMENTOS

Estes anos de mestrado foram permeados por tantas alegrias e descobertas, mas também por desafios e incertezas. Seguir adiante, apesar dos percalços, só foi possível graças ao apoio de tantas pessoas especiais, a quais dedico este trabalho e demonstro minha gratidão.

Agradeço especialmente ao meu orientador, Prof. Dr. Flávio Leal Maranhão, por ter confiado no meu potencial e por ter me apresentado o programa de mestrado. Obrigada pelos seus estímulos, observações e conselhos, que me conduziram ao longo da trajetória de pesquisa. Sem sua dedicação, confiança e, sobretudo, sua amizade, a realização deste trabalho não seria possível.

Agradeço aos meus queridos pais Monica e Edson e a minha avó Jurema, por terem sempre estado ao meu lado, prestando seu apoio e se mostrando sempre compreensivos quando mais necessitei. Graças a vocês eu aprendi a cuidar sem esperar nada em troca. Vocês me ensinaram o verdadeiro significado de amor incondicional. Obrigada por sempre desejarem o meu melhor, por terem me dado a oportunidade do conhecimento e por terem abdicado de tanto por mim. Hoje sou o reflexo do esforço de vocês. A vocês, minha eterna gratidão.

Agradeço ao meu amado marido Riccardo por toda sua paciência e compreensão, especialmente quando privado da minha companhia, e pelo seu apoio, sempre me estimulando e me dando a força necessária para não desistir. Muito obrigada, mo! A minha vida é muito mais feliz desde que você chegou.

Agradeço aos meus sogros, Marina e Renzo, que se tornaram meus pais de coração, por todo amor, carinho, cuidado e incentivo.

Agradeço à Sophie, minha filha de quatro patas, companheira de pesquisa e escrita durante tantas madrugadas.

Agradeço à Qualiflex por ter fornecido os componentes necessários para a formulação as tintas utilizadas nesta pesquisa.

Agradeço aos técnicos do laboratório de materiais por sua disponibilidade e suporte durante o desenvolvimento dos ensaios.

Por fim, o agradecimento mais importante: a Deus e a Nossa Senhora, por estarem sempre ao meu lado, me guiando e dando forças para enfrentar todas as adversidades da vida. Obrigada Pai e Mãezinha, sem vocês eu nada seria.

RESUMO

As tintas imobiliárias representam grande parte do faturamento da indústria química nacional. Diversos produtores têm evidenciado a dificuldade de aquisição do pigmento mais utilizado no setor, o Dióxido de Titânio (TiO_2), tanto pelo elevado valor comercial, como pela escassez de fornecedores nacionais, dependendo quase unicamente de importações. Neste cenário, a busca por produtos inovadores que possam substituir o pigmento e renovar a cadeia de suprimentos, aliando desempenho e melhor custo-benefício, tem se tornado cada vez mais oportuna. Desta forma, este trabalho objetiva avaliar a possibilidade de substituição do pigmento por nanofibras de celulose, de maneira a tornar o processo produtivo das tintas mais econômico e flexível para os produtores. O estudo avaliou a tinta látex opaca na cor branca de três qualidades de distintas: econômica, *standard* e *premium*. Por meio de um programa experimental foram elaboradas formulações que havia somente o TiO_2 em sua composição, chamadas de misturas convencionais e, a partir destas, foram elaboradas formulações que substituíam o pigmento em percentual de massa pelo nanomaterial, com intervalos de 10%, até a completa substituição. Ensaios para avaliação do desempenho foram realizados para as misturas convencionais e para as que possuíam nanofibras em sua composição. Na fase de análise de resultados, as tintas tiveram seus desempenhos analisados e comparados entre si. Verificou-se que as algumas das formulações econômicas com nanofibras em sua composição passaram a atender os requisitos mínimos de desempenho das tintas *standard*, que por sua vez, passaram a atender aos requisitos das tintas *premium*. Assim, foram determinadas as melhores concentrações do novo componente para a produção das tintas.

Palavras-Chave: Tintas imobiliárias. Pigmentos. Dióxido de Titânio. Nanotecnologia. Nanofibras de celulose.

ABSTRACT

The home paints represent a large part of the revenue of the national chemical industry. Several producers have highlighted the difficulty of acquiring the most used pigment in the sector, Titanium Dioxide (TiO_2), both for its high commercial value and for the scarcity of domestic suppliers, depending almost exclusively on imports. In this scenario, the search for innovative products that can replace the pigment and renew the supply chain, combining performance and better cost-benefit, has become increasingly opportune. Thus, this study aims to evaluate the possibility of replacing the pigment by cellulose nanofibers, in order to make the production process of paints more economical and flexible for producers. The study evaluated opaque latex paint in the white color of three different qualities: economy, standard and premium. Through an experimental program, formulations with only TiO_2 in its composition were prepared, called conventional mixtures, and, from these, formulations were developed that replaced the pigment in percentage of mass by the nanomaterial, at intervals of 10%, until complete replacement. Tests to evaluate the performance were conducted for the conventional mixtures and for those that had nanofibers in their composition. In the results analysis phase, the paints had their performances analyzed and compared to each other. It was found that some of the economical formulations with nanofibers in their composition started to meet the minimum performance requirements of standard paints, which, in turn, started to meet the requirements of premium paints. Thus, the best concentrations of the new component were determined for paints production.

Keywords: Home paints. Pigments. Titanium dioxide. Nanotechnology. Cellulose nanofibers.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Faturamento da indústria química no ano de 2021 18
Figura 2 - Evolução da produção em bilhão de litros de tintas imobiliárias entre os anos de 2011 e 2021 19
Figura 3 - Metodologia de pesquisa 22
Figura 4 - Composição Geral das Tintas 28
Figura 5 - Processo tradicional de fabricação de tintas 33
Figura 6 - Ilustração das estruturas dos polimorfos naturais do TiO2: (a) Anatase; (b) Rutilo; (3) Broquita; 39
Figura 7 - Citações e publicações em nanotecnologia no mundo 42
Figura 8 - Programa experimental 46
Figura 9 - Agitador mecânico de hélice RW20 Digital (Ika) 49
Figura 10 - Disco dispersor Cowles 49
Figura 11 - Processo de produção da mistura 50
Figura 12 - Comparação entre a mesma quantidade de nanofibras de celulose com diferentes teores de umidade (respectivamente 96%, 30% e 8%) 52
Figura 13 - Materiais necessários para a realização do ensaio de viscosidade 58
Figura 14 - Materiais necessários para o ensaio de determinação de opacidade 60
Figura 15 - Criptômetro e placas com diferentes coeficientes angulares 60
Figura 16 - Medição do deslocamento da placa no criptômetro 60
Figura 17 - Aplicador eletromotorizado com sistema de vácuo e suporte para extensor da Byk Gardner 62
Figura 18 - Materiais necessários para a realização do ensaio de determinação do poder de cobertura da tinta úmida 62
Figura 19 - Espectofotômetro computadorizado 62
Figura 20 - Medição do valor de refletância na parte preta da cartela 63
Figura 21 - Medição do valor de refletância na parte branca da cartela 63
Figura 22 - Preparação das películas 64
Figura 23 - Película recortada e pronta para ser ensaiada 64
Figura 24 - Processo de medição de brilho 67
Figura 25 - Medição do valor de refletância na parte preta da cartela 68
Figura 26 - Preparação da cartela a ser ensaiada. 69
Figura 27 - Medição da razão de contraste. 69

Figura 28 - Máquina de lavabilidade da Byk Gardner. 72
Figura 29 - Placas de PVC após o ensaio, ilustrando o auxílio de uma régua para a determinação do desgaste de 80% da área. 72
Figura 30 - Aplicação de pasta abrasiva sobre a escova. 74
Figura 31 - Procedimento de desgaste/abrasão.....74
Figura 32 - Leitura correta do ensaio de resistência à abrasão úmida. 74
Figura 33 - Realização do ensaio de calcinação. 75
Figura 34 - Padrões fotográficos para avaliação do grau de calcinação por contraste. 75
Figura 35 - Tamanho da bolha - T4. 76
Figura 36 - Tamanho da bolha - T3. 76
Figura 37 - Tamanho da bolha - T2. 77
Figura 38 - Tamanho da bolha - T1. 77
Figura 39 - Craqueamento irregular sem direção preferencial. 78
Figura 40 - Craqueamento regular com direção preferencial. 78
Figura 41 - Imersão de metade da cartela na solução de gilsonita. 79
Figura 42 - Procedimento de secagem das cartelas em superfície vertical rígida.....80
Figura 43 - Cartelas após a aplicação da água. 81
Figura 44 - Destacamento na área quadriculada. 83
Figura 45 - Resultados obtidos no ensaio de determinação da massa específica das tintas econômicas.....86
Figura 46 - Resultados obtidos no ensaio de determinação da massa específica das tintas standard.....86
Figura 47 - Resultados obtidos no ensaio de determinação da massa específica das tintas premium.....87
Figura 48 - Cartelas com tintas premium após serem submetidas ao ensaio de abrasão úmida.....98
Figura 49 - Cartelas com tintas econômicas após serem submetidas ao ensaio de abrasão úmida sem pasta abrasiva.....99
Figura 50 - Feltros utilizados para a determinação da calcinação das tintas econômicas 101
Figura 51 - Feltros utilizados para a determinação da calcinação das tintas standard 101

Figura 52 - Feltros utilizados para a determinação da calcinação das tintas premium 101
Figura 53 - Empolamento apresentado pela formulação econômica convencional.102
Figura 54 - Empolamento apresentado pela formulação standard com 70% de NFC na composição 103
Figura 55 - Empolamento apresentado pela formulação premium com 30% de NFC na composição 103
Figura 56 - Craqueamento apresentado na formulação premium convencional 104
Figura 57 - Grau de destacamento GR1 apresentado por tinta premium com 100% de NFC em sua composição 107
Figura 58 - Grau de destacamento GR2 apresentado por tinta premium com 70% de NFC em sua composição 107
Figura 59 - Grau de destacamento GR3 apresentado por tinta premium convencional 108
Figura 60 - Grau de destacamento GR4 apresentado por tinta premium com 20% de NFC em sua composição 108

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Percentual de conformidade das empresas participantes e não participantes do programa 35
Tabela 2 - Celulose: termos, processos, origem e dimensões. 44
Tabela 3 - Formulações 47
Tabela 4 - Ensaios no estado fresco 47
Tabela 5 - Ensaios no estado seco (película).....48
Tabela 6- Percentual em massa dos componentes das formulações das tintas econômica, standard e premium 49
Tabela 7 - Formulações de tintas econômicas com substituição de pigmento.....54
Tabela 8 - Formulações de tintas standard com substituição de pigmento.....55
Tabela 9 - Formulações de tintas premium com substituição de pigmento.....56
Tabela 10 - Tabela de conversão para placa de coeficiente angular igual a 0,0002 e 0,0007 61
Tabela 11 - Resultados do ensaio de determinação de massa específica.....85
Tabela 12 - Resultado do ensaio de determinação da viscosidade pelo Copo Ford.88
Tabela 13 - Resultados do ensaio de poder de cobertura (opacidade).....89
Tabela 14 - Resultados do ensaio de poder de cobertura da tinta úmida 90
Tabela 15 - Resultados obtidos no ensaio de determinação do volume de sólidos ..92
Tabela 16 - Resultados obtidos no ensaio de determinação do teor de substâncias voláteis 92
Tabela 17 - Resultados obtidos com a conversão de VOC em % para g/L.....93
Tabela 18 - Resultados obtidos no ensaio de determinação do brilho 94
Tabela 19 - Resultados obtidos no ensaio de determinação do poder de cobertura por extensão.....95
Tabela 20 - Resultados obtidos no ensaio de determinação do poder de cobertura.96
Tabela 21 - Resultados obtidos no ensaio de abrasão úmida.....97
Tabela 22 - Resultados obtidos no ensaio de abrasão úmida sem pasta abrasiva...99
Tabela 23 - Resultados obtidos no ensaio de calcinação 100
Tabela 24 - Resultados obtidos no ensaio de determinação do empolamento 102
Tabela 25 – Resultados obtidos no ensaio de determinação do grau de craqueamento 104
Tabela 26 - Resultados obtidos no ensaio de determinação da porosidade 105

Tabela 27 - Resultados obtidos no ensaio de determinação do manchamento 106
Tabela 28 - Resultados obtidos no ensaio de determinação do grau de aderência 107

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABIQUIM Associação Brasileira das Indústrias Químicas

ABRAFATI Associação Brasileira dos Fabricantes de Tintas

CBIC Câmara Brasileira da Indústria da Construção

INCC Índice nacional de custos da construção civil

MFC Microfibra de celulose

NFC Nanofibra de celulose

TESIS Tecnologia e qualidade de sistemas em engenharia

SUMÁRIO

1. CONTEXTUALIZAÇÃO 17

1.1 Objetivo Geral 21

1.2 Objetivos Específicos 21

1.3 Metodologia 22

1.4 Estrutura do trabalho 23

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 25

2.1 Tintas 25

2.1.2 Contexto histórico 25

2.1.3 Componentes 27

2.1.4 Processo Produtivo das Tintas 32

2.1.5 Métodos de ensaio para tintas 35

2.2 Dióxido de Titânio (TiO_2) 38

2.3 Nanofibras de Celulose 40

2.3.1 Nanotecnologia 40

2.3.2 Nanofibras de celulose 42

3 PROGRAMA EXPERIMENTAL 46

3.3 Formulações 48

3.3.1 Tintas Convencionais 48

3.3.2 Tintas com uso de NFC em substituição ao TiO_2 51

3.4 Métodos de Ensaio 57

3.4.1 Ensaios no estado fresco 57

3.2.1.1 Determinação da massa específica 57

3.2.1.2 Determinação da viscosidade (copo Ford) 58

3.2.1.3 Determinação do poder de cobertura (opacidade) 59

3.2.1.4 Determinação do poder de cobertura da tinta úmida 62

3.2.2 Ensaios no estado seco (película) 63

3.2.2.1 Volume de sólidos 63
3.2.2.2 Teor de substâncias voláteis 65
3.2.2.3 Brilho 67
3.2.2.4 Poder de cobertura – película obtida por extensão 68
3.2.2.5 Poder de cobertura 69
3.2.2.6 Abrasão úmida sem pasta abrasiva 71
3.2.2.7 Abrasão úmida 73
3.2.2.8 Calcinação 75
3.2.2.9 Empolamento 76
3.2.2.10 Craqueamento 77
3.2.2.11 Porosidade 78
3.2.2.12 Manchamento 80
3.2.2.13 Aderência 82
4 RESULTADOS E ANÁLISES 84
4.3 Impacto na tinta 84
4.4 Impacto na película úmida 84
4.4.1 Massa Específica 85
4.4.2 Viscosidade 87
4.4.3 Poder de cobertura (opacidade) 89
4.4.4 Poder de cobertura da tinta úmida 90
4.5 Impacto na película seca 91
4.5.1 Volume de sólidos 92
4.5.2 Teor de substâncias voláteis 92
4.5.3 Brilho 94
4.5.4 Cobertura por extensão 95
4.5.5 Poder de cobertura 96

4.5.6 Abrasão úmida 97
4.5.7 Abrasão úmida sem pasta abrasiva 98
4.5.8 Calcinação 100
4.5.9 Empolamento 101
4.5.10 Craqueamento 104
4.5.11 Porosidade 105
4.5.12 Manchamento 106
4.5.13 Aderência 106
5 CONCLUSÕES 109
5.3 Sugestões para trabalhos futuros 110
6 REFERÊNCIAS 111

1. CONTEXTUALIZAÇÃO

A indústria global de revestimentos é um importante subconjunto da indústria química internacional e, nos últimos anos, tem sofrido controles rígidos no que diz respeito à emissão de poluentes atmosféricos e compostos orgânicos voláteis, o que impulsiona a adoção de novas tecnologias com foco na proteção do meio ambiente e na sustentabilidade.

A maioria das empresas produtoras de revestimentos são regionais e de pequeno porte, mas a grande expansão tecnológica deriva dos investimentos, crescimento e consolidação das multinacionais que, apesar de serem muito inferiores em quantidade, possuem um poder de mercado muito superior em relação aos outros produtores, devido a sua capacidade de negociação em grande escala com fornecedores e, de consequência, com os clientes, bem como capacidade de determinar as tendências do setor.

A produção e o consumo de revestimentos são considerados bem balanceados em todos os países, diferentemente do que tem acontecido com os países da Ásia, que no último período, apresentam uma demanda crescente, sendo considerados responsáveis por cerca de mais da metade do consumo global em termos de volume (IHS MARKIT, 2020).

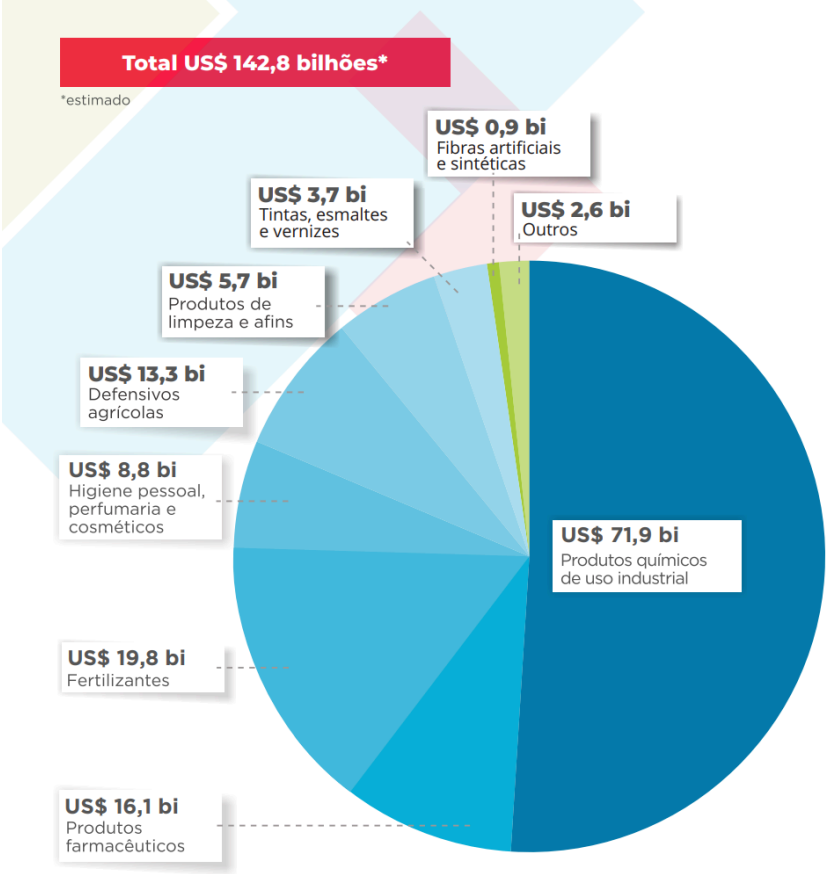
Dentre os mais variados tipos de revestimentos encontram-se as tintas, que são utilizadas para dar acabamento e proteger superfícies e estruturas das mais variadas características.

A função decorativa das tintas é equivocadamente considerada como principal ou única. Além de decorar, estas podem desenvolver a tarefa de isolar termicamente, proteger superfícies externas de intempéries ou organismos como os fungos, sinalizar ou, até mesmo exercer uma influência psicológica sobre as pessoas (GUÍO, 2013).

No relatório de desempenho do ano de 2021 publicado pela ABIQUIM (Associação Brasileira da Indústria Química), apresentado na Figura 1, o faturamento líquido da indústria química nacional superou os 140 bilhões de dólares. As tintas, consideradas produtos químicos de uso final, são responsáveis diretamente por 2,6% do

faturamento, porém para a sua produção são necessários os insumos químicos de uso industrial, o que gera uma fonte de faturamento indireta à indústria.

Figura 1 - Faturamento da indústria química no ano de 2021



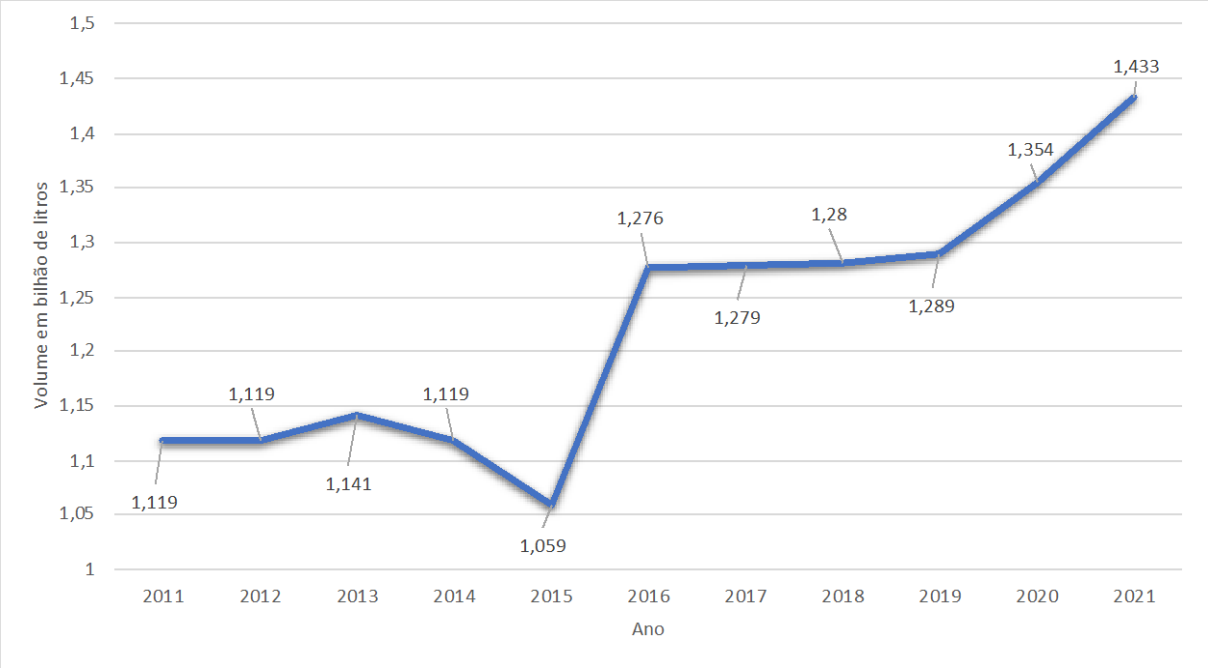
Fonte: ABIQUIM (2021).

As tintas possuem uma grande importância no setor de construção civil, que apresentou um crescimento de 7,6% no ano de 2021 e tem previsão de crescimento de 2% no ano de 2022 de acordo com a CBIC (Câmara Brasileira da Indústria da Construção) e, além disso, tem sido considerado um dos grandes motores de recuperação da economia após a pandemia.

Correspondentemente ao acelerado ritmo de crescimento da construção civil, a demanda do volume de consumo de tintas destinadas a este setor, chamadas imobiliárias, também cresceu.

De acordo com os últimos relatórios publicados pela ABRAFATI (Associação Brasileira dos Fabricantes de Tintas), nos últimos vinte anos, a produção de tintas no Brasil superou o dobro, o que o fez se tornar um dos cinco maiores produtores mundiais, tendo produzido cerca de 1,715 bilhão de litros em 2021, como representado na Figura 2. Somente o segmento imobiliário foi responsável por 83,5% da produção total, apresentando um aumento de 5,83% em relação à 2020 e mais de 28% em relação à 2011.

Figura 2 - Evolução da produção em bilhão de litros de tintas imobiliárias entre os anos de 2011 e 2021



Fonte: Adaptado de ABRAFATI (2022).

Na produção das tintas, o valor das matérias-primas, representa de 50 a 60% dos custos totais. Os solventes que são principalmente derivados petroquímicos ou operado em refinarias, das resinas, pigmentos e aditivos apresentaram um aumento importante, especialmente quando a pandemia de Covid-19 teve seu início (UGALDE, 2020).

O pigmento mais comumente utilizado nas tintas para conferir opacidade devido ao seu alto grau de refração, Dióxido de Titânio (TiO_2), é um dos mais caros e seu valor varia de acordo com a oferta e demanda de mercado, apresentando grandes

oscilações. De março a junho de 2020, de acordo com informações obtidas em pesquisas com produtores nacionais do setor, a tonelada deste material variava de USD 2.900,00 a USD 3.500,00. Além do custo elevado, os produtores relatam que havia pouco material em estoque e tiveram de enfrentar problemas ligados à importação deste produto, como a taxa de câmbio e os atrasos na entrega, visto que a maioria dos fornecedores atualmente se concentra na China.

Devido aos acontecimentos dos anos de 2020 e 2021, principalmente no que diz respeito à retomada da economia após a pandemia, a indústria de tintas nacional tem focado seus esforços na renovação da cadeia de suprimentos, na diminuição de importações de matérias-primas, na melhoria de performance do produto e na diminuição de custos de produção.

Para atingir os objetivos, os produtores estão fomentando a busca de novos materiais que possam substituir os comumente utilizados, e que sejam nacionais, mais econômicos, concedam melhor qualidade ao produto e que sejam sustentáveis. Dentre as áreas de interesse de pesquisa e desenvolvimento, a nanotecnologia é uma das pioneiras, tendo proporcionado resultados positivos no que diz respeito à substituição total ou parcial de certas matérias-primas na produção das tintas (FERNÁNDEZ, 2021).

Desta forma, tendo em vista a necessidade de renovação da cadeia de suprimentos relatada pelos produtores do setor, aprofundamento teórico e análise de dados, tornou-se explícita a necessidade em realizar a substituição do Dióxido de Titânio por outro material, sendo este nano tecnológico, sustentável e capaz de conferir propriedades superiores às tintas, levando em consideração o quesito econômico.

Certas descobertas e avanços recentes não foram suficientemente abordados em pesquisas e publicações recentes acerca da substituição do Dióxido de Titânio por nanofibras de celulose em tintas imobiliárias.

Em uma pesquisa exploratória realizada por Toisawa e Sasaki (2020) foram apresentados interessantes resultados que mostram o potencial da incorporação das nanofibras às tintas imobiliárias à base de água, especialmente no que diz respeito à resistência a abrasão e à redução do teor de compostos orgânicos voláteis.

Apesar do grande potencial apresentado, diversas questões necessitam de aprofundamento:

- A substituição do Dióxido de Titânio pelas nanofibras de celulose é possível? Se sim, esta substituição é benéfica para as tintas imobiliárias?
- Qual a concentração de nanofibra a ser utilizada para obter o melhor desempenho?
- O uso de nanofibras de celulose é indicado para qual qualidade de tintas?
- Qual o impacto no desempenho das tintas quando incorporadas as nanofibras de celulose?

A partir do exposto, determinou-se que esta pesquisa contemplará a formulação de três qualidades de tinta à base de água (Econômica, *Standard* e *Premium*) e, a partir de cada uma delas, formulações que substituam, em peso, o pigmento pelo material adotado. Além disso, as formulações serão analisadas por meio de ensaios da normativa vigente e terão seus resultados avaliados para gerar uma possível comparação entre as formulações padrão e as que possuem nanofibras em sua composição.

1.1 Objetivo Geral

O principal objetivo desta pesquisa é avaliar o potencial de substituição do Dióxido de Titânio por nanofibras de celulose em tintas imobiliárias.

1.2 Objetivos Específicos

A fim de atingir o objetivo específico desta pesquisa, pretende-se:

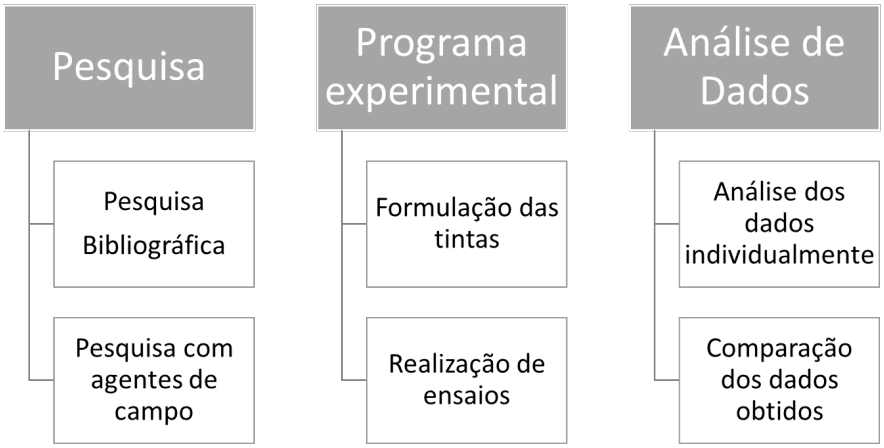
- Produzir amostras de tintas a partir do delineamento experimental de misturas convencionais de três qualidades (econômica, *standard* e *premium*) e caracterizá-las de acordo com os ensaios normatizados, avaliando desta forma, seu desempenho.

- Determinar as concentrações adequadas de nanofibras de celulose para cada mistura e, em seguida, produzir suas amostras e avaliá-las quanto seu desempenho, realizando os ensaios normatizados para tintas convencionais.
- Compreender a influência da incorporação do novo material manométrico às formulações.
- Avaliar a viabilidade técnica da substituição proposta.
- A partir dos resultados obtidos nos ensaios, comparar e classificar, quanto à qualidade, as diferenças entre a composição convencional com a composição proposta;

1.3 Metodologia

Para o desenvolvimento desta pesquisa foram definidas três etapas, sendo elas respectivamente pesquisa, programa experimental e análise de dados. Cada uma das etapas foi dividida como apresentado na Figura 3.

Figura 3 - Metodologia de pesquisa



Fonte: Autor.

A primeira etapa foi destinada a aprofundar o conhecimento do setor de tintas, sendo dividida em duas partes. A primeira é a pesquisa bibliográfica que permeia o setor de tintas, além de se aprofundar no que diz respeito aos componentes chave deste trabalho, Dióxido de Titânio e nanofibras de celulose, enquanto a outra parte se

direciona para a pesquisa com agentes de campo, ou seja, produtores, que compartilharam sua experiência no setor, proporcionando maior familiaridade com os problemas enfrentados atualmente e com os objetivos futuros desta área.

Na segunda etapa foi realizado o programa experimental. No primeiro momento realizou-se a formulação de três qualidades de tinta comumente fabricadas. Em seguida, para a realização da segunda parte desta etapa, foram elaboradas dez variantes de cada uma das tintas convencionais, sendo a principal diferença, a substituição em massa do pigmento pelo material nanométrico, com intervalos de 10% entre entres.

Após a realização das formulações, iniciou-se a fase de ensaios, todos normatizados pela ABNT, para obtenção de dados que, na etapa seguinte, foram analisados e correlacionados entre si.

1.4 Estrutura do trabalho

Este trabalho está estruturado em cinco capítulos respectivamente contextualização, revisão bibliográfica, programa experimental, resultados e análises e conclusões.

Neste primeiro, apresenta-se uma contextualização baseada em uma breve revisão bibliográfica e pesquisa com agentes de campo, destacando-se dados do setor de tintas no cenário nacional, dando ênfase para as tintas imobiliárias, bem como os objetivos principal e específicos do estudo, a metodologia utilizada e, concluindo-se, com o presente subcapítulo.

O Capítulo 2 contém a revisão bibliográfica, que contempla dentre outros assuntos, o cenário atual da indústria química no Brasil e dados relevantes da indústria de tintas; um aprofundamento sobre os componentes da tinta e suas respectivas funções, com maior enfoque no pigmento Dióxido de Titânio; uma breve contextualização sobre celulose, nanotecnologia e nanofibras de celulose.

Destaca-se no Capítulo 3 o detalhamento do programa experimental, desde os materiais e métodos utilizados para as formulações, convencionais e com substituição do pigmento. Além disso, o capítulo conta com o detalhamento dos métodos laboratoriais utilizados para realizar as misturas e avaliá-las.

Os resultados obtidos e suas respectivas análises são apresentadas no Capítulo 4. As análises permitiram realizar a comparação no desempenho entre as tintas produzidas entre si.

A conclusão do trabalho se apresenta, por fim, no Capítulo 5, onde existe uma reflexão geral sobre os capítulos anteriores, bem como propostas para trabalhos futuros acerca do tema.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo, apresenta-se a fundamentação teórica necessária para o desenvolvimento deste estudo. Tem-se uma breve revisão sobre o contexto histórico e o panorama setorial nacional das tintas imobiliárias, bem como seus respectivos componentes, com ênfase ao pigmento Dióxido de Titânio (TiO2) - de extrema relevância para o estudo; além de uma breve descrição sobre nanotecnologia e celulose.

2.1 Tintas

O termo tintas abrange toda a gama de produtos usados na preparação dos substratos até o acabamento final, visto que estas possuem desde função estética até a de proteção da superfície. Trata-se de uma dispersão com quatro componentes fundamentais, sendo eles pigmentos, resinas, solventes e aditivos. Os componentes devem ser escolhidos rigorosamente e o balanceamento entre si deve conferir às tintas características desejadas como, por exemplo, facilidade de aplicação, rapidez de secagem, boa aderência às superfícies, resistência e durabilidade da película depois de seca (CASTRO, 2009).

2.1.2 Contexto histórico

A história do uso das cores e da pintura é presente em boa parte da história da humanidade. O ser humano na pré-história, que à época possuía poucos recursos verbais para transmitir seus pensamentos, viu-se obrigado a desenvolver alternativas que complementassem sua comunicação e que a perpetuasse (POLITO, 2006).

Na literatura não se encontra uma data específica para o aparecimento da tinta, mas sabe-se que sua existência ultrapassa quarenta mil anos. A expansão do uso das tintas se expandiu por conta das primeiras pinturas e gravuras, que foram descobertas em cavernas feitas diretamente em paredes e rochas (CASTRO, 2009).

Segundo Anghinetti (2012), no período Paleolítico, uma mistura de cal, carvão, gordura, sangue, seiva vegetal entre outros materiais foram usados pelo homem nas

pinturas rupestres em cavernas. Outros desenhos foram feitos em monocromia, com óxido de ferro ou ocre vermelho.

As únicas funcionalidades das tintas, por séculos, foi a comunicação e, em seguida, a estética, mas quando apresentados à Europa e à América do Norte, onde o clima era mais severo, notou-se também a importância no aspecto de proteção (DINIZ e FAZENDA, 2009).

No ápice da Revolução Industrial, final do século XVIII e início do XIX, os fabricantes de tintas começaram a usar equipamentos mecânicos. Os primeiros fabricantes, entretanto, apenas preparavam os materiais para tinta, fornecendo-os para os pintores, que compunham suas próprias misturas. Em 1867, os fabricantes introduziram as primeiras tintas preparadas no mercado. O desenvolvimento de novos equipamentos de moer e misturar tintas no final do século XIX também facilitou a produção em larga escala.

Apesar de uma produção não indiferente, as tintas contavam ainda com pouca tecnologia e, somente depois do século XX, começaram a apresentar inovações tecnológicas, tanto no que diz respeito à criação de uma linhagem de produção mais organizada, ocasionando uma melhoria em relação à velocidade, como a formas de obtenção de novos pigmentos, resinas celulósicas e sintéticas (DINIZ e FAZENDA, 2009).

Segundo Carvalho e Nogueira (2005), a partir de 1900 surgiram as resinas fenólicas, em 1910 foi a síntese do acetato de vinila, em 1920 começaram utilizar o poliacetato de vinila em meio solvente. Sichieri e Salado (2007) expõem que aproximadamente em 1930 surgiram as resinas sintéticas. Carvalho e Nogueira (2005) afirmam que de 1930 a 1935 utilizaram-se combinações de resinas alquídicas com resinas de ureia e polímeros de cloreto de vinilo, em 1935 se criaram os Wash-primers Fórmulados com butiral – polivinílico, em 1940 as resinas de melamina, em 1944 as resinas de silicone e de 1946 a 1950 utilizaram-se o poliacetato de vinila em meio aquoso e o estireno - butadieno em meio aquoso.

A tinta imobiliária látex e as tintas para áreas externas foram lançadas na década de 1950, segundo Carvalho e Nogueira (2005) “a introdução no mercado de

homopolímeros de poliacetato de vinil que, plastificados externamente, começaram a ser utilizados na fábricação de tintas aquosas para paredes".

No mercado atual, pode-se encontrar uma extensa variedade de tipos de tintas como por exemplo acrílicas, vinílicas, epóxi, alquídica, etc. Isto graças ao desenvolvimento de melhores resinas, pigmentos e formulação variadas. O avanço tecnológico possibilitou o lançamento de produtos cada vez mais inovadores, o que rende possível que estes possuam funções técnicas especiais (CUNHA, 2011).

2.1.3 Componentes

Geralmente identificam-se diferentes compostos para a elaboração de uma tinta, os quais têm funções específicas. O primeiro e mais importante é o veículo, ou seja, o componente químico que irá gerar um filme sobre a superfície responsável por protegê-la, além de ser responsável por manter dispersos e aglutinados os demais constituintes. Outros componentes importantes são os pigmentos, cuja finalidade é fornecer cor à tinta, os solventes, utilizados para diminuir a viscosidade da mistura e facilitar sua aplicação, os aditivos usados para auxiliar desde o processo de armazenamento até a formação do filme, entre outros (FAZENDA, 2009).

A tinta é uma dispersão, em que as partículas sólidas encontram-se distribuídas em um componente volátil. Quando aplicada sobre um substrato apropriado, converte-se em película sólida, dada a evaporação do componente volátil e/ou reação química. Apresenta normalmente forma líquida e, depois de aplicada sobre a superfície, passa por um processo de secagem transformando-se em filme sólido (ANGHINETTI, 2012).

De acordo com Silva e Uemoto (2005), a função específica dos pigmentos, que podem se orgânicos ou inorgânicos, são utilizados nas misturas tem como finalidade dar cor e opacidade à película seca, além de reforçarem suas características protetoras através das suas propriedades físicas ou químicas.

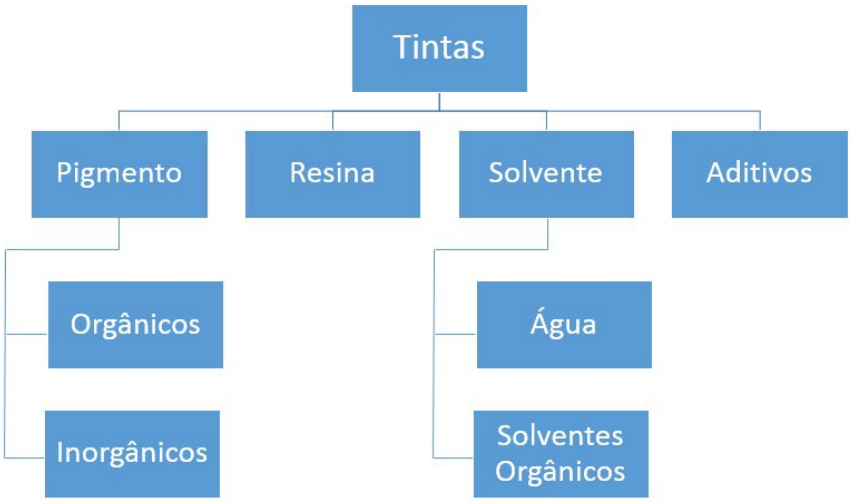
Deve-se sempre considerar a natureza e o teor de pigmento presente nas tintas, principalmente porque ele é o único constituinte que lhe confere opacidade de modo a cobrir completamente a superfície de aplicação. A aptidão de conferir opacidade às tintas está geralmente relacionada com o respectivo índice de refração,

propriedade associada à estrutura cristalina do pigmento (MARQUES; RODRIGUES, 2000).

Botelho et al. (2001) ressaltam a importância das propriedades reológicas das tintas e vernizes, uma vez que em virtude da variedade de materiais utilizados na composição, o estudo reológico se torna uma ferramenta para a determinação das propriedades viscoelásticas e dos componentes envolvidos, permitindo a obtenção de formulações otimizadas.

De maneira geral, pode-se ilustrar a composição das tintas conforme Figura 4.

Figura 4 - Composição Geral das Tintas



Fonte: Autor.

O avanço tecnológico possibilitou o lançamento de produtos cada vez mais inovadores onde é possível encontrar produtos que tenham ainda funções técnicas especiais como reduzir a absorção de água, melhorar aspectos de higiene, resistência à abrasão, resistência ao crescimento de fungos, anti-estática, conforto térmico, entre outros (CUNHA, 2011).

Os componentes utilizados para a pintura são divididos em duas partes, sendo elas denominadas de volátil e não volátil. A parte não volátil é composta basicamente por resina e pigmentos, além de aditivos quando utilizados na formulação. A parte

volátil é composta pelos solventes. Esta nomenclatura dá-se devido os fenômenos que ocorrem após a aplicação da tinta sobre uma superfície. De maneira simplificada, quando a pintura é realizada, a resina e o pigmento contidos na tinta formam uma película sólida, enquanto o solvente evapora. Portanto, é comum dizer que a parte volátil é a "não aproveitada", enquanto a não volátil é a parte comumente conhecida como parte útil da tinta.

a) Resinas

É um dos principais componentes de uma tinta, com características particularmente desejáveis na aplicação final destes produtos, a resina responde pela maioria das propriedades físico-químicas da formulação (GENTIL, 1996).

As resinas são formadas por polímeros, que por sua vez, são compostos por unidades básicas chamadas monômeros. Existem vários tipos de resina que podem ser formuladas com base aquosa, tais como: acetato de polivinila, poli acrílicos puros, copolímeros acrílico-estirenados, vinil acrílico. As emulsões são utilizadas na produção de tintas à base de água (FAZENDA, 2009).

É um material ligante ou aglomerante, normalmente um polímero, normalmente um polímero, não volátil, também chamado de "veículo sólido" que fixa, junta e faz aderir às partículas do pigmento, dando integridade à película de pintura. Propriedades da tinta como dureza, resistência à abrasão, resistência aos álcalis e adesão são governadas basicamente pela resina (POLITO, 2006). Segundo Batista (2004), existem basicamente duas formas de classificação das resinas: as termofixas, que são obtidas por reações de polimerização do sistema de resinas juntamente com a evaporação de solventes; e as termoplásticas, em que o filme é obtido somente por evaporação de solvente. As propriedades dos filmes termofixos são superiores aos termoplásticos, com relação a brilho, resistência química, resistência mecânica, durabilidade e outras.

b) Solventes

De acordo com Anghinetti (2012), o solvente é um veículo volátil, de baixo ponto de ebulição, incolor e neutro, capaz de solubilizar as resinas e são selecionados em

função da natureza da tinta. Estes são, geralmente, voláteis e na sua maioria inflamáveis.

O solvente mantém os pigmentos e as resinas dispersas ou dissolvidas em estado fluido, contribuindo assim para a homogeneização e melhora de viscosidade da mistura, rendendo mais fácil a aplicação desta, além de aumentar a aderência ao substrato. Após a aplicação da tinta, a porção líquida evapora totalmente e resta uma película de pigmentos estruturada com a resina.

Quando a tinta é à base água significa que o solvente é substituído pela água, adicionada com pequena quantidade de líquidos orgânicos compatíveis, funcionando como diluente da resina, não sendo, portanto, capaz de dissolvê-la (UEMOTO; SILVA, 2005). Uma das principais vantagens do uso da água como solvente é que, diversamente dos demais, é incolor e não inflamável.

Os solventes são classificados de acordo com sua natureza e os mais conhecidos são os hidrocarbonetos, solventes oxigenados, solventes clorados e éter.

c) Aditivos

Os aditivos são componentes como secantes, catalizadores, espessantes, sulfactantes, umectantes, dispersantes, biocidas, dentre outros que, quando incorporados às tintas, quase sempre em pequenas quantidades, são capazes de transferir à mistura suas propriedades.

d) Pigmentos

Os pigmentos são substâncias orgânicas ou inorgânicas, utilizadas para conferir cor, opacidade, volume, certas características de resistência e outros efeitos. Resina é a substância responsável pela ligação dos pigmentos e adesão do filme ao substrato. Solventes são compostos (orgânicos ou água) utilizados para dissolver o aglutinante. É responsável pela consistência, conferindo maior ou menor fluidez. Os aditivos proporcionam características especiais ou melhorias nas propriedades da tinta. Geralmente são empregados em baixas concentrações, menores que 5% (ANGHINETTI, 2012).

- Orgânicos

Os pigmentos orgânicos apresentam em sua estrutura química grupamentos cromóforos (AZO, nitroso, nitro, entre outros) e auxocromos (hidroxila, aminas etc.). Dentre os pigmentos orgânicos mais utilizados estão as ftalocianinas, os monoazóicos, diazóicos e dioxazina. Os pigmentos orgânicos dão mais brilho à tinta e a tornam menos densa. Porém, conferem menor resistência à energia luminosa, a cor é menos estável e a tinta tem menor poder de cobertura e maior custo (SARON; FELISBERTI, 2006).

- Inorgânicos

De acordo com Saron e Felisberti (2006), os pigmentos inorgânicos são geralmente constituídos por óxidos, cromatos e sulfatos de metais, muitos deles tóxicos (Pb, Cr, Co, Sb, Cd etc.), conferindo diferentes tonalidades de cor às tintas, conforme a concentração dos pigmentos.

Dornelles (2008) elucida que são considerados pigmentos inorgânicos aqueles que são brancos e que possuem uma grande faixa de pigmentos coloridos, sintéticos ou naturais. Entre os pigmentos inorgânicos presentes nas tintas, destaca-se o Dióxido de Titânio, fabricado a partir de um sal de ferro e titânio, que é o pigmento inorgânico que possui a maior opacidade em relação aos pigmentos atualmente conhecidos. Apresenta-se em duas variedades cristalinas (rutilo e anatase). O Dióxido de Titânio (TiO2), é o pigmento branco mais importante na indústria de tintas devido à sua capacidade de refletir o espectro da radiação solar nas regiões do visível e do infravermelho. Ao refletir os comprimentos de onda da região do visível, o observador percebe a cor branca. A região do infravermelho é percebida pelo ser humano na forma de calor e a radiação ao ser refletida pelo pigmento diminui o aquecimento da superfície pintada.

Segundo Fazano (1995), o alto índice de refração dos cristais de Rutilo, que leva ao seu maior poder opacificante e superior estabilidade exterior, é a principal razão para seu uso preferencial em relação à anatase.

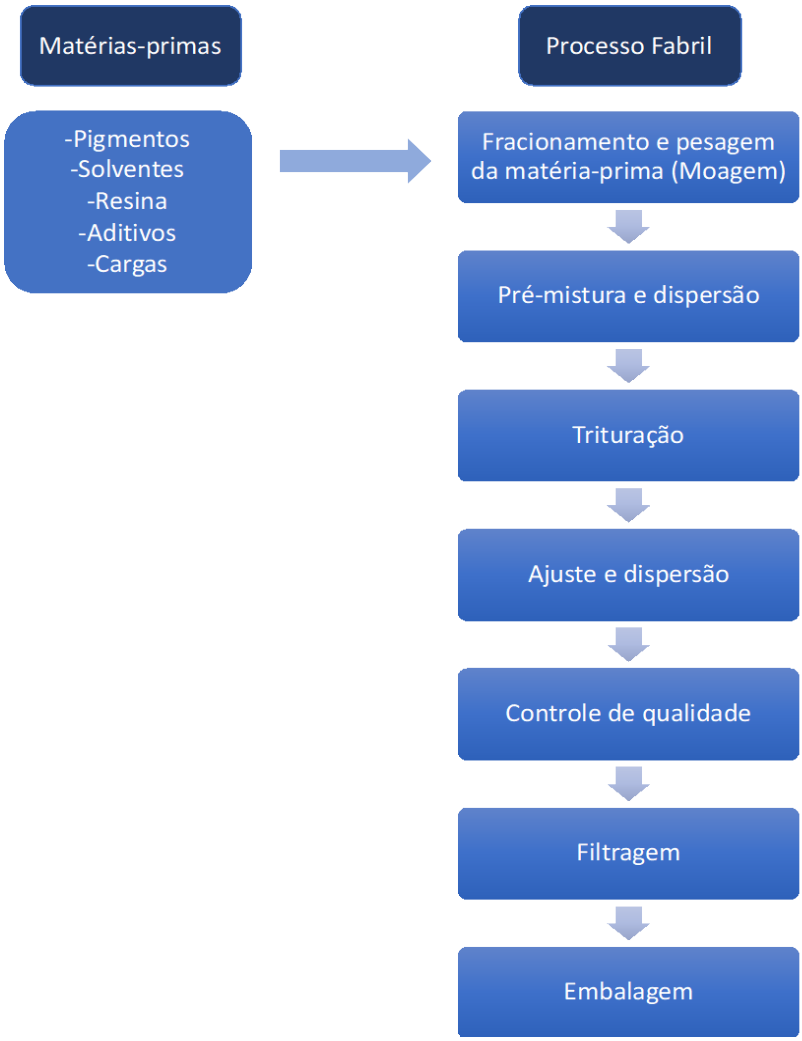
Com o passar dos anos, o Dióxido de Titânio aumentou seu valor potencialmente e passou a ser um dos materiais mais caros dentre os constituintes da tinta. Este, atualmente, na forma de rutilo, possui um preço médio no mercado brasileiro que atinge uma faixa de US$3.000,00/t a US$3.600,00/t (valor obtido com a média das cotações realizadas e obtidas de diversos fabricantes do material).

O volume e a concentração de pigmentos nas tintas regulam os diferentes níveis de brilho e interferem inclusive na resistência do produto. As variações de brilho são calculadas através de um índice chamado PVC ("Pigment Volume Concentration"). Quanto menor for o índice, mais baixo será o volume de pigmentos e maior o brilho da tinta. Conforme o volume de pigmentos da fórmula, as tintas para construção civil são divididas em três tipos: fosca (maior quantidade de pigmento), acetinada e semi-brilho (menor quantidade de pigmento) (DORNELLES, 2008).

2.1.4 Processo Produtivo das Tintas

O processo produtivo das tintas dá-se início com a delimitação das exigências de desempenho do produto e caracterização e quantificação das matérias-primas, além de sua combinação coerente. De maneira simplificada, o fluxograma apresentado na Figura 5 exemplifica um processo produtivo comumente utilizado pelos fabricantes de tintas.

Figura 5 - Processo tradicional de fabricação de tintas



Fonte: Autor.

A definição do processo fabril e suas respectivas etapas, de maneira detalhada, são descritas por Castro (2011), da seguinte maneira:

- Pesagem: todas as matérias-primas são pesadas conforme a quantidade de tinta a ser produzida;

- Pré-Mistura: é feita a mistura dos pigmentos, alguns aditivos e solventes, a uma porção de veículo para torná-los finamente divididos, obtendo-se uma mistura homogênea. A pré-mistura se processa em dispersores de alta rotação;

- Moagem: é realizada a moagem ou dispersão da mistura homogênea obtida na fase de pré-mistura, a fim de diminuir ainda mais o tamanho das partículas dos pigmentos e dispersá-las uniformemente no veículo. A moagem é feita em moinhos que podem ser de vários tipos: moinhos de areia, de rolos, de bolas, etc. O tipo de moinho a ser utilizado é determinado pela característica da tinta a ser produzida;

- Completagem: após terminada a moagem ou dispersão, a essa pasta obtida, que ainda se encontra sob forma concentrada, é adicionado o restante das matérias-primas como: veículos, solventes e aditivos, que constitui a etapa de completagem. Essa diluição se processa em tanques providos de agitadores especiais. Encerrada esta etapa, são processados o acerto de cor e os testes de controle de qualidade tais como o brilho, a viscosidade, a densidade, a cobertura e o tempo de secagem;

- Tingimento: também é efetuado em agitadores, onde os coloristas acertam a cor da tinta mediante um padrão de cor definido, com uso de misturadores;

- Controle da Qualidade: a tinta é enviada ao laboratório onde é submetida a diferentes testes, a fim de determinar a viscosidade, o peso específico, o teor de sólidos, a estabilidade, o poder de cobertura, a secagem, o brilho, a aderência, etc. Uma vez estando com todos os testes aprovados é feito o acerto final de viscosidade;

- Enlatamento/Armazenamento: quando aprovado integralmente o lote de fabricação, seguindo padrões específicos rigorosos, a tinta é envasada por meio de máquinas automatizadas em embalagens pré-determinadas, e em seguida são estocadas em depósito específico para envio ao cliente.

2.1.5 Métodos de ensaio para tintas

Desde novembro de 2002, vem sendo implementado o Programa Setorial da Qualidade de Tintas Imobiliárias pela ABRAFATI - Associação Brasileira dos Fabricantes de Tintas. O Programa tem por principal objetivo elaborar mecanismos específicos que garantam que as tintas imobiliárias colocadas à disposição dos usuários da construção civil apresentem desempenho satisfatório, atendendo às necessidades dos usuários (TESIS, 2022). O programa determina que cada tinta, levando em conta sua base e sua qualidade, deve ser submetida a certos ensaios normatizados e seus resultados divulgados ao público. O percentual de conformidades das empresas participantes e não participantes do programa são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1- Percentual de conformidade das empresas participantes e não participantes do programa

PRODUTO	Requisito de desempenho	ÍNDICE GERAL DE APROVAÇÃO	
		Empresas Participantes	Não Participantes ou em Credenciamento
Tinta látex econômica	Análise de marcação do recipiente	53%	0%
	Resistência à abrasão sem pasta abrasiva	97%	14%
	Poder de cobertura de tinta úmida	97%	100%
	Poder de cobertura de tinta seca	94%	50%
	Resistência à abrasão com pasta abrasiva	100%	14%
	Rendimento teórico	97%	0%
Tinta látex *standard*	Análise de marcação do recipiente	53%	17%
	Resistência à abrasão com pasta abrasiva	94%	0%
	Poder de cobertura de tinta úmida	92%	0%
	Poder de cobertura de tinta seca	92%	67%
	Rendimento teórico	83%	0%
Tinta látex *premium*	Análise de marcação do recipiente	74%	20%
	Resistência à abrasão com pasta abrasiva	94%	0%
	Poder de cobertura de tinta úmida	97%	0%
	Poder de cobertura de tinta seca	90%	33%
	Rendimento teórico	94%	33%

Fonte: Adaptado de TESIS (2022).

Quando se refere às tintas, porém, existem inúmeras normas técnicas elaboradas pela ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), desde aqueles para a tinta ainda no estado fresco como para a película, como por exemplo, as normas a seguir:

- Estado Fresco:

NBR 15382: Tintas para construção civil - Determinação da massa específica de tintas para edificações não industriais (ABNT, 2017).

NBR 5849: Tintas - Determinação de viscosidade pelo copo Ford (ABNT, 2015).

NBR 9676: Determinação do poder de cobertura (opacidade) (ABNT, 2014).

NBR 14943: Tintas para construção civil – Método para avaliação de desempenho de tintas para edificações não industriais - Determinação do poder de cobertura de tinta úmida (ABNT, 2018).

- Película de Tinta:

NBR 7340: Tintas e vernizes – Determinação do teor de substâncias voláteis e não voláteis (ABNT, 1982).

NBR 8621: Tintas – Determinação do volume dos sólidos – Método de ensaio (ABNT, 2014).

NBR 15314: Tintas para construção civil – Método para avaliação de desempenho de tintas para edificações não industriais - Determinação do poder de cobertura em película de tinta seca obtida por extensão (ABNT, 2015).

NBR 14942: Tintas para construção civil – Método para avaliação de desempenho de tintas para edificações não industriais - Determinação do poder de cobertura de tinta seca (ABNT, 2016).

NBR 15078: Tintas para construção civil – Método para avaliação de desempenho de tintas para edificações não industriais - Determinação da Resistência à abrasão úmida sem pasta abrasiva (ABNT, 2004).

NBR 14940: Tintas para construção civil – Método para avaliação de desempenho de tintas para edificações não industriais - Determinação da Resistência à abrasão úmida (ABNT, 2018).

NBR 15304: – Tintas para construção civil – Método para avaliação de desempenho de tintas para edificações não industriais - Avaliação de manchamento por água (ABNT, 2005).

NBR 15299: Tintas para construção civil – Método para avaliação de desempenho de tintas para edificações não industriais - Determinação do brilho (ABNT, 2015).

NBR 15302: Tintas para construção civil — Método para avaliação de desempenho de tintas para edificações não industriais — Determinação do grau de calcinação (ABNT, 2005).

NBR 15381: Tintas para construção civil – Edificações não industriais - Determinação do grau de empolamento (ABNT, 2006).

NBR 14945: Tintas para construção civil - Método comparativo do grau de craqueamento para avaliação do desempenho de tintas para edificações não industriais (ABNT, 2017).

NBR 11003: Determinação de aderência (ABNT, 2009).

NBR 14944:2017 – Tintas para construção civil — Determinação da porosidade em película de tinta para avaliação de desempenho de tintas para edificações não industriais

2.2 Dióxido de Titânio (TiO_2)

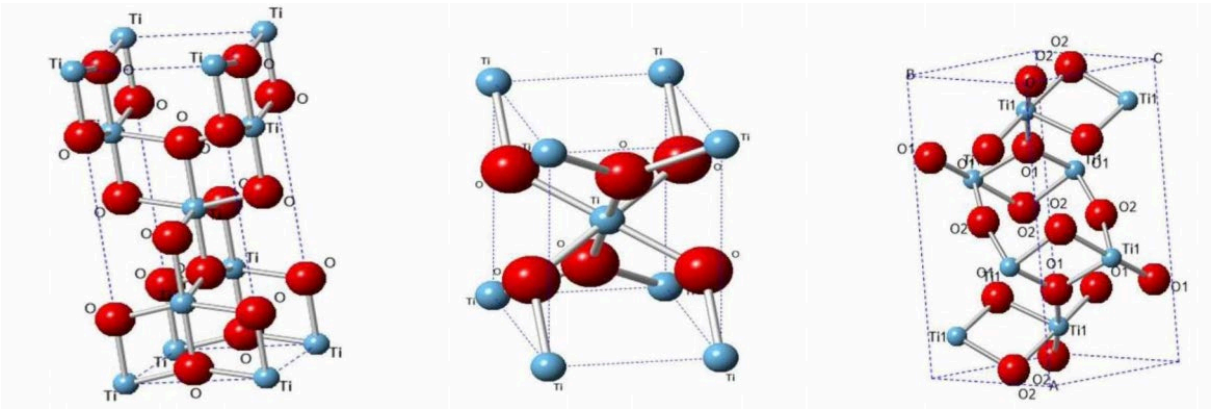
O TiO_2 é um óxido metálico e semicondutor e foi descoberto por volta de 1821, porém somente em 1916 começou a ser produzido em maior quantidade. Primeiro este componente era fabricado comercialmente na Noruega para fins industriais e, só em 1921, um fabricante americano introduziu no mercado, uma tinta à óleo na cor branca utilizando o TiO_2, adequada para fins artísticos e que apresentava uma força de coloração superior a qualquer dos outros brancos (FITZHUGH, 1997).

Oliveira et al. (2016) que em escala laboratorial os métodos de síntese química para preparação do TiO2 comumente utilizados, são: método sol-gel, método hidrotermal, método Pechini e reação de combustão.

O dióxido de titânio tem atraído muita atenção devido a possibilidade de aplicação em diferentes áreas, vistas suas propriedades físicas e químicas. Este, é um dos óxidos binários mais importante nas aplicações tecnológicas dos mais variados campos.

Este material apresenta-se na forma de três polimorfos distintos, dois de natureza tetragonal (anatase e rutilo) e um muito mais raro de estrutura ortorrômbica (broquita), conforme Figura 6. A anatase e o rutilo apresentam ambos o mesmo sistema cristalino, sendo este último o que apresenta dureza e densidade superior (SANTOS, 2017).

Figura 6 - Ilustração das estruturas dos polimorfos naturais do TiO2: (a) Anatase; (b) Rutilo; (3) Broquita;



Fonte: Santos, 2017.

Segundo Orendorz et al. (2007), dentre os polimorfos naturais, a macrocristalinidade da fase rutilo é mais estável termodinamicamente quando comparada com as demais fases, que são metaestáveis. No entanto, a estabilidade termodinâmica depende da dimensão das partículas, e em partículas de tamanho inferior a 14 nm a fase anatase é mais estável que a fase rutilo. A anatase é normalmente produzida em síntese pelo método solgel, mas a broquita é frequentemente observada como subproduto quando a hidrólise do precursor, seguida de precipitação, é realizada em meio ácido e a baixa temperatura (MUTUMA et al., 2015).

Diferentemente da maior parte dos pigmentos, o dióxido de titânio é opaco por reflexão da luz incidente, acompanhada por refração e difração da radiação.

Por conta de sua estrutura, o rutilo é muito utilizado como pigmento em tintas, além disso possui índices de refração entre 2,616 e 2,903, densidade de 4,26 g/cm^3, dureza de 6,0 a 6,5 Mohs, ponto de fusão entre 1825 e 1850 graus C e ponto de ebulição entre 2500 e 3000 graus C (Mindat, 2022).

Devido suas propriedades gerais e, especialmente às propriedades ópticas únicas como alta refletividade, excelente capacidade de iluminação e estabilidade química, este material se tornou o pigmento inorgânico mais importante com uma

produção de sete milhões de toneladas por ano em todo o mundo (Pochteca Coremal, 2021).

Apesar de suas características e propriedades, em uma entrevista conduzida com profissionais da área, constatou-se que o preço do TiO_2 é um dos maiores problemas enfrentados no setor de produção de tintas, visto que este flutua de acordo com a oferta e demanda do mercado, tendo chegado a custar até USD 3.500,00 a tonelada, no ano de 2020.

2.3 Nanofibras de Celulose

2.3.1 Nanotecnologia

A nanotecnologia vem revolucionando o mundo da ciência e tecnologia, trazendo grandes expectativas para o desenvolvimento de países e indústrias e, segundo Salla et al. (2015), pode-se dizer que, em ordem cronológica, os acontecimentos mais significativos para a nanotecnologia, ocorreram da seguinte forma:

- Em 1974, o professor *Norio Taniguchi*, da Universidade de Ciência de Tóquio cria a palavra “nanotecnologia”, designando-a como o conjunto de estudos e aplicações referentes aos objetos e processos na escala de nanômetro.

- *Gerd Binning* e *Heinrich Roherer* no ano de 1981, no laboratório da IBM em Zurique, na Suíça, cria um aparelho com capacidade de enxergar átomos, ou seja, o microscópio de varredura por tunelamento.

- No ano de 1986, *Eric Drexler*, o primeiro cientista a doutorar-se em nanotecnologia, populariza o conceito de nanotecnologia, através de seu livro “Engines of Creation”. A nanotecnologia proposta por ele é considerada a nanotecnologia molecular, que pressupõe a construção de átomo a átomo.

- Ainda no ano de 1986, *Gerd Bining* inventou uma ponta do microscópio capaz de enxergar qualquer coisa. Junto à ponta, foi acoplado um pequeno pedaço de diamante que contornava os átomos exercendo uma pressão pequena, o suficiente para não destruí-la. Este ficou conhecido como o microscópio de força atômica.

- Em 1989, *Donald M. Eigler* da IBM na Califórnia, nos Estados Unidos, escreve as letras da companhia, utilizando 35 átomos de xenônio, mostrando que estruturas poderiam ser construídas átomos por átomos ou moléculas por moléculas. Ele alinhou os átomos xenônio para escrever o logotipo da empresa sobre uma superfície de níquel. Isto ocasionou um imenso interesse entre os cientistas, na busca de se conseguir o melhor domínio da técnica de manipular o átomo.

- No ano de 1991, o professor *Sumio Iijama*, da NEC, em Tsukuba no Japão descobre os nanotubos de carbono.

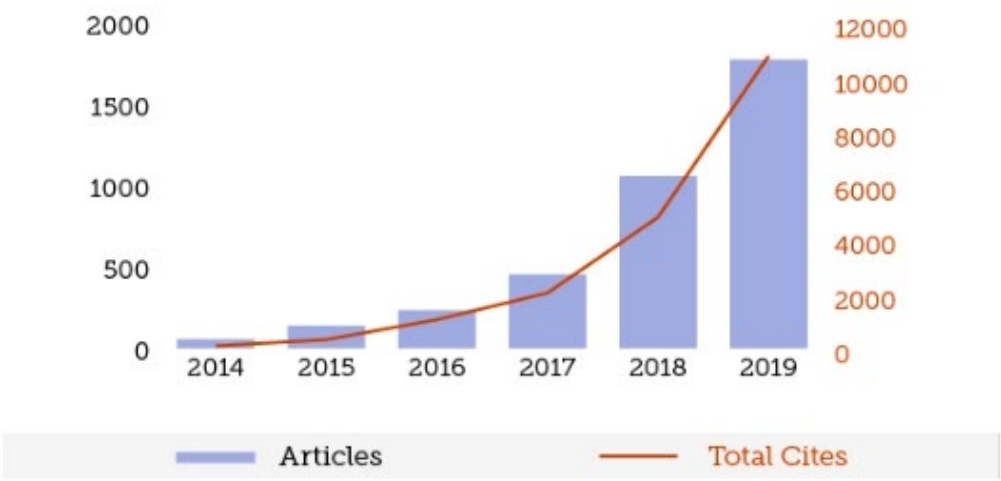
A nanotecnologia consiste em produzir estruturas atômicas estáveis, com pelo menos uma dimensão inferior a 100 nanômetros, possíveis de serem manipuladas a fim de darem origem a melhores materiais com melhores performances (PACHECO-TORGAL; JALALI, 2011). Na escala nanométrica, os átomos revelam características peculiares, podendo apresentar tolerância à temperatura, cores, reatividade química, condutividade elétrica, etc (SILVA G., 2004).

De acordo com Raniero e Fortunato (2005), a nanotecnologia é verdadeiramente uma ciência multidisciplinar, pois os cientistas de materiais, os engenheiros eletrônicos e mecânicos e os investigadores médicos estão trabalhando em conjunto com os biologistas, físicos e químicos. A união da investigação à nanoescala deve-se a necessidade de partilhar o conhecimento sobre ferramentas e técnicas, assim como sobre conhecimentos parciais em matéria de interações atômicas e moleculares, nesta nova fronteira científica. Uma das grandes vantagens

da nanotecnologia é o aumento da área superficial dos materiais na escala nano, o que torna estes materiais muito mais reativos (DURAN et al., 2011).

A Figura 7 mostra um crescimento significativo dos estudos sobre nanotecnologia no mundo, nos últimos anos:

Figura 7 - Citações e publicações em nanotecnologia no mundo



Fonte: Journal Citation Reports (2019).

Segundo Morais (2012), na área de materiais para a indústria da construção, a nanociência e a nanotecnologia apresentam um potencial enorme e que ainda não foi assaz explorado. Novas cerâmicas, polímeros e borrachas poderão ser desenvolvidos com propriedades superiores aos já existentes. A própria forma de produção dos materiais sofrerá grandes transformações com a criação do novo produto. O controle da matéria pelo ser humano gerará enormes avanços no bem-estar material das pessoas, na sua saúde e na redução do impacto da atividade industrial sobre o planeta, tanto pela produção de bens mais duráveis quanto pela maior eficiência na utilização de energia.

2.3.2 Nanofibras de celulose

De acordo com Fengel e Wegener (1989) a celulose é um polissacarídeo que está presente nos tecidos vegetais como componente principal. Segundo Rowell (2005),

pode-se definir como polímero natural cuja unidade repetitiva é a celobiose, formada por cadeias longas, uniformes, e unido por ligações glicosídicas β-D-Glicose, onde o prefixo D refere-se à sua atividade óptica e o prefixo β refere-se à posição do grupo hidroxila de carbono 1. Alén (2000) corrobora que a celulose é o principal componente da parede celular da madeira, sendo um polissacarídeo linear, constituído por um único tipo de unidade de açúcar.

Devido a inúmeras questões ambientais, o interesse por fontes renováveis e resíduos agroindustriais vem despertando cada vez mais o interesse dos pesquisadores, no sentido de utilizar os mesmos para produzir novos materiais com valor agregado, ou seja, esse produto tem que ser economicamente viável, e compensar principalmente na reposição de nutrientes utilizando da adubação química, utilizando processos sustentáveis capazes de gerar um menor impacto ambiental (ROSA et al., 2010).

Dessa forma, a produção de nanocelulose se torna um ponto importante, pois é obtida através de resíduos agrícolas e podem ser aplicadas em diversos setores. As nanoceluloses são estruturas de celulose que possuem pelo menos uma das dimensões menor que 100 nm. Podem ser obtidas de diversos tipos de fontes, como algas, bactérias e plantas (SILVA; D'ALMEIDA, 2009).

Ao longo dos anos têm sido usados diferentes termos que descrevem diferentes escalas da celulose como MFC *microfibrilated cellulose* ou microfibras e NFC *nanofibrillated cellulose* ou nanofibras. Na literatura estes termos acabam por ser um pouco confundidos visto que ambos possuem uma dimensão inferior a 100 nanômetros, condição para ser considerado material nanométrico. A fim de esclarecer esta terminologia, Sehaqui et al. (2011) propõe que MFC serve para descrever as fibras com diâmetro compreendido entre 20 e 100 nanômetros, enquanto NFC são as fibras de celulose com diâmetro compreendido entre 5 e 20 nanômetros e comprimento variável entre 2 e 10 micrometros. O termo nanofibras é também utilizado para referir fibras com as duas dimensões inferiores a 100 nanômetros. Tanto as NFC como MFC são flexíveis e apresentam zonas cristalinas e amorfas alternadas (EICHHORN et al., 2010).

A nanocelulose pode ser produzida a partir de métodos químicos, físicos e biológicos, utilizando vários tipos de equipamentos e combinações de tratamentos químicos, enzimáticos e/ou mecânicos, como por exemplo, o *electrospinning* (eletrofiação), hidrólise ácida e enzimática, sonicação, refinação e ultrassom.

As nanofibras de celulose podem variar de acordo com sua origem, processos de fabricação e/ou dimensões, conforme Tabela 2.

Tabela 2 - Celulose: termos, processos, origem e dimensões.

Tipos de celulose	**Sinônimos**	**Processos**	**Origem**	**Dimensões**
Celulose nanofibrilada (NFC)	Nanofibras	Pré-tratamento químico seguido de tratamento mecânico	*Softwoods* e *Hardwoods* Batata *Beterraba*	Diâmetro: 5 a 60 nm
Nanowhiskers de celulose	Nanocristais Microcristais	Hidrólise ácida	Algodão Linho	Diâmetro: 2 a 20 nm
	Whiskers	Processo biológico de tunicados	Celulose tunicada	Diâmetro: 2 a 20 nm

Fonte: Adaptado de Nunes (2014).

A nanocelulose vem se destacando por possuir propriedades e desempenho superiores em relação às das fibras convencionais de celulose, além disso, está ligada diretamente a sustentabilidade, já que pode ser obtida através resíduos agrícolas, madeiras e fibras vegetais (KLEMM, 2011; MILANEZ et al., 2013).

Deve-se ressaltar que dentre as propriedades da NFC estão sua grande área superficial e alto poder de ligação, que influem em sua interação com outros materiais, como uma suspensão líquida ou uma membrana, sua alta resistência mecânica e sua flexibilidade. O grau de cristalinidade da celulose refere-se à quantidade relativa de celulose na região cristalina (ordenada), e nesta região, a fibra apresenta maior resistência à tração, por exemplo (FENGEL; WEGENER, 1984).

Brinch (2013) afirma que a produção de celulose em escala nanométrica apresentou um crescente avanço por apresentar alto módulo de elasticidade, boa resistência (mais forte que o aço e a fibra de vidro), grande área superficial específica, alta razão de aspecto e tem grande facilidade de atuar como reforço em baixas

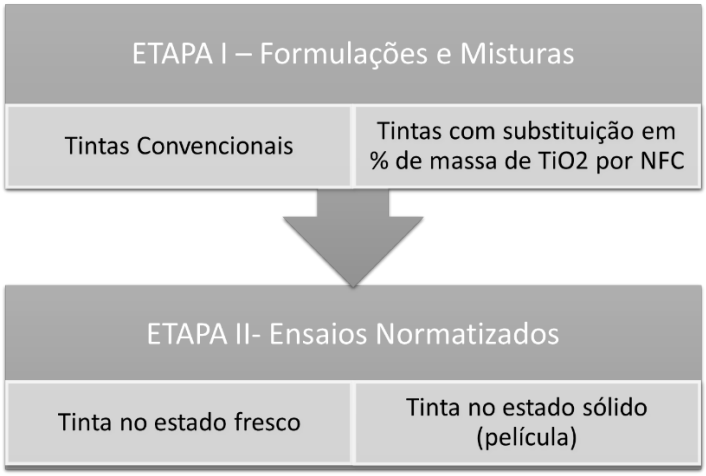
concentrações, além de ser biocompatível, possuir caráter não tóxico e ser biodegradável.

De acordo com informação de profissional de uma indústria produtora de nanofibras de celulose, o quilo deste material pode variar entre USD 3,00 e USD 5,00.

3 PROGRAMA EXPERIMENTAL

O programa experimental utilizado para a execução deste trabalho foi dividido em duas etapas, sendo cada uma delas dividida em outras duas partes, como apresentado na Figura 8.

Figura 8 - Programa experimental



Fonte: Autor.

A etapa I consistiu na formulação e mistura de três qualidades de tintas látex a base de água, econômica, standard e premium, utilizando somente o Dióxido de Titânio como pigmento, chamadas também formulações base.

Em seguida, deu-se início ao desenvolvimento das formulações com substituição do percentual em massa do Dióxido de Titânio, com intervalos de 10% para todas as qualidades de tintas produzidas, até o atingimento da completa substituição, porém para alcançar tal propósito, identificou-se a necessidade de efetuar o a redução do teor de umidade das nanofibras, visto que estas possuíam apenas 4% de sólidos e, para a realização de tal objetivo, desenvolveu-se um método, descrito no item 3.3.2.

Portanto, para concluir esta etapa, foram realizadas as formulações e misturas das tintas com o uso de nanofibras em substituição ao Dióxido de Titânio, sendo a substituição em percentual de massa do pigmento, com intervalos de 10%, até o atingimento da completa ausência do pigmento.

A síntese da quantidade de formulações elaboradas é exibida na Tabela 3.

Tabela 3 - Formulações

	Quantidade de formulações	
Qualidade	**Convencional**	**Com NFC em sua composição (com teores que variam de 10 a 100%, com intervalos de 10)**
Econômica	1	10
Standard	1	10
Premium	1	10

Fonte: Autor.

Já a etapa II foi constituída pelos ensaios das tintas, tanto em estado fresco como de sua película, exibidos respectivamente nas Tabelas 4 e 5, a fim de avaliar o desempenho destas quando na ausência do pigmento e presença do novo material nanométrico.

Tabela 4 - Ensaios no estado fresco

Ensaios no estado fresco				
		Econômica	***Standard***	***Premium***
NBR 15382	Determinação da massa específica	x	x	x
NBR 5849	Determinação da viscosidade (Copo Ford)	x	x	x
NBR 9676	Determinação do poder de cobertura (Opacidade)	x	x	x
NBR 14943	Determinação do poder de cobertura da tinta úmida	x	x	x

Fonte: Autor.

Tabela 5 - Ensaios no estado seco (película)

Ensaios no estado seco (película)				
		Econômica	***Standard***	***Premium***
NBR 8621	Determinação do volume de sólidos	x	x	x
NBR 7340	Determinação do teor de substâncias voláteis	x	x	x
NBR 15299	Determinação do brilho	x	x	x
NBR 15314	Determinação do poder de cobertura da película obtida por extensão	x	x	x
NBR 14942	Determinação do poder de cobertura	x	x	x
NBR 15078	Abrasão úmida	x	x	x
NBR 14940	Abrasão úmida sem pasta abrasiva	x		
NBR 15302	Determinação do teor de calcinação	x	x	x
NBR 15381	Determinação do grau de empolamento	x	x	x
NBR 14945	Determinação do craqueamento	x	x	x
NBR 14944	Determinação do grau de porosidade	x	x	x
NBR 15304	Avaliação do manchamento	x	x	x
NBR 11003	Determinação do grau de aderência	x	x	x

Fonte: Autor.

3.3 Formulações

3.3.1 Tintas Convencionais

Optou-se pela formulação de tintas látex com apenas um tipo de resina, sendo ela acrílica-estirenada, visto que está entre as uma das mais vendidas atualmente no mercado brasileiro.

Para que o estudo gerasse parâmetros para uma análise consistente, foram elaboradas três fórmulas que serviram como base, sendo elas de diferentes qualidades: econômica, *standard* e *premium*, que foram validadas por profissionais do setor e são apresentadas na Tabela 6.

Tabela 6- Percentual em massa dos componentes das formulações das tintas econômica, *standard* e *premium*

Componentes em percentual de massa para formulações convencionais	**Econômica ACE-E-F-0**	***Standard* ACE-S-F-0**	***Premium* ACE-P-F-0**
Água	35,56	36,43	33,04
Antioxidante (Nitrito de Sódio)	0,05	0,05	0,05
Dispersante poliacrilato de sódio (Busperse)	0,20	0,30	0,40
Antiespumante	0,70	0,70	0,70
Slurry Calcita micronizada	33,64	21,72	12,61
Algamolito #400	8,00	8,00	8,00
Carbonato de cálcio precipitado extra leve	10,00	10,00	10,00
Dióxido de Titânio (TiO_2)	1,50	7,50	13,00
Alcalinizante	0,15	0,15	0,15
Espessante de baixa viscosidade (612)	0,40	0,40	0,40
Bactericida (Ipel)	0,20	0,20	0,20
Fungicida (Busan)	0,20	0,40	0,50
Umectante 1 (Alcoolina)	0,10	0,10	0,10
Aguarrás	0,20	0,20	0,20
Resina	8,00	12,50	19,00
Coalescente (Texanol)	0,40	0,65	0,95
Umectante 2 (Liovac)	0,10	0,10	0,10
Espessante de média viscosidade (O345)	0,60	0,60	0,60

Fonte: Autor.

Todas as formulações foram executadas com um agitador mecânico de hélice RW 20 digital da marca Ika que possui duas faixas de velocidade que variam de 60 a 2.000 rpm e um disco dispersor *Cowles*, apresentados respectivamente nas Figuras 9 e 10.

Figura 9 - Agitador mecânico de hélice RW20 Digital (Ika)

Fonte: Autor

Figura 10 - Disco dispersor Cowles

Fonte: Autor

As misturas foram executadas seguindo o seguinte procedimento, que é ilustrado na Figura 11:

1) Agitando a primeira parte da água com antioxidante por 5 minutos (a primeira parte de água corresponde sempre a 12,25%), com velocidade de 400 rpm, até sua completa homogeneização.

2) Adicionando o dispersante Poliacrilato de Sódio, a primeira parte do antiespumante (45% da sua massa total) e o *slurry* Calcita micronizada, nesta ordem e homogeneizando por 10 minutos, com a velocidade de 400 rpm.

3) Adicionando o Agalmatolito, o Carbonato de Cálcio Precipitado Extra Leve e o Dióxido de Titânio de inserção. Dispersando por 40 minutos, até sua completa homogeneização, com velocidade de 1000 rpm.

4) Adicionando a segunda parte da água (total menos os 12,25%), o alcalinizante, o espessante de baixa viscosidade, o bactericida, o fungicida, o umectante 1, a aguarrás e a segunda parte de antiespumante (45% da sua massa total), nesta ordem e agitando por 30 minutos, até sua completa homogeneização, com velocidade de 1500 rpm.

5) Adicionando a resina, o coalescente, o umectante 2, a terceira parte de antiespumante e o espessante de média viscosidade e agitando até sua completa homogeneização, por aproximadamente 20 minutos, com a velocidade de 1800 a 2000 rpm.

Figura 11 - Processo de produção da mistura

Fonte: Autor

As misturas obtidas foram colocadas em recipientes de vidro estéreis e conservadas em local fresco e longe do sol.

3.3.2 Tintas com uso de NFC em substituição ao TiO_2

A necessidade de secagem das nanofibras de celulose se deu porque o teor de umidade fornecido pelo fabricante era de 96% (4% de sólidos totais) era incompatível com a premissa de não alterar a quantidade total de água de cada uma das misturas.

Para tal, foi realizado o seguinte procedimento[1]:

1) Pesagem de certa quantidade de nanofibras de celulose;
2) Colocou-se um recipiente contendo as nanofibras de celulose sobre um agitador magnético à temperatura de 50º C e agitação máxima;
3) As nanofibras foram agitadas manualmente, com uma espátula de silicone em intervalos de 5 minutos, nos primeiros 30 minutos, mantendo sempre atenção de que película criada em volta do recipiente fosse sempre retirada com a espátula.
4) Após os 30 minutos, as nanofibras foram ser agitadas manualmente com uma espátula de silicone, sem intervalos ou paradas, até atingir o tempo de, aproximadamente, 45 minutos;
5) Após estas etapas, o recipiente foi retirado do agitador e mantido em repouso, sobre uma superfície horizontal por cerca de 40 minutos, até que a evaporação da água presente nas nanofibras e o resfriamento à temperatura ambiente ocorreram;

Seguindo este procedimento, o teor mínimo de umidade atingido foi o de 30%, tornando o aspecto das nanofibras completamente diferentes quando do início do procedimento do desague. Na Figura 12, pode-se verificar a diferença entre as

[1] O fabricante não possuía um protocolo já definido para secagem das fibras.

nanofibras com 96% de umidade, seguidas das nanofibras que passaram pelo procedimento de secagem no agitador magnético e que possuem 30% de umidade e pelas nanofibras que passaram pelo procedimento de secagem em estufa (procedimento tentado durante os experimentos), com teor aproximado de 8% de umidade.

Figura 12 - Comparação entre a mesma quantidade de nanofibras de celulose com diferentes teores de umidade (respectivamente 96%, 30% e 8%)

Fonte: Autor.

Como demonstrado, não foi possível reduzir suficientemente a quantidade de água presente nas NFC para não realizar a alteração do teor de água-sólidos, portanto, para realizar as formulações, o peso do TiO_2 foi reduzido até a completa substituição pelas NFC, com intervalos de 10% levando em consideração o peso destas com 70% de sólidos.

A correção das fórmulas foi feita da seguinte forma:

Equação 1

$$NFC\ (70\%\ de\ sólidos) = x\ \% * p$$

Equação 2

$$NFC\ (100\%\ sólidos) = NFC\ (70\%\ de\ sólidos) * 0{,}7$$

Equação 3

$$anfc = NFC\ (70\%\ de\ sólidos) * 0{,}30$$

Equação 4

$$af = ai + anfc$$

Onde:

NFC (70% de sólidos) é o percentual em massa das nanofibras de celulose a ser adicionado à formulação, com 70% de sólidos;

NFC (100% de sólidos) é o percentual em massa real de nanofibras de celulose adicionado à formulação;

X é o percentual de substituição;

p é o percentual em massa de Dióxido de Titânio;

anfc é a água presente nas nanofibras;

ai é a água inicial das formulações;

af é o valor final/real de água presente na formulação;

Após a secagem das nanofibras e da definição das formulações de base, para cada qualidade, foram elaboradas outras dez formulações, com substituições parciais de TiO_2 pela NFC, a cada 10%, até atingir a total substituição.

As Tabelas 7, 8 e 9 apresentam todas as formulações utilizadas na etapa experimental.

Tabela 7 - Formulações de tintas econômicas com substituição de pigmento

Formulações Econômicas										
COMPONENTES	**Teor de substituição**									
	10%	**20%**	**30%**	**40%**	**50%**	**60%**	**70%**	**80%**	**90%**	**100%**
Água (af)	35,61	35,65	35,70	35,74	35,79	35,83	35,88	35,92	35,97	36,01
Antioxidante (Nitrito de Sódio)	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Dispersante poliacrilato de sódio (Busperse)	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
Antiespumante	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70
Slurry Calcita micronizada	33,64	33,64	33,64	33,64	33,64	33,64	33,64	33,64	33,64	33,64
Algamolito #400	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00
Carbonato de cálcio precipitado extra leve	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
Dióxido de Titânio (TiO_2)	1,35	1,20	1,05	0,90	0,75	0,60	0,45	0,30	0,15	0,00
NFC (100% sólidos)	0,11	0,21	0,32	0,42	0,53	0,63	0,74	0,84	0,95	1,05
Alcalinizante	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
Espessante de baixa viscosidade (612)	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
Bactericida (Ipel)	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
Fungicida (Busan)	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
Umectante 1 (Alcoolina)	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
Aguarrás	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
Resina	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00
Coalescente (Texanol)	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
Umectante 2 (Liovac)	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
Espessante de média viscosidade (O345)	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60

Fonte: Autor.

Tabela 8 - Formulações de tintas standard com substituição de pigmento

Formulações *Standard*										
COMPONENTES	**Teor de substituição**									
	10%	**20%**	**30%**	**40%**	**50%**	**60%**	**70%**	**80%**	**90%**	**100%**
Água (af)	36,66	37,48	38,01	38,53	39,06	39,58	40,11	40,63	41,16	41,68
Antioxidante (Nitrito de Sódio)	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Dispersante poliacrilato de sódio (Busperse)	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
Antiespumante	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70
Slurry Calcita micronizada	21,72	21,72	21,72	21,72	21,72	21,72	21,72	21,72	21,72	21,72
Algamolito #400	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00
Carbonato de cálcio precipitado extra leve	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
Dióxido de Titânio (TiO_2)	6,75	6,00	5,25	4,50	3,75	3,00	2,25	1,50	0,75	0,00
NFC (100% sólidos)	0,23	0,45	0,68	0,90	1,13	1,35	1,58	1,80	2,03	2,25
Alcalinizante	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
Espessante de baixa viscosidade (612)	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
Bactericida (Ipel)	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
Fungicida (Busan)	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
Umectante 1 (Alcoolina)	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
Aguarrás	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
Resina	12,50	12,50	12,50	12,50	12,50	12,50	12,50	12,50	12,50	12,50
Coalescente (Texanol)	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
Umectante 2 (Liovac)	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
Espessante de média viscosidade (O345)	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60

Fonte: Autor.

Tabela 9 - Formulações de tintas premium com substituição de pigmento

COMPONENTES	Formulações *Premium*									
	Teor de substituição									
	10%	**20%**	**30%**	**40%**	**50%**	**60%**	**70%**	**80%**	**90%**	**100%**
Água (af)	36,82	37,21	37,60	37,99	38,38	38,77	39,16	39,55	39,94	40,33
Antioxidante (Nitrito de Sódio)	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Dispersante poliacrilato de sódio (Busperse)	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
Antiespumante	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70
Slurry Calcita micronizada	21,72	21,72	21,72	21,72	21,72	21,72	21,72	21,72	21,72	21,72
Algamolito #400	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00
Carbonato de cálcio precipitado extra leve	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
Dióxido de Titânio (TiO_2)	11,70	10,40	9,10	7,80	6,50	5,20	3,90	2,60	1,30	0,00
NFC (100% de sólidos)	0,91	1,82	2,73	3,64	4,55	5,46	6,37	7,28	8,19	9,10
Alcalinizante	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
Espessante de baixa viscosidade (612)	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Bactericida (Ipel)	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Fungicida (Busan)	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Umectante 1 (Alcoolina)	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Aguarrás	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Resina	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5
Coalescente (Texanol)	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Umectante 2 (Liovac)	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Espessante de média viscosidade (O345)	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6

Fonte: Autor.

As misturas obtidas foram colocadas em recipientes de vidro estéreis e conservadas em local fresco e longe do sol.

Em modo de facilitar a identificação de cada recipiente e, posteriormente dos corpos de prova, criou-se uma nomenclatura que parte do princípio de que a primeira parte da sigla se refira à resina utilizada, no caso, acrílica-estirenada (ACE), a segunda parte, à qualidade da tinta, podendo ser econômica (E), *standard* (S) ou *premium* (P), a terceira parte, ao tipo de acabamento, no caso, fosco (F) e a quarta e última parte da nomenclatura é composta por números que se referem a quantidade à quantidade do novo nanomaterial em sua composição.

No caso das formulações base, ou seja, sem adição de NFC, a última parte é seguida do número 0, enquanto uma formulação que apresenta como quarta parte da sua nomenclatura o número 30, representa a retirada de 30% da massa do Dióxido de Titânio e adição do mesmo valor, em massa, de nanofibras de celulose.

3.4 Métodos de Ensaio

3.4.1 Ensaios no estado fresco

Para a avaliação do uso de nanofibras de celulose em tintas imobiliárias, em substituição ao pigmento (TiO_2) foram realizados quatro ensaios normatizados pela ABNT, apresentados nos subitens seguintes.

3.2.1.1 Determinação da massa específica

O ensaio de determinação da massa específica foi realizado de acordo com a norma NBR 15382 (ABNT, 2017), que sugere que a realização do teste seja feita em triplicata e, o resultado final, obtido com a média destes.

Todas as formulações foram testadas e, suas amostras foram colocadas no picnômetro em sua totalidade, em seguida, a tampa do picnômetro foi colocada cuidadosamente, deixando transbordar parte da amostra pelo seu orifício central. Esta parte da amostra em excesso que transbordou, foi limpa com o auxílio do material absorvente e, em seguida, o picnômetro contendo a amostra, foi pesado em balança analítica com precisão de 0,0001 g, gerando os demais parâmetros necessários para as equações, sendo elas:

Equação 5

$$V = \frac{(B - A)}{q}$$

Onde:

V é o volume real do picnômetro, expresso em centímetros cúbricos (cm^3);

B é a massa do picnômetro com água, expressa em gramas (g);

A é a massa do picnômetro vazio, expressa em gramas (g);

q é a massa específica da água, expressa em gramas por centímetro cúbico (g/cm^3), igual a 1,00.

Equação 6

$$Me = \frac{(P - A)}{V}$$

Onde:

Me é a massa específica, expressa em gramas por centímetro cúbico (g/cm^3);

P é a massa do picnômetro com amostra, expressa em gramas (g);

A é a massa do picnômetro vazio, expressa em gramas (g);

V é o volume real do picnômetro, expresso em centímetros cúbicos (cm^3).

3.2.1.2 Determinação da viscosidade (copo Ford)

O ensaio de determinação da viscosidade foi realizado de acordo com a norma NBR 5849 (ABNT, 2015). Para a realização do ensaio foram necessários um viscosímetro do tipo Copo Ford (marca Tech Vision) e orifícios compatíveis de diversos diâmetros, um nível de bolha, placa de vidro plana, um cronômetro e um termômetro, como ilustrado na Figura 13.

Figura 13 - Materiais necessários para a realização do ensaio de viscosidade

Fonte: Autor.

Apesar de apenas os orifícios de nº 2, 3 e 4 serem normatizados, devido algumas tintas serem mais densas por conta da adição das nanofibras de celulose, os orifícios de nº 5, 6 e 8 também foram utilizados para a realização do ensaio. Vista a necessidade de utilização dos orifícios não normatizados e da inexistência das respectivas equações na norma, optou-se pela utilização das equações fornecidas no manual elaborado pela empresa que produz o viscosímetro Copo Ford em questão, sendo elas:

Equação 7

$$V = 1{,}44\ x\ (t - 1{,}80)$$

Equação 8

$$V = 2{,}31\ x\ (t - 6{,}58)$$

Equação 9

$$V = 3{,}85\ x\ (t - 4{,}49)$$

Equação 10

$$V = 12{,}1\ x\ (\ t - 2{,}00)$$

Equação 11

$$V = 14{,}92\ x\ t - 15{,}56$$

Equação 12

$$V = 31{,}40\ x\ t - 40{,}14$$

Onde:
T é o tempo, expresso em segundos (s);
V é a viscosidade, expressa em *Centistoke* (cSt).

3.2.1.3 Determinação do poder de cobertura (opacidade)

O ensaio de determinação do poder de cobertura foi realizado de acordo com a norma NBR 9676 (ABNT, 2014). Para a realização do ensaio foram necessários uma cabine pintada de preto fosco com um fundo em alumínio com capacidade

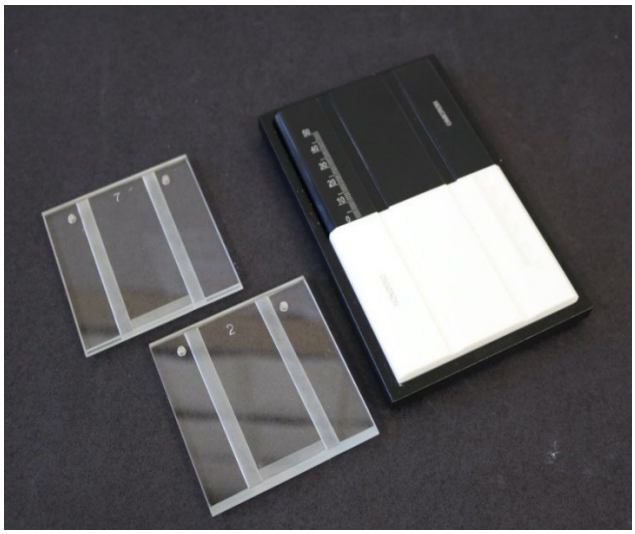
refletora e com uma lâmpada de 100W incandescente, com bulbo leitoso tipo pera, além de um Criptômetro Pfund (Isolabor Omicron), expostos na Figura 14.

Na Figura 15, pode-se ver o criptômetro de forma mais detalhada e clara, além de duas placas com coeficientes angulares diferentes, sendo elas a de nº 2, com coeficiente angular de 0,002 – utilizada para tintas com opacidade alta, e a de nº 7 com coeficiente angular de 0,007 – utilizada para tintas com opacidade baixa.

Figura 14 - Materiais necessários para o ensaio de determinação de opacidade

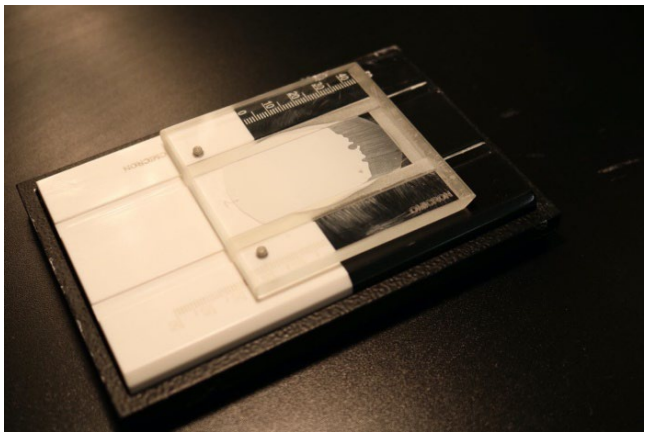
Fonte: Autor

Figura 15 - Criptômetro e placas com diferentes coeficientes angulares



Fonte: Autor

Figura 16 - Medição do deslocamento da placa no criptômetro



Fonte: Autor

Como demonstrado na Figura 16, para a realização do ensaio, a tinta foi depositada ao meio do criptômetro e, a placa de cristal foi movimentada cautela e vagarosamente, partindo do início da escala até que a linha do zero não fosse mais visível, ou seja, a tinta deve tornar imperceptível a divisão entre as cores branca e preta da placa-base.

O resultado foi considerado o valor obtido na escala em milímetros, sob a escala chanfrada, da placa de cristal e, para obtenção do resultado final, os valores foram correlacionados com a Tabela 10 obtendo assim o valor da capacidade de cobertura (opacidade).

Tabela 10 - Tabela de conversão para placa de coeficiente angular igual a 0,0002 e 0,0007

Avanço em mm	**K= 0,0002 m^2 por galão**	**K= 0,0007 m^2 por galão**	**Avanço em mm**	**K= 0,0002 m^2 por galão**	**K= 0,0007 m^2 por galão**
1,00	1800,00	514,00	26,00	69,00	19,50
2,00	900,00	257,00	27,00	67,00	19,00
3,00	600,00	171,00	28,00	65,00	18,50
4,00	450,00	128,00	29,00	63,00	17,70
5,00	360,00	103,00	30,00	60,00	17,10
6,00	300,00	86,00	31,00	58,00	16,60
7,00	257,00	73,00	32,00	56,00	16,00
8,00	225,00	64,00	33,00	54,00	15,70
9,00	200,00	57,00	34,00	53,00	15,30
10,00	180,00	51,40	35,00	52,00	14,70
11,00	164,00	47,00	36,00	51,00	14,30
12,00	150,00	43,00	37,00	50,00	14,00
13,00	138,00	40,0	38,00	48,00	13,70
14,00	128,00	37,00	39,00	47,00	13,20
15,00	120,00	34,00	40,00	45,00	12,80
16,00	112,00	32,00	41,00	44,00	12,60
17,00	106,00	30,00	42,00	43,00	12,30
18,00	100,00	28,00	43,00	42,00	12,00
19,00	95,00	27,00	44,00	41,00	11,80
20,00	90,00	25,70	45,00	40,00	11,40
21,00	86,00	24,50	46,00	39,00	11,0
22,00	82,00	23,00	47,00	38,00	10,80
23,00	78,00	22,50	48,00	37,00	10,60
24,00	75,00	21,50	49,00	36,00	10,40
25,00	72,00	20,50	50,00	35,00	10,20

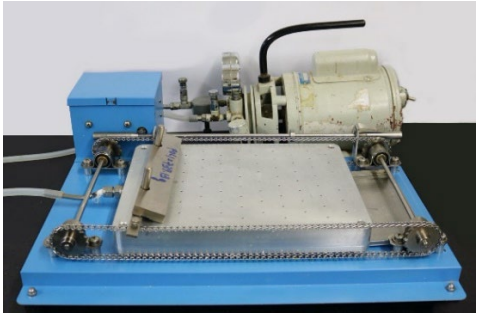
Fonte: Adaptado de Isolabor Omicron.

3.2.1.4 Determinação do poder de cobertura da tinta úmida

O ensaio de determinação do poder de cobertura de tinta úmida foi realizado de acordo com a norma ABNT NBR 14943:2018 – Tintas para construção civil – Método para avaliação de desempenho de tintas para edificações não industriais - Determinação do poder de cobertura de tinta úmida.

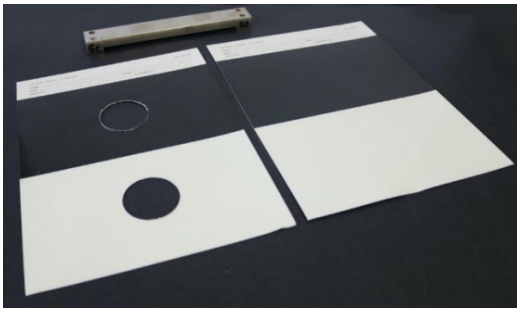
Para a realização do ensaio foram necessários um aplicador eletromotorizado com sistema de vácuo e suporte para extensor (Byk Gardner); um extensor de barra com abertura de 75 μm, cartelas de ensaio com dimensões de 194 x 260 mm e as respectivas cartelas a serem utilizadas como gabarito, com furos de diâmetro adequado ao cabeçote de leitura do espectofotômetro, tanto na parte branca quanto na parte preta da cartela; um espectofotômetro computadorizado expostos respectivamente nas Figuras 17, 18 e 19.

Figura 17 - Aplicador eletromotorizado com sistema de vácuo e suporte para extensor da Byk Gardner



Fonte: Autor.

Figura 18 - Materiais necessários para a realização do ensaio de determinação do poder de cobertura da tinta úmida



Fonte: Autor.

Figura 19 - Espectofotômetro computadorizado

Fonte: Autor.

Imediatamente após a aplicação da película de tinta, a cartela foi posicionada sobre uma bancada plana e, em seguida, posicionou-se a cartela-gabarito sobre ela. Realizada esta etapa, o orifício de luz do espectofotômetro foi ser posicionado em ambas as circunferências da cartela-gabarito, como identificado nas Figuras 20 e 21, e os respectivos valores de refletância foram ser medidos.

Figura 20 - Medição do valor de refletância na parte preta da cartela

Fonte: Autor.

Figura 21 - Medição do valor de refletância na parte branca da cartela

Fonte: Autor.

3.2.2 Ensaios no estado seco (película)

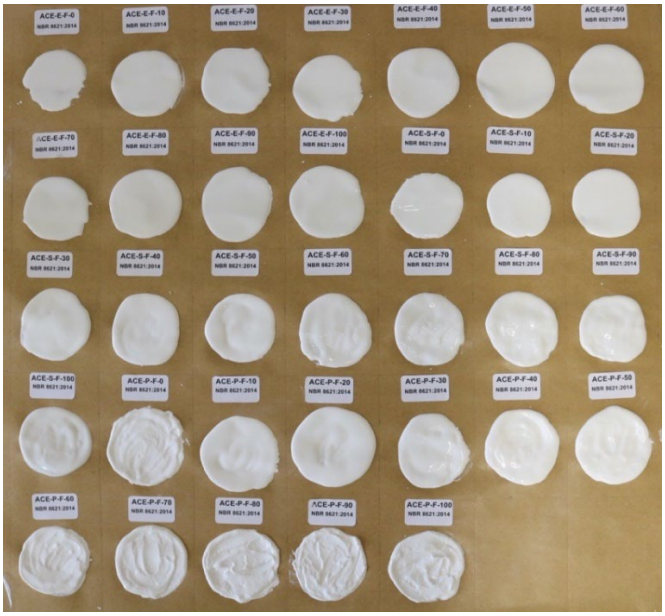
Para a avaliação do uso de nanofibras de celulose em tintas imobiliárias, em substituição ao pigmento (TiO_2) foram realizados treze ensaios normatizados pela ABNT, apresentados nos subitens seguintes.

3.2.2.1 Volume de sólidos

O ensaio de determinação do volume de sólidos foi realizado de acordo com a norma NBR 8621 (ABNT, 2014).

Para a realização deste ensaio, foi necessária a aplicação da tinta sob o papel siliconizado, conforme ilustra a Figura 22. Após a completa secagem destas, os filmes foram destacados cuidadosamente do papel e, em seguida, cortados em pedaços de aproximadamente 1 x 1 cm e peso de aproximadamente 3 g, conforme mostrado na Figura 23.

Figura 22 - Preparação das películas



Fonte: Autor.

Figura 23 - Película recortada e pronta para ser ensaiada

Fonte: Autor.

As amostras foram introduzidas no picnômetro contendo água destilada, com o auxílio de um tubo capilar, alguns pedaços de película seca, obtidos conforme descrito anteriormente e, feito isto, uma nova pesagem foi realizada. Para as pesagens foi utilizada balança analítica com precisão de 0,0001g.

Para a obtenção do volume dos sólidos, foram usadas duas equações para cálculo, sendo elas:

Equação 13

$$A = \frac{mp + ma + me}{mp\ x\ d}$$

Onde:

A é o volume específico da película seca, expresso em centímetros cúbicos por grama (cm^3/g);
mp é a massa da película seca, expressa em gramas (g);
ma é a massa do picnômetro com água, expressa em gramas (g);
d é a massa expecífica da água na temperatura do ensaio, expressa em gramas por centímetros cúbicos (g/cm^3).

Equação 14

$$\%\ Volume\ de\ sólidos = A\ x\ B\ x\ C\ \%$$

Onde:

A é o volume específico da película seca, expresso em centímetros cúbicos por grama (cm^3/g);
B é o teor de substâncias não voláteis, expresso em porcentagem (%);
C é a massa específica da tinta líquida, expressa em gramas por centímetros cúbico (g/cm^3).

3.2.2.2 Teor de substâncias voláteis

O ensaio de determinação do teor de substâncias voláteis e não voláteis foi realizado de acordo com a norma NBR 7340 (ABNT, 1982).

Para a realização do ensaio foram necessários recipientes de metal de aproximadamente 65 mm de diâmetro, uma espátula de inox, balança analítica e uma estufa com circulação de ar.

As amostras foram depositadas de maneira uniforme nos recipientes e estes foram pesados, após isto, foram colocados em estufa uma temperatura por tempo e temperatura definidos pela norma e, após o resfriamento, foram ser novamente

pesadas. Para a realização das pesagens, utilizou-se balança analítica com precisão de 0,0001 g.

Para a obtenção dos teores de substâncias voláteis e não voláteis, foram utilizadas as seguintes equações:

Equação 15

$$P1 = Pi - Pr$$

Equação 16

$$P2 = Pf - Pr$$

Onde:

P1 é a massa da amostra antes da secagem em estufa, expressa em gramas (g);
Pr é o peso do recipiente a ensaiar, expresso em gramas (g);
Pi é o peso do recipiente mais amostra a ser ensaiada, expresso em gramas (g);
Pf é o peso do recipiente mais amostra, depois de retirado da estufa e resfriado em temperatura ambiente, expresso em gramas (g);
P2 é a massa da amostra após a secagem em estufa, nas condições especificadas, expressa em gramas (g).

Equação 17

$$V = 100\ x\ \frac{(P1 - P2)}{P1}$$

Equação 18

$$NV = 100\ x\ \frac{P2}{P1}$$

Onde:

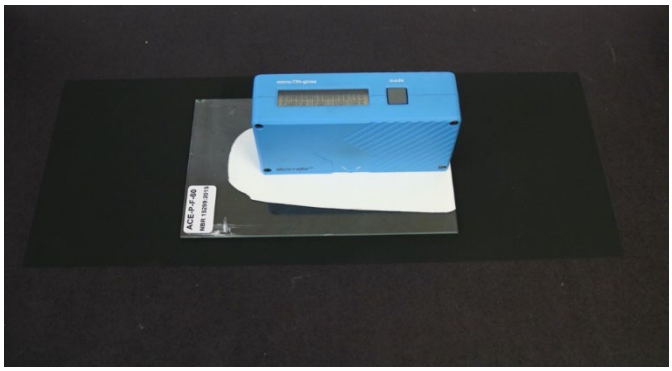
V é o teor de substâncias voláteis, expresso em porcentagem por massa (%);
NV é o teor de substâncias não voláteis, expresso em porcentagem por massa (%);

3.2.2.3 Brilho

O ensaio de determinação do brilho foi realizado de acordo com a norma NBR 15299 (ABNT, 2015.)

Para a realização do ensaio, as tintas foram aplicadas com um extensor de barra com abertura de 150 μm sobre uma placa de vidro incolor com dimensões de 200 x 120 x 3 mm e, depois de secarem nas condições estabelecidas pela norma, o brilho foi medido com o Medidor de Brilho Tri-gloss da Byk Gardner, como ilustrado na Figura 24.

Figura 24 - Processo de medição de brilho



Fonte: Autor.

De acordo com a determinação da norma, caso os valores obtidos com o ângulo de 60º não estejam dentro dos limites propostos, os ângulos de visualização devem ser alterados. Portanto, caso os valores obtidos com o ângulo inicial proposto sejam superiores a 70 unidades de brilho (UB), o aparelho deve ser ajustado para o ângulo de 20º e caso sejam inferiores a 10 unidades de brilho (UB), o aparelho deve ser ajustado para o ângulo de 85º.

Todas as medições de brilho realizadas com o ângulo de observação de 60º foram inferiores a 10 unidades de brilho (UB), portanto, as demais medições foram realizadas com o ângulo de observação de 85º.

Foram realizadas 3 leituras em pontos diferentes de cada um dos corpos de prova.

3.2.2.4 Poder de cobertura – película obtida por extensão

O ensaio de determinação do poder de cobertura de película de tinta seca obtida por extensão foi realizado de acordo com a norma NBR 15314 (ABNT, 2005).

Para a realização do ensaio foram necessários um aplicador eletromotorizado com sistema de vácuo e suporte para extensor (Byk Gardner) e um espectofotômetro computadorizado (Color Guide 45/0 – Byk Gardner). Foram necessários ainda, um extensor de barra com abertura de 75 μm e cartelas de ensaio com dimensões de 194 x 260 mm.

As amostras foram aplicadas sobre as cartelas e, após a secagem completa das películas de tinta, o orifício de luz do espectofotômetro foi posicionado em ambas as partes da cartela, tanto a parte preta quanto na parte branca e os respectivos valores de refletância foram medidos, conforme ilustrado na Figura 25.

Figura 25 - Medição do valor de refletância na parte preta da cartela

Fonte: Autor.

As leituras foram realizadas em três pontos diferentes das cartelas.

3.2.2.5 Poder de cobertura

O ensaio de determinação do poder de cobertura de película de tinta seca foi realizado de acordo com a norma NBR 14942 (ABNT, 2016).

Para a realização do ensaio foram necessários um espectofotômetro computadorizado (Color Guide 45/0 – Byk Gardner); cartela para ensaio de cobertura com dimensões de 143x256 mm (Figura 26), bandeja de pintura e rolo novo de náilon (lã sintética) com aproximadamente 7 cm de comprimento.

A cartela e o rolo foram preparados de acordo com o estipulado pela norma e após a aplicação da tinta, a cartela foi submetida ao processo de secagem e a leitura da razão de contraste foi realizada em três pontos, conforme Figura 27. Para a realização das pesagens utilizou-se balança analítica com precisão de 0,0001 g.

A norma sugere que a razão de contraste não apresente uma diferença superior a 3% entre as leituras. A razão de contraste mínima deve ser de 98,5% e, caso este valor não seja atingido, outra demão deverá ser aplicada. Ou seja, enquanto o valor obtido for inferior à 98,5%, o procedimento deverá ser repetido.

Figura 26 - Preparação da cartela a ser ensaiada.

Fonte: Autor.

Figura 27 - Medição da razão de contraste.

Fonte: Autor.

Para realizar os cálculos deste ensaio, primeiramente deve-se efetuar a seguinte equação:

Equação 19

$$Fn = (Peso_{\,n} - Peso_{\,n-1})$$

Onde:

Fn é o peso de tinta transferido após a aplicação da primeira demão de tinta, expresso em gramas (g);
Peso $_{n-1}$ é o peso da cartela limpa e seca, expresso em gramas (g);
Peso $_{n}$ é o peso da cartela com a demão de tinta aplicada e seca, expresso em gramas (g).

Quando são necessárias mais demãos de tinta, o cálculo anterior deve ser repetido, com a diferença onde o Peso $_{n-1}$ será o peso da cartela com a demão de tinta aplicada e seca, anteriormente, expresso em gramas (g).

Caso a razão de contraste obtida seja exatamente de 98,5%, o cálculo da cobertura seca é realizado imediatamente, conforme a equação a seguir:

Equação 20

$$Cobertura\ seca, em\ m^2/L = \frac{A\ x\ 100\ x\ B}{Fi}$$

Onde:

A é a massa específica da tinta diluída, expressa em gramas por centímetro cúbico (g/cm^3);
B é o fator de diluição (por exemplo, 1,1 se a diluição for de 10%);
Fi é a massa de tinta depositada para a razão de contraste de 98,5%, expressa em gramas (g).

Caso a razão de contraste obtida seja superior a 98,5%, a interpolação a seguir deve ser realizada:

Equação 21

$$Fi = F_{n+1} + \frac{(F_n - F_{n-1})}{(RC_n - RC_{n-1})} x\,(98{,}5 - RC_{n-1})$$

Onde:

Fi é a massa de tinta depositada para a razão de contraste de 98,5%, expressa em gramas (g);

F_{n-1} é a massa de tinta depositada para a razão de contraste RC_{n-1}, expressa em gramas (g);

F_n é a massa de tinta depositada para a razão de contraste RC_n, expressa em gramas (g);

RC_{n-1} é a leitura da razão de contraste imediatamente inferior a 98,5%;

RC_n é a leitura da razão de contraste imediatamente superior 98,5%.

Desta forma, obtendo-se Fi com a interpolação, este valor deve ser aplicado na equação 20.

3.2.2.6 Abrasão úmida sem pasta abrasiva

O ensaio de determinação da resistência à abrasão úmida sem pasta abrasiva foi realizado de acordo com a norma NBR 15078 (ABNT, 2004).

Para o ensaio de de abrasão, o equipamento utilizado foi a máquina de lavabilidade (Byk Gardner), apresentada na Figura 28.

Figura 28 - Máquina de lavabilidade da Byk Gardner.

Fonte: Autor.

A máquina de lavabilidade foi nivelada antes do uso e operada a 37 ± 1 cpm.

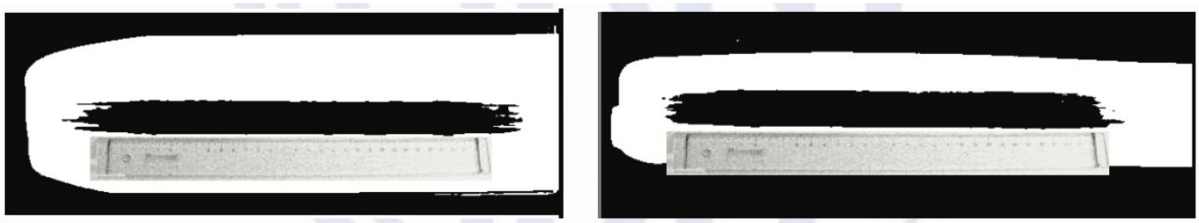
Para a realização do ensaio foram necessárias uma escova de cerdas de pelos de porco (Escovas Tatuapé) não perfurada, com cerdas niveladas e solução a 1% de nonilfenol etoxilado com 9,5 moles de Óxido de Eteno (EO) em água destilada.

As tintas foram aplicadas nas cartelas com o extensor e passaram pelo procedimento de secagem, como definido pela norma.

Realizados os procedimentos anteriormente citados, cada cartela foi depositada na bandeja da máquina de lavabilidade e foi umedecida com 5mL de água potável, com o auxílio de uma pipeta, no percurso da escova, com a velocidade de 30 gotas por minuto.

O marcador de ciclos foi zerado e o equipamento acionado, iniciando assim a contagem de ciclos necessários para atingir 80% de desgaste da cartela (aproximadamente 30 cm de extensão), que foi medida com o auxílio de uma régua. Um exemplo de como esta etapa deve ser realizada, é ilustrada na Figura 29.

Figura 29 - Placas de PVC após o ensaio, ilustrando o auxílio de uma régua para a determinação do desgaste de 80% da área.



Fonte: ABNT NBR 15078:2004.

Este ensaio foi realizado apenas com tintas de qualidade econômica, de acordo como sugerido pela NBR 15079-1 (ABNT, 2021).

O ensaio foi realizado em triplicata para todas as amostras.

3.2.2.7 Abrasão úmida

O ensaio de determinação da resistência à abrasão úmida foi realizado de acordo com a norma NBR 14940 (ABNT, 2018).

Para a realização do ensaio foram necessárias uma escova de náilon com alturas de cerdas de aproximadamente 18,0 mm (Byk Gardner) com cerdas niveladas e pasta abrasiva de acordo com os padrões da norma; placa de vidro com dimensões de 432 x 165 x 5 mm, cartela de PVC preta com dimensões de 432 x 165 mm, extensor de barra com abertura de 175 μm e fita para ressalto com dimensões aproximadas de 165 x 13 x 0,25 mm.

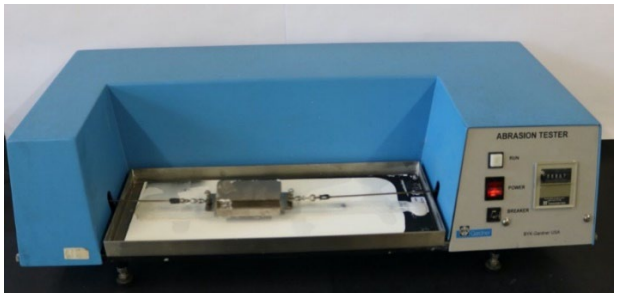
Os corpos de prova foram preparados da mesma maneira descrita no item anterior. A fita para ressalto foi colocada no meio da placa de vidro, no sentido transversal e, em seguida, a cartela de PVC foi fixada na placa de vidro.

Realizados os procedimentos citados anteriormente, o conjunto placa de vidro e cartela de PVC foram colocados na bandeja da máquina de lavabilidade e foi umedecida com 5mL de água potável, com o auxílio de uma pipeta, no percurso da escova. O suporte e a escova, conectados pelo cabo guia, foram posicionados no meio da bandeja e, em seguida, a pasta abrasiva foi homogeneizada e, pesou-se aproximadamente 10g desta que, em seguida foram espalhadas sobre as cerdas da escova, de maneira uniforme, conforme Figura 30.

Figura 30 - Aplicação de pasta abrasiva sobre a escova.

Fonte: Autor.

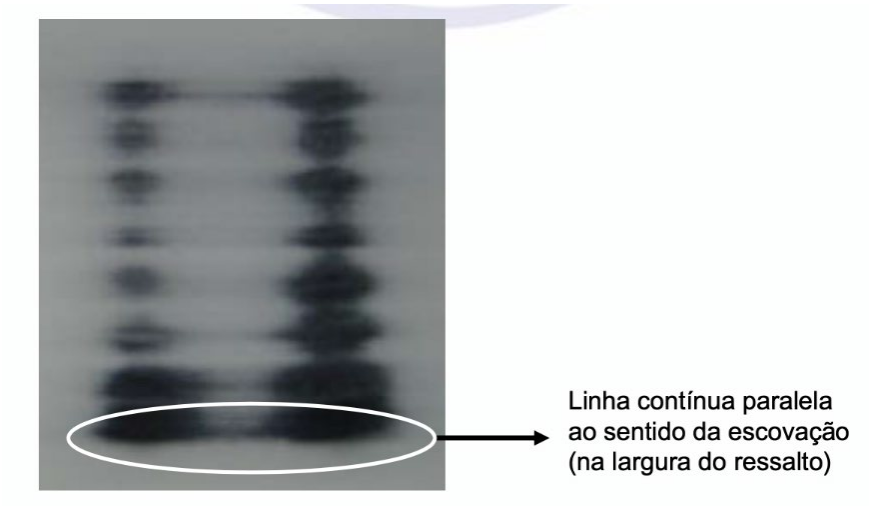
Figura 31 - Procedimento de desgaste/abrasão.



Fonte: Autor.

O marcador de ciclos foi zerado e o equipamento acionado, conforme Figura 31, iniciando assim a contagem de ciclos necessários para a obtenção da linha contínua paralela ao sentido da escovação, conforme determinado pela norma e ilustrado pela Figura 32

Figura 32 - Leitura correta do ensaio de resistência à abrasão úmida.



Fonte: ABNT NBR 14940:2018.

O ensaio foi realizado em triplicata para todas as amostras.

3.2.2.8 Calcinação

O ensaio determinação do grau de calcinação foi realizado de acordo com a norma NBR 15302 (ABNT, 2005).

Para a realização do ensaio foram necessários cartela de PVC preta com dimensões de 432 x 165 mm, extensor de barra com abertura de 175 μm, uma régua e tecido do tipo feltro na cor preta, expostos na figura 59.

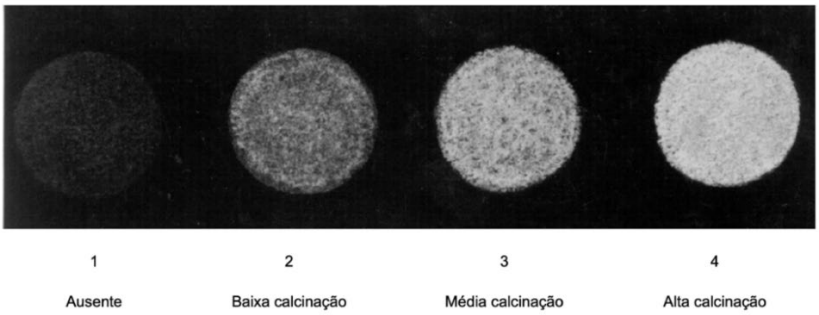
Para a realização deste ensaio, as cartelas foram preparadas conforme sugerido pela norma e, em seguida, envolveu-se um pedaço de tecido no dedo indicador e, em seguida, pressionou-se o dedo envolto no tecido, sobre a película de tinta, fazendo uma linha contínua de 50 a 65 mm de comprimento, conforme Figura 33.

Figura 33 - Realização do ensaio de calcinação.

Fonte: Autor.

As manchas obtidas no tecido utilizado para o ensaio, devem ser comparados com os parâmetros definidos pela norma, conforme Figura 34.

Figura 34 - Padrões fotográficos para avaliação do grau de calcinação por contraste.



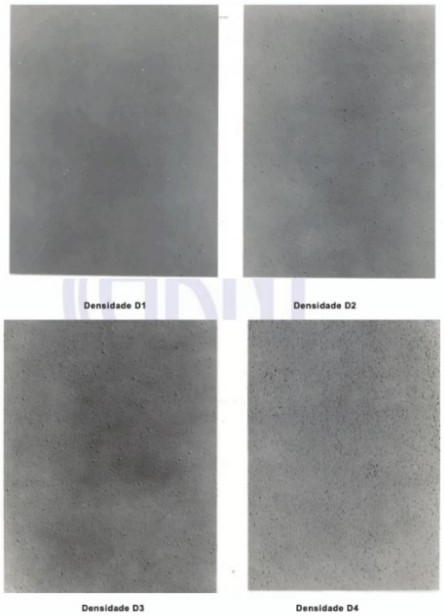
Fonte: ABNT NBR 15302:2005.

3.2.2.9 Empolamento

O ensaio de determinação do grau de empolamento foi realizado de acordo com a norma NBR 15381 (ABNT, 2006). Para a realização deste ensaio, as cartelas foram preparadas e, após o período de repouso, as cartelas foram observadas para realizar a avaliação do grau de empolamento que, de acordo com a norma, é definido como a quantificação de bolhas que surgem numa película de tinta após exposição por período determinado.

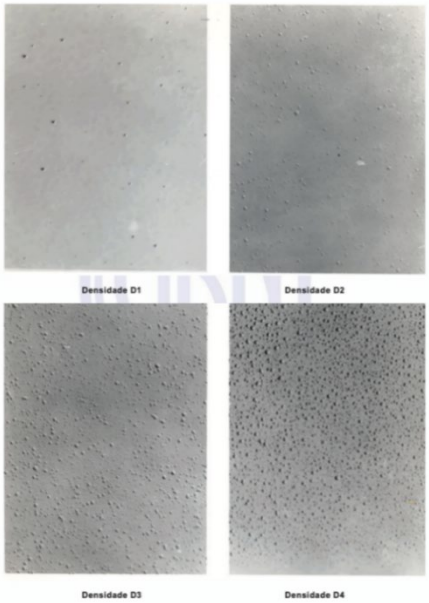
Para a avaliação do empolamento, o padrão fotográfico exibido nas Figuras 35 a 38, foram utilizados.

Figura 35 - Tamanho da bolha - T4.



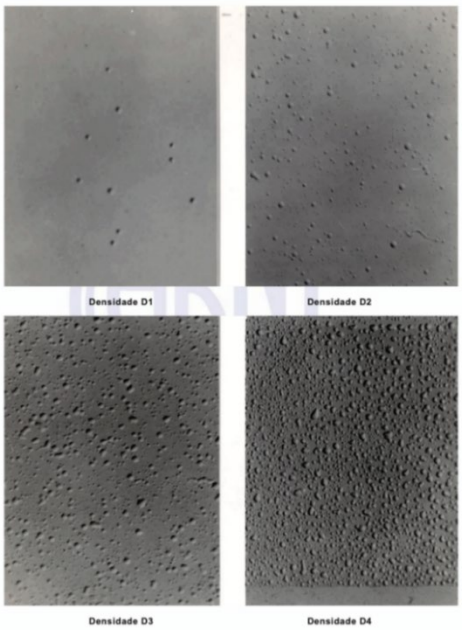
Fonte: ABNT NBR 15381:2006.

Figura 36 - Tamanho da bolha - T3.



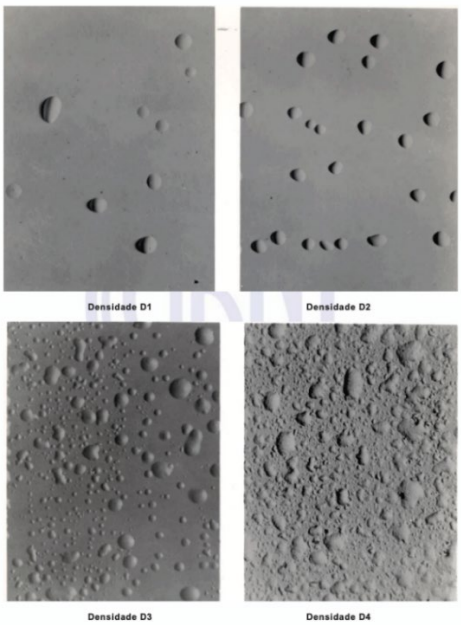
Fonte: ABNT NBR 15381:2006.

Figura 37 - Tamanho da bolha - T2.



Fonte: ABNT NBR 15381:2006.

Figura 38 - Tamanho da bolha - T1.



Fonte: ABNT NBR 15381:2006.

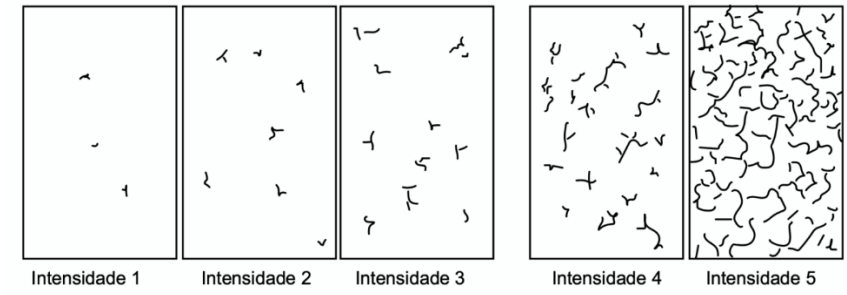
3.2.2.10 Craqueamento

O ensaio de comparação do grau de craqueamento foi realizado de acordo com a norma NBR 14945 (ABNT, 2017).

Para a realização deste ensaio, as cartelas foram preparadas e, após o período de repouso, as estas foram observadas para realizar a avaliação do surgimento de craqueamento que, de acordo com a norma, é definido como fenômeno manifestado na forma de fissuras na película de tinta, podendo ainda, se apresentar em forma irregular, que é assim definido por formar fissuras na película de tinta, sem forma definida.

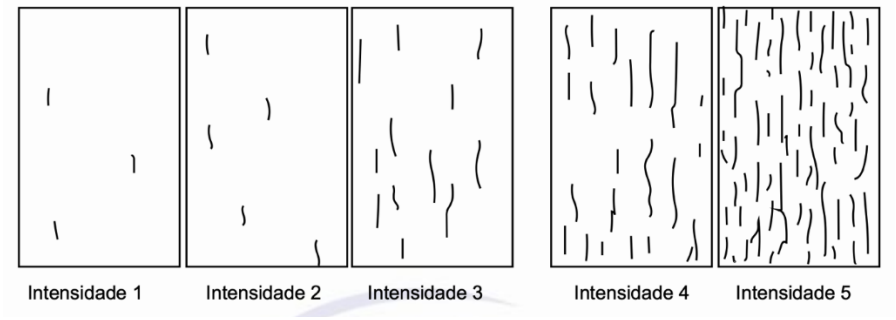
Para a avaliação do tipo e da intensidade do craqueamento, os padrões das Figuras 39 e 40 foram utilizados.

Figura 39 - Craqueamento irregular sem direção preferencial.



Fonte: ABNT NBR 14945:2017.

Figura 40 - Craqueamento regular com direção preferencial.



Fonte: ABNT NBR 14945:2017.

3.2.2.11 Porosidade

O ensaio de determinação da porosidade em película de tinta foi realizado de acordo com a norma NBR 14944 (ABNT, 2017).

Para a realização do ensaio foram necessários um aplicador eletromotorizado com sistema de vácuo e suporte para extensor (Byk Gardner) e um espectofotômetro computadorizado (Color Guide 45/0 – Byk Gardner). Foram necessários ainda, um extensor de barra com abertura de 150 μm, cartelas com dimensões de 192 x 278mm e balança analítica com precisão de 0,0001 g.

A tinta foi aplicada na cartela e passou pelo procedimento de secagem, de acordo com o sugerido pela norma. A solução de gilsonita foi composta por 10,00 g de betume da juréia, 89,00 g de aguarrás mineral e 1,00 g de xilol, sendo a gilsonita pesada separadamente dos demais itens.

As cartelas secas foram imersas na forma que continha a solução de gilsonita, até a metade da área em que a película havia sido aplicada, durante aproximadamente 10 segundos, conforme Figura 41.

Figura 41 - Imersão de metade da cartela na solução de gilsonita.

Fonte: Autor.

Após a imersão, as cartelas foram retiradas da forma e permaneceram em posição vertical por 2 minutos. Passado este período, as cartelas foram seguradas na posição vertical por 1 minuto e, utilizando um pincel banhado com aguarrás, retirou-se o excesso de solução de gilsonita das cartelas.

Em seguida, as cartelas foram posicionadas com o auxílio de uma fita, em uma superfície vertical rígida, conforme Figura 42.

Figura 42 - Procedimento de secagem das cartelas em superfície vertical rígida.

Fonte: Autor.

Após este procedimento, as cartelas foram colocadas em uma estufa com circulação de ar e, após a permanência, retirada e resfriamento, o orifício de luz do espectofotômetro foi posicionado em ambas as partes da cartela, tanto na parte coberta com a película de tinta, como na parte da cartela imergida na solução de gilsonita, e os respectivos valores de refletância foram medidos.

A porosidade é obtida de acordo com a razão de contraste entre os valores de refletância medidos.

O ensaio foi realizado em triplicata com todas as tintas.

3.2.2.12 Manchamento

O ensaio de avaliação de manchamento por água foi realizado de acordo com a norma NBR 15304 (ABNT, 2005).

Para a realização do ensaio foi necessária uma cabine de luz com iluminante D65, cartela de PVC preta com dimensões de 432 x 165 mm, extensor de barra com abertura de 175 μm, seringa com capacidade de 10 mL e água destilada.

As cartelas foram preparadas e, após o período de repouso, estas foram fixadas em uma superfície vertical rígida, com o auxílio de uma fita adesiva do tipo crepe, no ambiente e condições sugeridos pela norma.

Foram esguichados, com a seringa, 5 mL de água destilada, na região superior da cartela (aproximadamente 5 cm a partir do início da película), obtendo-se filetes contínuos de água, do topo até o final da cartela, conforme Figura 43.

Figura 43 - Cartelas após a aplicação da água.

Fonte: Autor.

Após a secagem, as cartelas foram posicionadas na cabine com iluminante D65 para que se pudesse identificar, a um ângulo de aproximadamente 45º, a presença ou a ausência de manchas.

Apesar de a norma sugerir apenas a verificação da ausência ou presença de manchas, tornou-se oportuna a criação de uma escala de manchamento que varia de 1 a 3, onde:

I1 é a presença de uma quantidade quase imperceptível de manchas;
I2 é a presença de pequena e média quantidade de manchas;
I3 é a presença de grande quantidade de manchas;

O ensaio foi realizado em duplicata para todas as formulações.

3.2.2.13 Aderência

O ensaio de determinação de aderência foi realizado de acordo com a norma NBR 11003 (ABNT, 2009).

Para a preparação dos corpos de prova, foram necessários placas de gesso acartonado com medidas de 200 x 300 mm e rolo de lã sintética com aproximadamente 7 cm de comprimento.

A aplicação da tinta sobre o gesso acartonado foi realizada de acordo com o estabelecido pela norma e, para cada tipo de tinta, foram aplicadas duas demãos, com o intervalo de 24 horas entre elas e, em seguida, passou pelo procedimento de secagem e repouso.

As placas de gesso foram posicionadas em uma superfície horizontal, plana e rígida e tiveram a espessura de suas camadas de tinta medidas com o medidor de espessura seca.

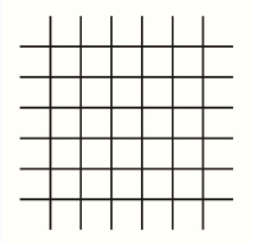
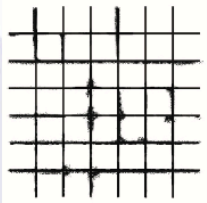
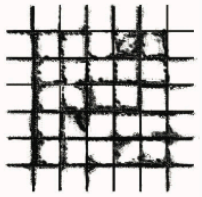
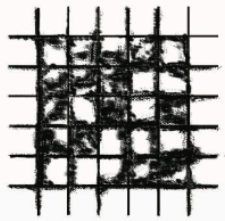
Os cortes cruzados em ângulo reto foram realizados. Para fins de conferência, a lupa foi utilizada para determinar se os cortes haviam realmente atingido o substrato.

Foram cortados 10 cm de fita e, em seguida, aplicou-se sobre a área cortada quadriculada em um dos sentidos do corte. Utilizou-se uma borracha para esfregar a fita, pressionando-a e fixando-a realmente.

Após o intervalo de 1 minuto, a fita foi removida, de forma firme e contínua, com velocidade de aproximadamente 20 cm/s e ao ângulo mais próximo a 180º possível.

Para a realização da avaliação da aderência, o padrão utilizado foi o da Figura 44.

Figura 44 - Destacamento na área quadriculada.

Código	Figura
Gr_0 Nenhuma área da película destacada	
Gr_1 Área da película destacada, cerca de 5 % da área quadriculada	
Gr_2 Área da película destacada, cerca de 15 % da área quadriculada	
Gr_3 Área da película destacada, cerca de 35 % da área quadriculada	
Gr_4 Área da película destacada, cerca de 65 % da área quadriculada	

Fonte: ABNT NBR 11003:2009.

4 RESULTADOS E ANÁLISES

Os resultados estão divididos em 3 partes. Na primeira são apresentados os resultados do impacto do uso nas nanofibras de celulose na tinta, esta como um material de construção e anteriormente a sua aplicação. Na segunda e terceira partes são apresentados respectivamente os resultados obtidos nos ensaios no estado fresco e no estado seco (película).

4.3 Impacto na tinta

Durante a realização da mistura das formulações, notou-se que todas elas, ao adicionar as nanofibras de celulose, independente do teor de substituição, apresentaram maior viscosidade.

Ainda durante esta fase, foi observado que para as formulações econômicas e *standard*, não se apresentaram problemas de dispersão do componente substitutivo, independentemente de seu teor, enquanto para as formulações *premium*, com teor de substituição a partir de 70%, a dispersão do componente se tornou mais difícil, acarretando uma aparência pouco aveludada.

Como abordado anteriormente, as misturas obtidas foram colocadas em recipientes de vidro estéreis e conservadas em local fresco e longe do sol. Depois de seis meses, estas foram avaliadas e não apresentaram crescimentos biológicos.

4.4 Impacto na película úmida

Quando aplicadas nos corpos de prova, as formulações econômicas com NFC apresentaram uma melhora significativa no que diz respeito ao toque e no aspecto depois da primeira demão que, diferentemente da formulação contendo somente TiO_2, apresentava uma boa cobertura. Já as tintas *standard* apresentaram poucas diferenças visualmente perceptíveis enquanto as de qualidade *premium*, com teor de substituição superior a 60%, apresentaram boa cobertura após a primeira demão,

porém com uma espessura muito superior em comparação às outras, o que dificultou a trabalhabilidade destas.

4.4.1 Massa Específica

A Tabela 11 apresenta a média dos resultados obtidos no ensaio de determinação de massa específica para tintas não diluídas. Nota-se que a massa específica média das formulações com NFC, apresenta uma redução em relação àquela obtida na formulação convencional.

No caso das formulações econômicas, a redução da massa específica entre a mistura convencional e àquela com 100% de NFC em sua composição, a redução foi de aproximadamente 3,8%, nas formulações *Standard*, a diferença se aproxima a 8,4%, enquanto nas formulações *Premium*, a diferença é superior a 11%.

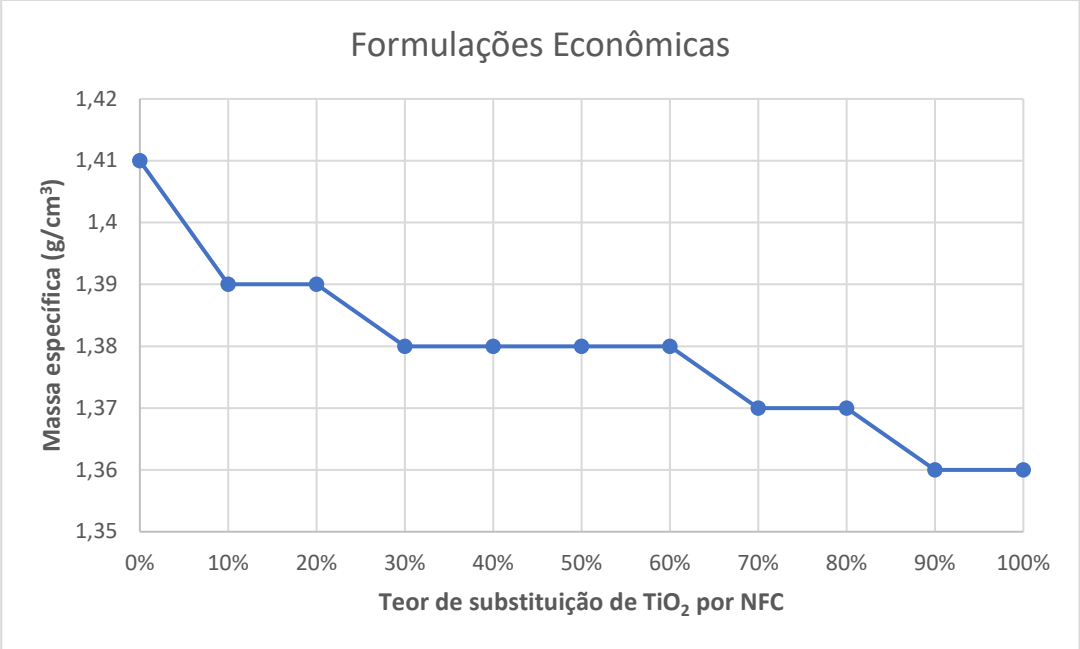
Tabela 11 - Resultados do ensaio de determinação de massa específica

Formulações Econômicas – Teor de substituição de TiO_2 por NFC											
	0%	**10%**	**20%**	**30%**	**40%**	**50%**	**60%**	**70%**	**80%**	**90%**	**100%**
Me Média (g/cm^3)	1,41	1,39	1,39	1,38	1,38	1,38	1,38	1,37	1,37	1,36	1,36
Formulações *Standard* – Teor de substituição de TiO_2 por NFC											
	0%	**10%**	**20%**	**30%**	**40%**	**50%**	**60%**	**70%**	**80%**	**90%**	**100%**
Me Média (g/cm^3)	1,38	1,37	1,36	1,34	1,33	1,31	1,30	1,29	1,28	1,28	1,27
Formulações *Premium* – Teor de substituição de TiO_2 por NFC											
	0%	**10%**	**20%**	**30%**	**40%**	**50%**	**60%**	**70%**	**80%**	**90%**	**100%**
Me Média (g/cm^3)	1,35	1,33	1,32	1,31	1,29	1,28	1,24	1,24	1,21	1,21	1,20

Fonte: Autor.

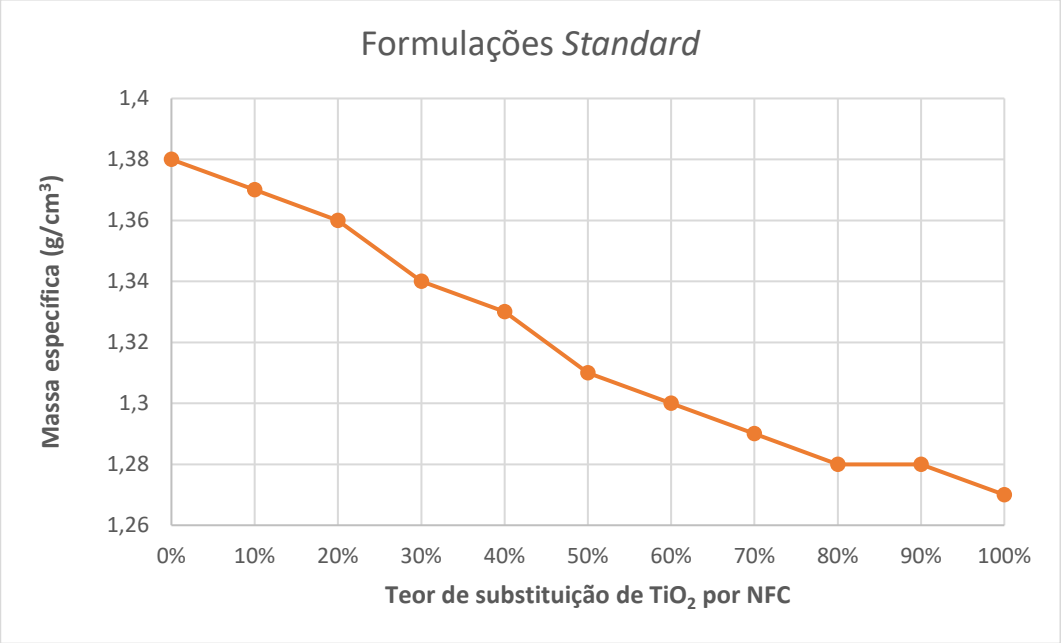
Este fenômeno está relacionado ao fato da adição de NFC com teor de água de 30%, visto que este valor é somado à água total da formulação, gerando assim, a redução da massa específica nas formulações que possuem maior teor de substituição. O mesmo pode ser melhor observado nas Figuras 45, 46 e 47.

Figura 45 - Resultados obtidos no ensaio de determinação da massa específica das tintas econômicas



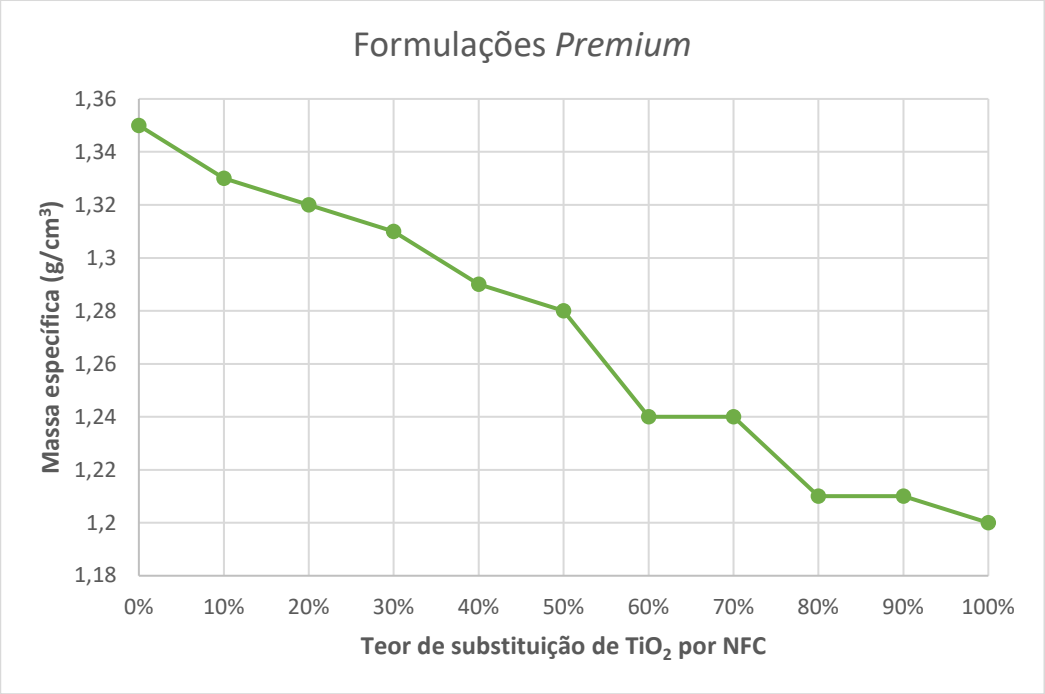
Fonte: Autor.

Figura 46 - Resultados obtidos no ensaio de determinação da massa específica das tintas standard



Fonte: Autor.

Figura 47 - Resultados obtidos no ensaio de determinação da massa específica das tintas premium



Fonte: Autor.

Para os resultados deste ensaio a norma em questão não apresenta valores de referência.

4.4.2 Viscosidade

Os resultados obtidos no ensaio de viscosidade pelo Copo Ford são apresentados na Tabela 12 e comprovam o que havia sido observado no item 4.1 em relação ao aumento de viscosidade quando utilizadas as NFC.

Tabela 12 - Resultado do ensaio de determinação da viscosidade pelo Copo Ford

Formulações Econômicas – Teor de substituição de TiO_2 por NFC						
	0%	**10%**	**20%**	**30%**	**40%**	**50%**
Orifício	3	3	4	4	4	5
Viscosidade (cst)	36,47	117,05	171,98	204,67	270,85	789,53
	60%	**70%**	**80%**	**90%**	**100%**	
Orifício	5	6	6	8	8	
Viscosidade (cst)	961,22	996,76	1230,86	1780,12	1859,25	
Formulações *Standard* – Teor de substituição de TiO_2 por NFC						
	0%	**10%**	**20%**	**30%**	**40%**	**50%**
Orifício	3	5	5	6	6	6
Viscosidade (cst)	201,57	976,71	1143,09	1162,08	1239,06	1430,78
	60%	**70%**	**80%**	**90%**	**100%**	
Orifício	8	8	8	8	8	
Viscosidade (cst)	1486,84	1608,36	1826,90	1917,34	2056,75	
Formulações *Premium* – Teor de substituição de TiO_2 por NFC						
	0%	**10%**	**20%**	**30%**	**40%**	**50%**
Orifício	6	8	8	8	8	8
Viscosidade (cst)	1231,30	1316,97	1431,89	1782,00	1982,96	2122,69
	60%	**70%**	**80%**	**90%**	**100%**	
Orifício	8	-	-	-	-	
Viscosidade (cst)	2265,88	-	-	-	-	

Fonte: Autor.

Todas as formulações foram sujeitas ao ensaio, com exceção de quatro formulações de qualidade *premium*, sendo elas respectivamente, com teores de substituição de 70, 80, 90 e 100%, visto que possuíam uma viscosidade tão elevada que não eram capazes de passar por nenhum dos orifícios.

Este fenômeno dá-se pelo fato de que apesar da adição de uma maior quantidade de água à mistura, graças à umidade presente nas NFC, estas

diferentemente do Dióxido de Titânio, tem a capacidade de atuar na resistência que o a mistura tem de fluir, tornando-a mais viscosa.

Corrêa (2010) corrobora com esta afirmação elucidando em seu trabalho que a viscosidade dos compósitos de EVA com nanofibras de celulose é muito superior quando comparados à matriz EVA sem incorporação de fibras.

A norma utilizada para seguir este ensaio não indica valores de referência para os resultados obtidos.

4.4.3 Poder de cobertura (opacidade)

A Tabela 13 apresenta os resultados obtidos no ensaio de opacidade que avalia o poder de cobertura, expresso em m^2/galão.

Tabela 13 - Resultados do ensaio de poder de cobertura (opacidade)

Formulações Econômicas – Teor de substituição de TiO_2 por NFC											
	0%	**10%**	**20%**	**30%**	**40%**	**50%**	**60%**	**70%**	**80%**	**90%**	**100%**
m^2 por galão	11,00	16,00	15,70	15,30	14,30	13,20	12,80	12,30	12,30	11,80	11,40
Formulações *Standard* – Teor de substituição de TiO_2 por NFC											
	0%	**10%**	**20%**	**30%**	**40%**	**50%**	**60%**	**70%**	**80%**	**90%**	**100%**
m^2 por galão	17,70	19,00	19,50	20,50	21,50	23,00	25,70	28,00	14,00	12,80	10,60
Formulações *Premium* – Teor de substituição de TiO_2 por NFC											
	0%	**10%**	**20%**	**30%**	**40%**	**50%**	**60%**	**70%**	**80%**	**90%**	**100%**
m^2 por galão	82,00	42,00	40,00	38,00	39,00	35,00	17,10	16,00	14,70	10,60	10,20

Fonte: Autor.

Pode-se observar que nas formulações econômicas, todas aquelas que possuem NFC em sua composição, apresentaram um aumento na quantidade de metros quadrados por litro, ou seja, se tornaram mais opacas em relação à formulação convencional, chegando apresentar diferenças superiores à 31%.

Nas formulações *standard*, somente entre os intervalos de substituição de 10 e 70%, as tintas apresentaram um maior poder de cobertura, enquanto aquelas com

teores entre 80 e 100%, tiveram um resultado muito inferior em comparação à formulação convencional.

As formulações *premium* independentemente do teor de substituição, apresentaram uma redução drástica nos resultados em relação à cobertura da formulação convencional.

Acredita-se que estes resultados sejam correlatos ao fato de que as tintas com maior teor de nanofibras em sua composição, apresentam consequentemente maior viscosidade e, portanto, antes de serem aplicadas devem ser diluídas para então avaliar seu real desempenho e cobertura.

A norma utilizada na realização do ensaio não apresenta valores de referência para os resultados obtidos neste.

4.4.4 Poder de cobertura da tinta úmida

A síntese dos resultados obtidos no ensaio de determinação do poder de cobertura da tinta úmida é apresentada na Tabela 14.

Tabela 14 - Resultados do ensaio de poder de cobertura da tinta úmida

Formulações Econômicas – Teor de substituição de TiO_2 por NFC											
	0%	**10%**	**20%**	**30%**	**40%**	**50%**	**60%**	**70%**	**80%**	**90%**	**100%**
RC média (%)	77,04	82,95	83,65	81,82	82,51	83,41	82,78	84,46	86,08	84,23	86,66
Formulações *Standard* – Teor de substituição de TiO_2 por NFC											
	0%	**10%**	**20%**	**30%**	**40%**	**50%**	**60%**	**70%**	**80%**	**90%**	**100%**
RC média (%)	97,69	100,19	99,51	99,80	99,50	99,87	100,27	99,37	99,41	99,72	97,76
Formulações *Premium* – Teor de substituição de TiO_2 por NFC											
	0%	**10%**	**20%**	**30%**	**40%**	**50%**	**60%**	**70%**	**80%**	**90%**	**100%**
RC média (%)	97,22	99,68	99,79	100,51	99,89	99,64	99,97	99,64	99,41	94,42	81,69

Fonte: Autor.

Nas tintas econômicas pode-se notar um aumento importante da razão de contraste média, proporcionalmente ao aumento do teor de NFC na composição, apresentando valores superiores de até 14,5%. O aumento ocorreu também nas

formulações de qualidade *standard*, porém este foi menos notável em relação àquele apresentado pelas tintas econômicas, não superando 2,5%.

Já nas formulações de qualidade *premium* com *NFC*, o aumento da razão de contraste em relação à formulação convencional, ocorreu somente entre o intervalo de teores de substituição de 10 e 80%. As formulações com 90% e 100% de NFC em sua composição apresentaram respectivamente uma redução de 2,9% e 16% na razão de contraste.

Apesar de a norma de determinação do poder de cobertura da tinta úmida não apresentar valores de referência para a avaliação dos resultados, a norma NBR 11702 (ABNT, 2021) determina que as tintas econômicas devem apresentar uma razão de contraste de no mínimo 55%, enquanto as de qualidade *standard* e *premium*, devem apresentar respectivamente, razão de contraste de no mínimo 85% e 90%.

Desta forma, pode-se afirmar que todas as formulações, com exceção da *premium* com 100% de NFC, apresentam resultados superiores aos valores de referência, atendendo assim aos requisitos da norma.

4.5 Impacto na película seca

Depois da aplicação nos corpos de prova, as formulações econômicas com NFC apresentaram uma melhora significativa no que diz respeito à película seca da mistura somente com TiO_2. Estas eram mais opacas e apresentaram melhor poder de cobertura.

As tintas de qualidade *standard* apresentaram poucas diferenças visualmente perceptíveis, como ocorrido também nos ensaios no estado fresco.

Já as de qualidade *premium*, com teor de substituição superior a 70%, apresentaram uma película muito espessa, além de apresentar alguns grumos e aspecto pouco aveludado.

4.5.1 Volume de sólidos

Os resultados do ensaio de determinação do volume de sólidos são apresentados na Tabela 15. Pode-se notar que o volume de sólidos varia de acordo com a concentração de pigmento e NFC nas formulações.

Tabela 15 - Resultados obtidos no ensaio de determinação do volume de sólidos

Formulações Econômicas – Teor de substituição de TiO_2 por NFC											
	0%	**10%**	**20%**	**30%**	**40%**	**50%**	**60%**	**70%**	**80%**	**90%**	**100%**
V(%)	16,03	15,71	17,61	15,95	14,20	15,71	16,12	15,87	15,13	13,66	15,52
Formulações *Standard* – Teor de substituição de TiO_2 por NFC											
	0%	**10%**	**20%**	**30%**	**40%**	**50%**	**60%**	**70%**	**80%**	**90%**	**100%**
V(%)	16,47	16,05	14,02	14,39	14,39	13,02	13,17	12,32	12,40	11,83	11,75
Formulações *Premium* – Teor de substituição de TiO_2 por NFC											
	0%	**10%**	**20%**	**30%**	**40%**	**50%**	**60%**	**70%**	**80%**	**90%**	**100%**
V(%)	14,32	14,95	14,03	14,05	12,69	12,27	11,96	11,59	11,45	11,59	10,57

Fonte: Autor.

A norma adotada para a realização deste ensaio não apresenta valores de referência para os resultados obtidos.

4.5.2 Teor de substâncias voláteis

A síntese dos resultados obtidos no ensaio de determinação do teor de substâncias voláteis é apresentada na Tabela 16.

Tabela 16 - Resultados obtidos no ensaio de determinação do teor de substâncias voláteis

Formulações Econômicas – Teor de substituição de TiO_2 por NFC											
	0%	**10%**	**20%**	**30%**	**40%**	**50%**	**60%**	**70%**	**80%**	**90%**	**100%**
VOC (%)	51,76	51,94	52,08	52,60	52,02	52,52	52,61	53,01	52,95	53,63	52,76
Formulações *Standard* – Teor de substituição de TiO_2 por NFC											
	0%	**10%**	**20%**	**30%**	**40%**	**50%**	**60%**	**70%**	**80%**	**90%**	**100%**
VOC (%)	51,96	52,21	54,35	53,77	54,67	55,28	56,21	57,28	57,60	58,20	59,39
Formulações *Premium* – Teor de substituição de TiO_2 por NFC											
	0%	**10%**	**20%**	**30%**	**40%**	**50%**	**60%**	**70%**	**80%**	**90%**	**100%**
VOC (%)	52,18	51,75	52,45	53,43	55,32	56,11	57,09	58,02	59,78	59,99	62,17

Fonte: Autor.

Com a atualização da norma de classificação das tintas, a NBR 11702 (ABNT, 2021), o volume de compostos orgânicos voláteis passou a ser medido em g/L, portanto tornou-se oportuna a conversão dos valores obtidos.

Para realizar a conversão, de acordo com o sugerido pela norma NBR 16388 (ABNT, 2015), a equação utilizada é a seguinte:

Equação 22

$$Voc = (VOC) * \rho s * 10$$

Onde:

Voc é o teor de VOC, expresso g/L;
VOC é o teor de VOC, expresso em percentagem mássica (%), do produto pronto para uso;
ρs é a densidade, expressa em g/mL;
10 é o fator de conversão de gramas por litro (g/L).

Efetuando a conversão, os resultados obtidos são apresentados na Tabela 17.

Tabela 17 - Resultados obtidos com a conversão de VOC em % para g/L.

Formulações Econômicas – Teor de substituição de TiO_2 por NFC											
	0%	**10%**	**20%**	**30%**	**40%**	**50%**	**60%**	**70%**	**80%**	**90%**	**100%**
VOC (g/L)	73,23	72,51	72,44	73,00	71,91	72,54	72,41	73,10	72,13	73,33	72,80
Formulações *Standard* – Teor de substituição de TiO_2 por NFC											
	0%	**10%**	**20%**	**30%**	**40%**	**50%**	**60%**	**70%**	**80%**	**90%**	**100%**
VOC (g/L)	72,13	71,64	73,95	72,19	72,70	72,68	73,32	73,95	74,25	74,58	75,55
Formulações *Premium* – Teor de substituição de TiO_2 por NFC											
	0%	**10%**	**20%**	**30%**	**40%**	**50%**	**60%**	**70%**	**80%**	**90%**	**100%**
VOC (g/L)	70,67	69,29	69,72	70,26	71,81	72,14	71,32	72,26	72,58	72,71	74,85

Fonte: Autor.

A norma de classificação citada anteriormente determina que todas as formulações, sejam elas econômicas, standard ou premium, tenham o teor de VOC inferior a 100 g/L, portanto todas as formulações atendem aos requisitos da norma.

4.5.3 Brilho

A Tabela 18 apresenta os resultados obtidos no ensaio de determinação do brilho.

Tabela 18 - Resultados obtidos no ensaio de determinação do brilho

Formulações Econômicas – Teor de substituição de TiO_2 por NFC											
	0%	**10%**	**20%**	**30%**	**40%**	**50%**	**60%**	**70%**	**80%**	**90%**	**100%**
Medida Média (ub)	21,70	12,40	11,20	10,73	9,80	10,30	9,30	9,47	8,57	9,10	7,83
Formulações *Standard* – Teor de substituição de TiO_2 por NFC											
	0%	**10%**	**20%**	**30%**	**40%**	**50%**	**60%**	**70%**	**80%**	**90%**	**100%**
Medida Média (ub)	10,63	7,00	6,73	6,37	5,60	5,10	4,03	4,00	3,70	3,33	3,00
Formulações *Premium* – Teor de substituição de TiO_2 por NFC											
	0%	**10%**	**20%**	**30%**	**40%**	**50%**	**60%**	**70%**	**80%**	**90%**	**100%**
Medida Média (ub)	4,80	4,37	4,47	3,87	3,10	2,83	2,00	1,87	1,47	1,23	1,50

Fonte: Autor.

Todas as formulações com NFC em sua composição apresentaram uma redução de unidades de brilho em relação às formulações convencionais. Dentre as três, a qualidade que mais apresentou melhorias foi a econômica, com diminuição de brilho de aproximadamente 64%, quando comparadas a formulação convencional e a sem pigmento na sua composição.

Visto que o brilho é inversamente proporcional à opacidade e que o pigmento é o maior responsável por conferir esta característica às tintas, pode-se afirmar que em relação à esta propriedade em particular, a substituição do pigmento por NFC apresenta grandes ganhos.

Sá (2020) elucida em sua pesquisa que as características dos filmes também podem ser influenciadas pela morfologia e massa molar dos componentes utilizados nas formulações. Portanto, as regiões cristalinas refletem ou desviam o feixe de luz existente, o que propicia maior opacidade ao filme.

A norma utilizada para a realização deste ensaio não prevê valores de referência para avaliação dos resultados obtidos, porém a norma NBR 11702 (ABNT, 2021) determina que todas as tintas, independentemente de sua qualidade, devem apresentar um resultado igual ou inferior à 8 unidades de brilho.

Desta forma, pode-se observar que todas as formulações premium atendem ao requisito da norma. Já no caso das formulações standard, a única que não há um resultado admissível é a convencional, enquanto todas as formulações que possuem NFC em sua composição são inferiores a 8 unidades de brilho.

No caso das misturas econômicas, a única que apresenta um resultado que pode ser aceito pela norma, é a mistura sem pigmentos em sua composição, com 7,83 unidades de brilho.

4.5.4 Cobertura por extensão

A síntese dos resultados obtidos no ensaio de determinação do poder de cobertura por extensão é apresentada na Tabela 19.

Tabela 19 - Resultados obtidos no ensaio de determinação do poder de cobertura por extensão

Formulações Econômicas – Teor de substituição de TiO_2 por NFC											
	0%	**10%**	**20%**	**30%**	**40%**	**50%**	**60%**	**70%**	**80%**	**90%**	**100%**
RC média (%)	94,59	102,09	100,51	95,29	97,18	100,26	100,62	99,90	99,49	100,78	99,87
Formulações *Standard* – Teor de substituição de TiO_2 por NFC											
	0%	**10%**	**20%**	**30%**	**40%**	**50%**	**60%**	**70%**	**80%**	**90%**	**100%**
RC média (%)	99,96	99,98	100,83	100,44	100,18	100,04	101,71	99,97	100,02	100,03	100,34
Formulações *Premium* – Teor de substituição de TiO_2 por NFC											
	0%	**10%**	**20%**	**30%**	**40%**	**50%**	**60%**	**70%**	**80%**	**90%**	**100%**
RC média (%)	99,97	100,10	100,02	100,08	100,14	99,77	99,35	99,95	97,80	99,85	92,85

Fonte: Autor.

A norma utilizada como parâmetro para a realização deste ensaio não possui valores de referência para os resultados obtidos, porém sabe-se que neste caso, quanto maior a razão de contraste, maior o poder de cobertura.

Desta forma, pode-se observar um aumento na razão de contraste e, consequentemente, no poder de cobertura de todas as formulações com adição de NFC, tanto de qualidade econômica quanto *standard*.

Já para qualidade *premium*, o aumento na razão de contraste ocorre somente nas formulações com teores de substituição entre 10 e 40%, sendo as demais com valores inferiores quando comparados à mistura convencional.

4.5.5 Poder de cobertura

Os resultados obtidos no ensaio de poder de cobertura, também conhecido como rendimento, são expressos na Tabela 20.

Tabela 20 - Resultados obtidos no ensaio de determinação do poder de cobertura

Formulações Econômicas – Teor de substituição de TiO_2 por NFC											
	0%	**10%**	**20%**	**30%**	**40%**	**50%**	**60%**	**70%**	**80%**	**90%**	**100%**
m^2/L	21,78	16,97	19,04	19,61	14,15	17,81	12,65	13,03	14,31	13,36	12,00
Formulações *Standard* – Teor de substituição de TiO_2 por NFC											
	0%	**10%**	**20%**	**30%**	**40%**	**50%**	**60%**	**70%**	**80%**	**90%**	**100%**
m^2/L	26,58	17,85	15,69	16,45	15,09	16,76	14,71	13,47	13,59	14,12	11,01
Formulações *Premium* – Teor de substituição de TiO_2 por NFC											
	0%	**10%**	**20%**	**30%**	**40%**	**50%**	**60%**	**70%**	**80%**	**90%**	**100%**
m^2/L	17,17	16,67	16,20	16,95	14,44	13,94	14,09	12,92	12,37	9,84	9,10

Fonte: Autor.

A norma utilizada para a realização do ensaio não determina valores de referência para os resultados, porém a norma NBR 11702 (ABNT, 2021) determina que as tintas de qualidade econômica devem apresentar um rendimento mínimo de 4 m^2/L, as de qualidade standard de 5 m^2/L e as de qualidade premium 6 m^2/L.

Desta forma, pode-se observar que todas as fórmulas apresentaram rendimento muito superior ao requisitado pela norma, porém deve-se salientar que as formulações com NFC em sua composição, independente da qualidade da tinta,

apresentaram redução de rendimento. Este fenômeno ocorre devido ao aumento de água na composição, visto que as nanofibras adicionadas possuíam 30% de umidade.

4.5.6 Abrasão úmida

Para as formulações de qualidade econômica, as que apresentaram melhor resistência à abrasão quando comparadas à formulação convencional foram as com teor de substituição de 10, 90 e 100%. Já no caso das formulações *standard*, todas apresentaram aumento considerável em relação à quantidade de ciclos obtido pela mistura convencional, com exceção da formulação com teor de substituição de 60%, que apresentou resultado inferior. Na avaliação da resistência à abrasão das formulações *premium,* pode-se observar que todas com NFC em sua composição apresentaram aumento na resistência. A síntese dos resultados obtidos no ensaio de abrasão úmida é apresentada na Tabela 21.

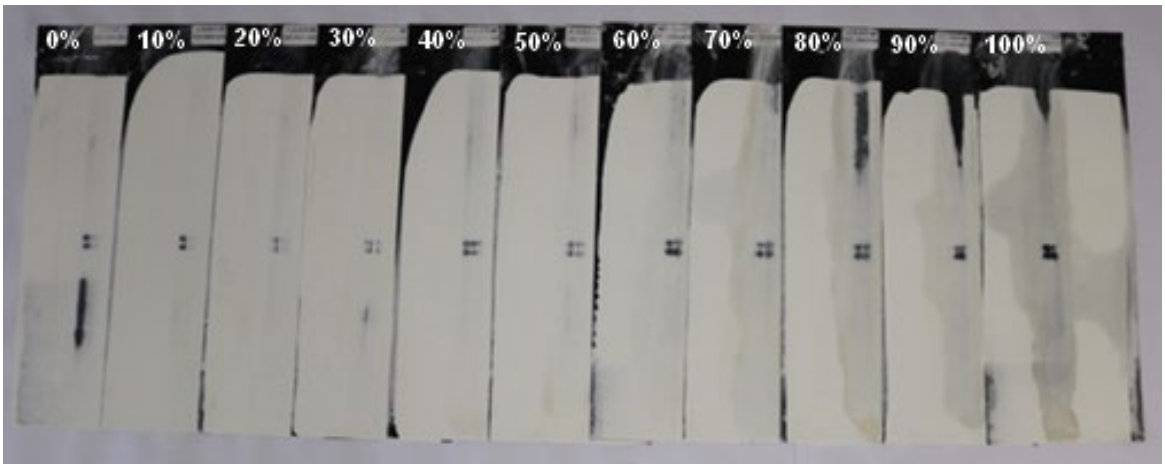
Tabela 21 - Resultados obtidos no ensaio de abrasão úmida

Formulações Econômicas – Teor de substituição de TiO_2 por NFC						
	0%	**10%**	**20%**	**30%**	**40%**	**50%**
Ciclos Médio	55,33	56,67	26,67	36,67	43,67	44,33
	60%	**70%**	**80%**	**90%**	**100%**	
Ciclos Médio	48,33	18,67	28,67	61,00	60,00	
Formulações *Standard* – Teor de substituição de TiO_2 por NFC						
	0%	**10%**	**20%**	**30%**	**40%**	**50%**
Ciclos Médio	99,00	193,67	203,33	223,00	132,00	123,67
	60%	**70%**	**80%**	**90%**	**100%**	
Ciclos Médio	97,33	113,33	130,33	173,00	128,67	
Formulações *Premium* – Teor de substituição de TiO_2 por NFC						
	0%	**10%**	**20%**	**30%**	**40%**	**50%**
Ciclos Médio	264,67	277,00	352,00	474,00	366,67	648,00
	60%	**70%**	**80%**	**90%**	**100%**	
Ciclos Médio	397,33	553,00	388,00	358,33	316,00	

Fonte: Autor.

Na Figura 48 pode-se observar as tabelas de PVC depois de serem submetidas ao ensaio.

Figura 48 - Cartelas com tintas premium após serem submetidas ao ensaio de abrasão úmida



Fonte: Autor.

A norma utilizada para a realização deste ensaio não possui valores de referência para avaliação dos resultados obtidos, porém a norma NBR 11702 (ABNT, 2021) determina que as tintas econômicas, *standard* e *premium*, devem apresentar respectivamente um resultado de 10, 40 e 100 ciclos no ensaio de resistência à abrasão com pasta abrasiva. Observa-se que todas as tintas apresentaram resultados satisfatórios e que atendem aos requisitos da norma.

Chaker et al. (2013) afirmam que as nanofibras de celulose, graças às suas zonas cristalinas, promovem elevada dureza e resistência. Acredita-se, portanto, que o aumento de resistência à abrasão das tintas com NFC em sua composição ocorra graças à alta resistência mecânica das nanofibras e à sua capacidade de transferir suas características ao material em que é incorporada.

4.5.7 Abrasão úmida sem pasta abrasiva

De acordo com a norma utilizada para a realização deste ensaio, apenas as formulações devem passar pelo teste de abrasão úmida sem pasta abrasiva, porém não determina uma quantidade mínima de ciclos como referência. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 22.

Tabela 22 - Resultados obtidos no ensaio de abrasão úmida sem pasta abrasiva

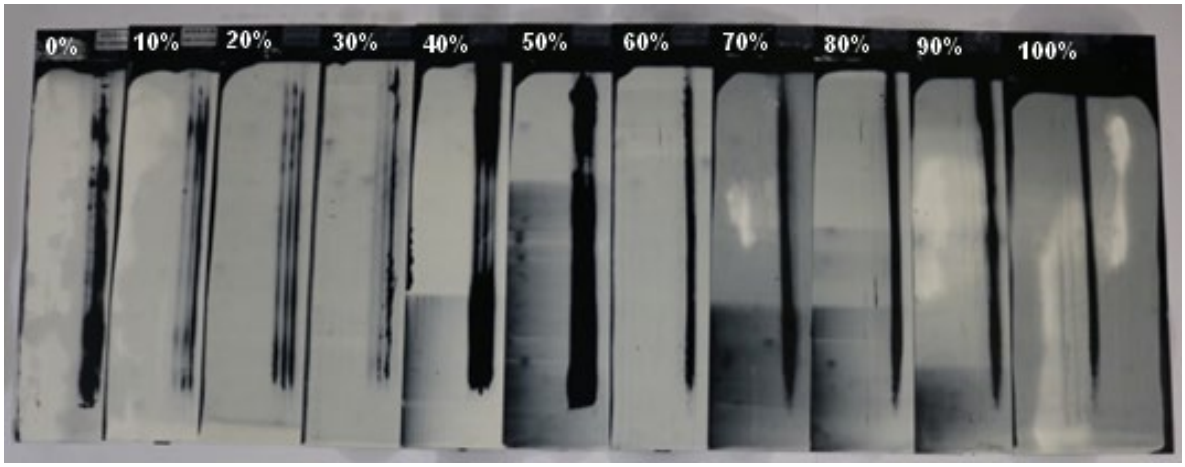
Formulações Econômicas – Teor de substituição de TiO_2 por NFC						
	0%	**10%**	**20%**	**30%**	**40%**	**50%**
Ciclos Médio	194,33	712,00	1073,67	2042,67	4318,67	3875,33
	60%	**70%**	**80%**	**90%**	**100%**	
Ciclos Médio	4013,00	3274,00	3533,67	3603,67	3990,67	

Fonte: Autor.

Já a norma NBR 11702 (ABNT, 2021) determina que as tintas econômicas devem apresentar um resultado no ensaio de abrasão úmida sem pasta abrasiva de, no mínimo, 100 ciclos. Portanto, pode-se afirmar que todas as formulações atendem aos requisitos da norma.

Na Figura 49 pode-se observar as tabelas de PVC depois de serem submetidas ao processo de abrasão.

Figura 49 - Cartelas com tintas econômicas após serem submetidas ao ensaio de abrasão úmida sem pasta abrasiva



Fonte: Autor.

As formulações com NFC em sua composição apresentaram um aumento significativo na quantidade de ciclos neste ensaio, sendo este de aproximadamente 95% quando comparadas as formulações convencionais e com teor de substituição de 100%. Como abordado anteriormente, acredita-se que este fenômeno ocorra graças à alta resistência mecânica das nanofibras e à sua capacidade de transferir

suas características ao material em que é incorporada.

4.5.8 Calcinação

Os resultados obtidos no ensaio de calcinação são exibidos na Tabela 23.

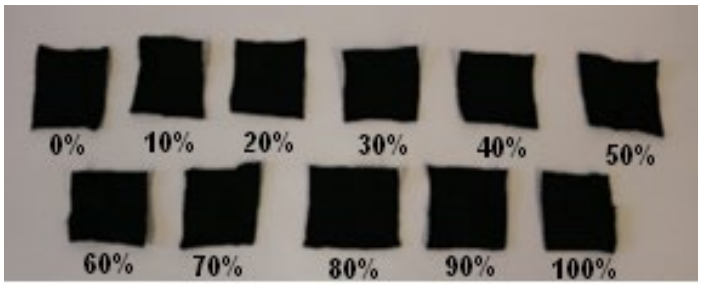
Tabela 23 - Resultados obtidos no ensaio de calcinação

Formulações Econômicas – Teor de substituição de TiO_2 por NFC											
	0%	**10%**	**20%**	**30%**	**40%**	**50%**	**60%**	**70%**	**80%**	**90%**	**100%**
Grau de calcinação	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Formulações *Standard* – Teor de substituição de TiO_2 por NFC											
	0%	**10%**	**20%**	**30%**	**40%**	**50%**	**60%**	**70%**	**80%**	**90%**	**100%**
Grau de calcinação	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Formulações *Premium* – Teor de substituição de TiO_2 por NFC											
	0%	**10%**	**20%**	**30%**	**40%**	**50%**	**60%**	**70%**	**80%**	**90%**	**100%**
Grau de calcinação	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Fonte: Autor.

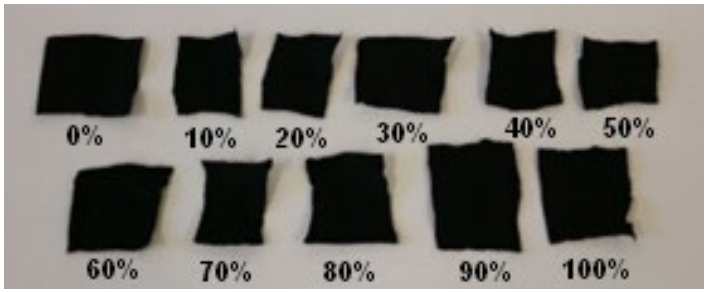
Como observado, nenhuma das formulações apresentou calcinação, apresentando assim como resultado o grau de calcinação 1, de acordo com o estabelecido pela norma utilizada para a realização deste ensaio. Os feltros utilizados neste ensaio, mostrando a ausência de calcinação, podem ser observados nas Figuras 50, 51 e 52.

Figura 50 - Feltros utilizados para a determinação da calcinação das tintas econômicas



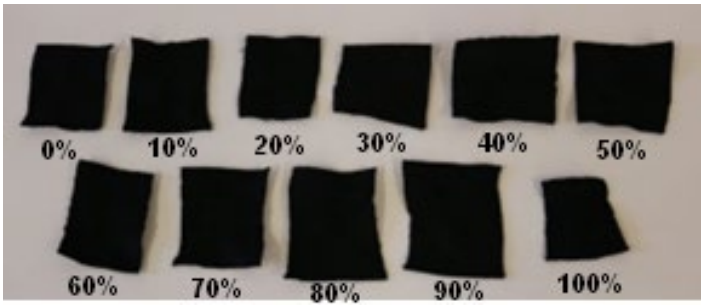
Fonte: Autor.

Figura 51 - Feltros utilizados para a determinação da calcinação das tintas standard



Fonte: Autor.

Figura 52 - Feltros utilizados para a determinação da calcinação das tintas premium



Fonte: Autor.

4.5.9 Empolamento

Os resultados obtidos no ensaio de empolamento são apresentados na Tabela 24.

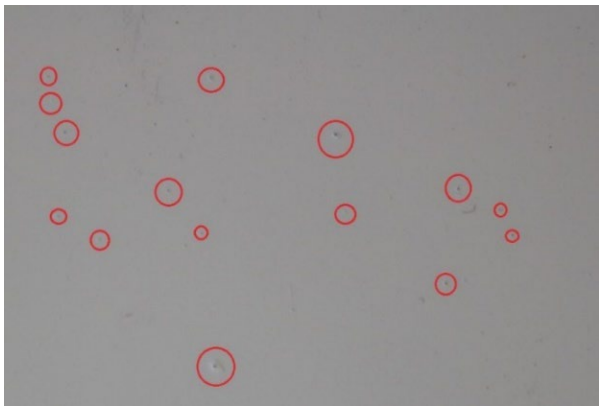
Tabela 24 - Resultados obtidos no ensaio de determinação do empolamento

Formulações Econômicas – Teor de substituição de TiO_2 por NFC											
	0%	**10%**	**20%**	**30%**	**40%**	**50%**	**60%**	**70%**	**80%**	**90%**	**100%**
Tamanho da bolha	T4	Aus.	Aus.	Aus.	Aus.	Aus.	Aus.	Aus.	Aus.	Aus.	Aus.
Densidade	D1										
Formulações *Standard* – Teor de substituição de TiO_2 por NFC											
	0%	**10%**	**20%**	**30%**	**40%**	**50%**	**60%**	**70%**	**80%**	**90%**	**100%**
Tamanho da bolha	Aus.	Aus.	Aus.	Aus.	Aus.	Aus.	T4	T4	T4	T4	T4
Densidade							D2	D1	D1	D2	D1
Formulações *Premium* – Teor de substituição de TiO_2 por NFC											
	0%	**10%**	**20%**	**30%**	**40%**	**50%**	**60%**	**70%**	**80%**	**90%**	**100%**
Tamanho da bolha	T4	T4	T4	T4	T4	T4	T4	Aus.	Aus.	Aus.	Aus.
Densidade	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D2				

Fonte: Autor.

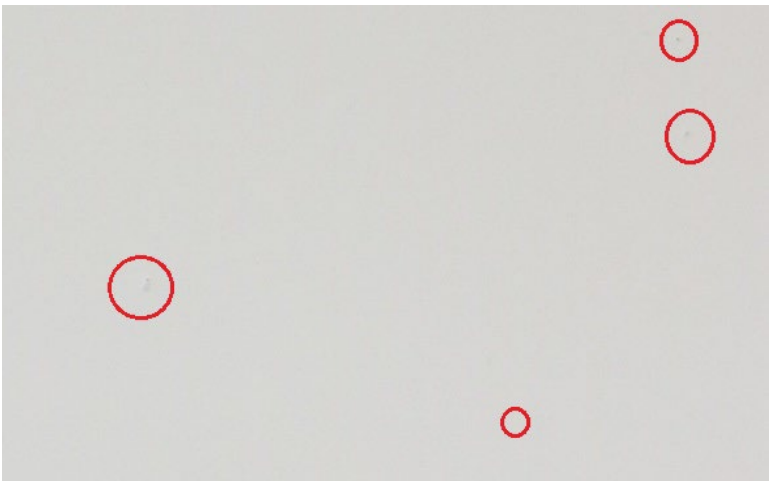
Observa-se que todas as tintas que apresentaram empolamento, possuíam tamanho da bolha T4 e densidade não superior à D2, conforme ilustrado nas Figuras 53, 54 e 55.

Figura 53 - Empolamento apresentado pela formulação econômica convencional



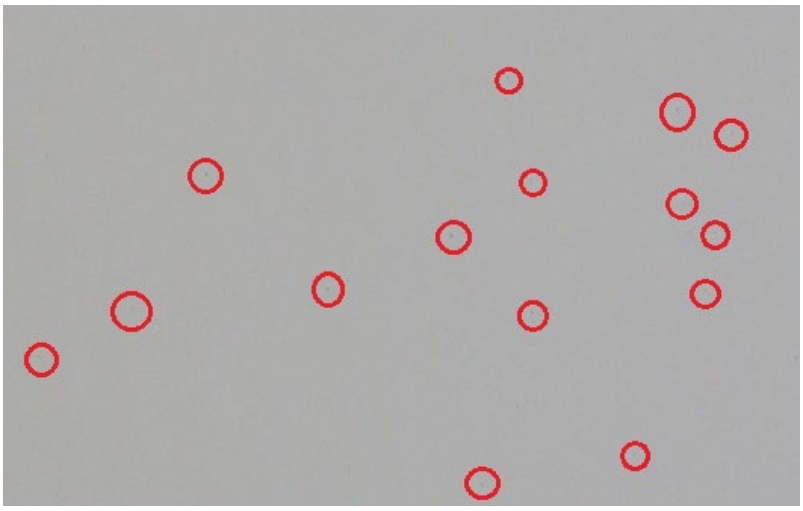
Fonte: Autor.

Figura 54 - Empolamento apresentado pela formulação standard com 70% de NFC na composição



Fonte: Autor.

Figura 55 - Empolamento apresentado pela formulação premium com 30% de NFC na composição



Fonte: Autor.

Pode-se afirmar que, com a adição das NFC na composição das tintas econômicas, houve uma melhoria no grau de empolamento em relação à mistura convencional. O mesmo ocorreu nas tintas *premium*, porém somente a partir de teores de 70% de substituição.

No caso das formulações *standard*, diferentemente das outras qualidades de tinta, a partir do teor de substituição de 60%, verificou-se empolamento.

4.5.10 Craqueamento

Os resultados obtidos no ensaio de craqueamento são apresentados na Tabela 25. Como pode-se observar, com exceção de duas formulações, todas as misturas foram avaliadas e o craqueamento foi ausente.

Tabela 25 – Resultados obtidos no ensaio de determinação do grau de craqueamento

Formulações Econômicas – Teor de substituição de TiO_2 por NFC											
	0%	**10%**	**20%**	**30%**	**40%**	**50%**	**60%**	**70%**	**80%**	**90%**	**100%**
Irregular sem direção preferencial	Aus.	Aus.	Aus.	Aus.	Aus.	Aus.	Aus.	Aus.	Aus.	Aus.	Aus.
Formulações *Standard* – Teor de substituição de TiO_2 por NFC											
	0%	**10%**	**20%**	**30%**	**40%**	**50%**	**60%**	**70%**	**80%**	**90%**	**100%**
Irregular sem direção preferencial	Aus.	Aus.	Aus.	Aus.	Aus.	Aus.	Aus.	Aus.	Aus.	Aus.	Aus.
Formulações *Premium* – Teor de substituição de TiO_2 por NFC											
	0%	**10%**	**20%**	**30%**	**40%**	**50%**	**60%**	**70%**	**80%**	**90%**	**100%**
Irregular sem direção preferencial	I5	I1	Aus.	Aus.	Aus.	Aus.	Aus.	Aus.	Aus.	Aus.	Aus.

Fonte: Autor.

As únicas misturas que apresentaram certo grau de craqueamento, irregular e sem direção preferencial, foram as formulações *premium* convencional e com teor de substituição de 10%. Acredita-se que este fenômeno tenha ocorrido devido à perda de flexibilidade da película e à espessura excessiva desta.

Figura 56 - Craqueamento apresentado na formulação premium convencional

Fonte: Autor.

Acredita-se, portanto, que no caso das tintas de qualidade *premium* a adição das NFC tenha contribuído para evitar o craqueamento, gerando mais flexibilidade para a película.

4.5.11 Porosidade

O ensaio de porosidade proporciona, de maneira indireta, compreender a capacidade de retenção de sujeira e de limpeza das tintas, visto que estas estão diretamente ligadas à permeabilidade da película.

A Tabela 26 sintetiza os resultados obtidos no teste de porosidade. Neste caso, a razão de contraste está inversamente correlacionada à porosidade, ou seja, quanto menor a razão de contraste, maior a porosidade.

Tabela 26 - Resultados obtidos no ensaio de determinação da porosidade

Formulações Econômicas – Teor de substituição de TiO_2 por NFC											
	0%	**10%**	**20%**	**30%**	**40%**	**50%**	**60%**	**70%**	**80%**	**90%**	**100%**
RC Média (%)	29,70	39,99	36,52	32,59	34,94	30,76	30,87	29,84	31,23	33,35	33,85
Formulações *Standard* – Teor de substituição de TiO_2 por NFC											
	0%	**10%**	**20%**	**30%**	**40%**	**50%**	**60%**	**70%**	**80%**	**90%**	**100%**
RC Média (%)	43,14	40,98	37,70	41,60	39,74	38,97	37,04	35,40	33,43	32,89	28,28
Formulações *Premium* – Teor de substituição de TiO_2 por NFC											
	0%	**10%**	**20%**	**30%**	**40%**	**50%**	**60%**	**70%**	**80%**	**90%**	**100%**
RC Média (%)	36,10	49,94	51,20	46,99	50,65	45,89	35,33	42,89	43,83	38,62	32,38

Fonte: Autor.

No caso das formulações econômicas com NFC na composição, a razão de contraste aumentou e, portanto, sabe-se que a porosidade diminuiu. Nas formulações *standard* com substituição, a razão de contraste diminuiu, o que indica que a porosidade aumentou.

Já nas formulações *premium*, ocorreu um aumento da razão de contraste para as misturas com teor de substituição entre 10 e 90%, indicando desta forma, uma

diminuição da porosidade, enquanto a formulação sem pigmento, apresentou uma razão de contraste menor, tendo assim sua porosidade aumentada.

4.5.12 Manchamento

De acordo com a norma seguida para a execução deste ensaio, os resultados deveriam ser avaliados somente em relação à presença ou ausência de manchas, porém como abordado no programa experimental, criou-se uma escala de avaliação das manchas, portanto os resultados sintetizados levando em consideração esta escala, são apresentados na Tabela 27.

Tabela 27 - Resultados obtidos no ensaio de determinação do manchamento

Formulações Econômicas – Teor de substituição de TiO_2 por NFC											
	0%	**10%**	**20%**	**30%**	**40%**	**50%**	**60%**	**70%**	**80%**	**90%**	**100%**
Presença de manchas	I1	I2	I1	I1	I1	I2	I1	I1	I1	I1	I1
Formulações *Standard* – Teor de substituição de TiO_2 por NFC											
	0%	**10%**	**20%**	**30%**	**40%**	**50%**	**60%**	**70%**	**80%**	**90%**	**100%**
Presença de manchas	I1	I2	I1	I1	I1	I1	I1	I2	I1	I1	I2
Formulações *Premium* – Teor de substituição de TiO_2 por NFC											
	0%	**10%**	**20%**	**30%**	**40%**	**50%**	**60%**	**70%**	**80%**	**90%**	**100%**
Presença de manchas	I2	I1	I1	I1	I2	I1	I1	I1	I1	I1	I1

Fonte: Autor.

Todas as formulações apresentaram manchas após a realização do procedimento sugerido pela norma. Utilizando a escala criada, verificou-se que não houve grande escala de manchas (I3), mas somente manchas nas escalas I1 e I2, sendo estas respectivamente, quantidade quase imperceptível de manchas e pequena quantidade de manchas.

4.5.13 Aderência

Os resultados obtidos no ensaio de aderência são apresentados na Tabela 28. A norma utilizada para a realização do ensaio não determina valores de referência para os resultados obtidos.

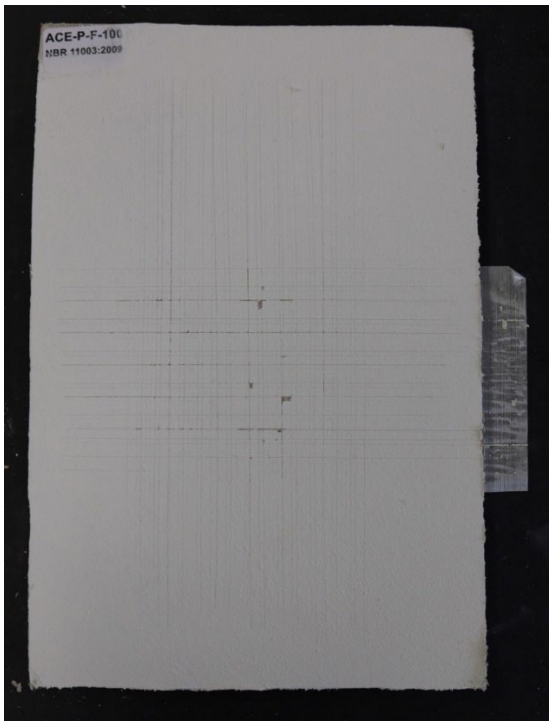
Tabela 28 - Resultados obtidos no ensaio de determinação do grau de aderência

Formulações Econômicas – Teor de substituição de TiO_2 por NFC											
	0%	**10%**	**20%**	**30%**	**40%**	**50%**	**60%**	**70%**	**80%**	**90%**	**100%**
Destacamento	GR3	GR3	GR2	GR2	GR1	GR2	GR2	GR3	GR2	GR2	GR3
Formulações *Standard* – Teor de substituição de TiO_2 por NFC											
	0%	**10%**	**20%**	**30%**	**40%**	**50%**	**60%**	**70%**	**80%**	**90%**	**100%**
Destacamento	GR2	GR4	GR3	GR1	GR1	GR3	GR1	GR3	GR3	GR3	GR3
Formulações *Premium* – Teor de substituição de TiO_2 por NFC											
	0%	**10%**	**20%**	**30%**	**40%**	**50%**	**60%**	**70%**	**80%**	**90%**	**100%**
Destacamento	GR3	GR4	GR4	GR2	GR3	GR3	GR4	GR2	GR1	GR3	GR1

Fonte: Autor.

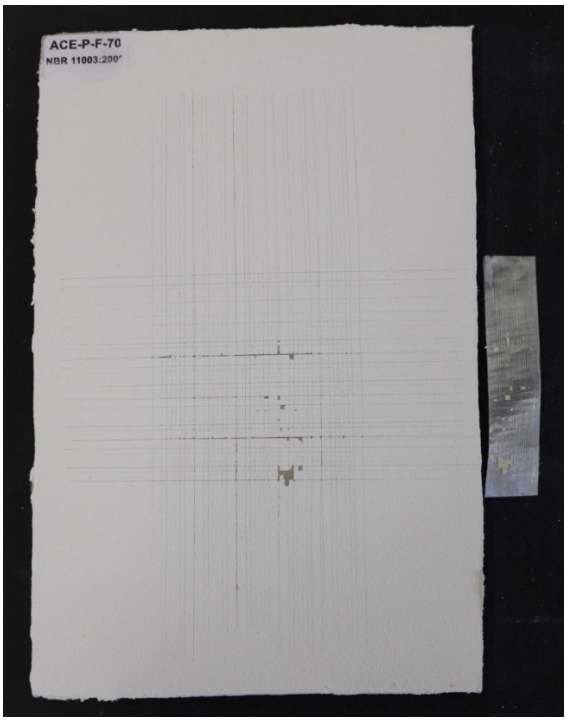
O grau de destacamento pode ser melhor observado nas Figuras 57, 58, 59 e 60.

Figura 57 - Grau de destacamento GR1 apresentado por tinta premium com 100% de NFC em sua composição



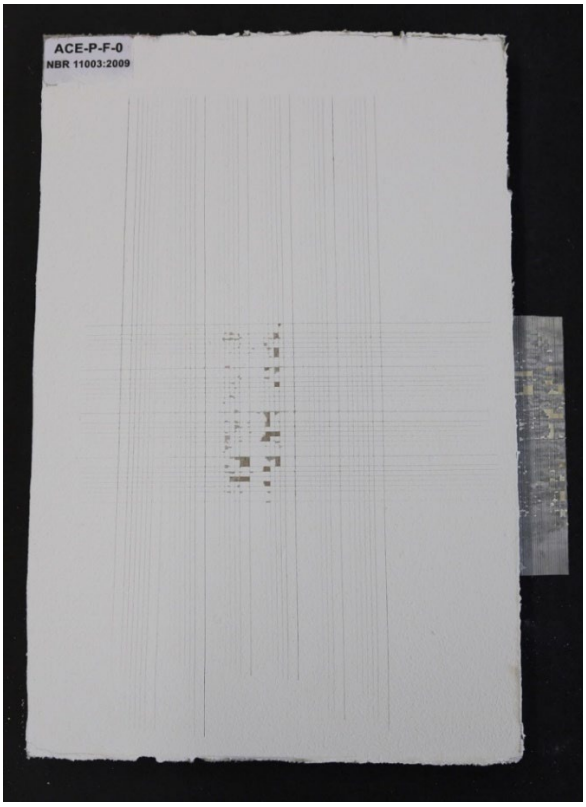
Fonte: Autor.

Figura 58 - Grau de destacamento GR2 apresentado por tinta premium com 70% de NFC em sua composição



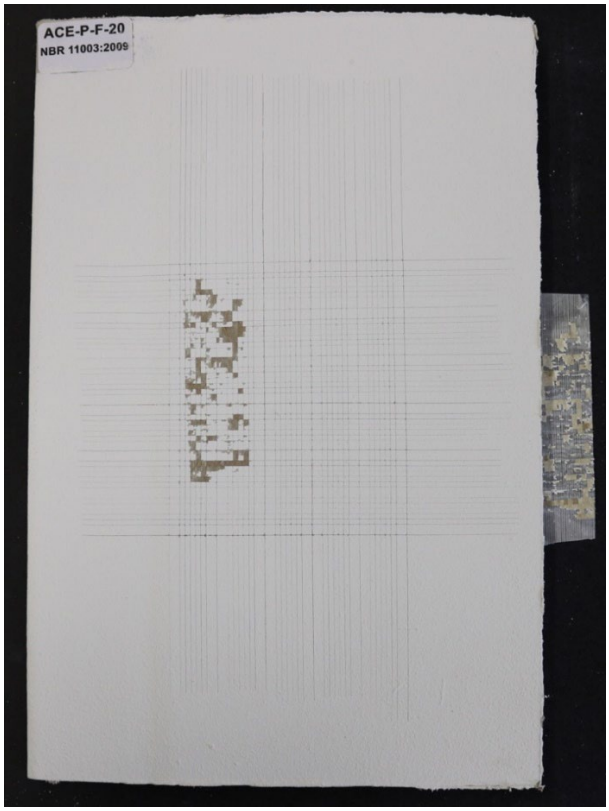
Fonte: Autor.

Figura 59 - Grau de destacamento GR3 apresentado por tinta premium convencional



Fonte: Autor.

Figura 60 - Grau de destacamento GR4 apresentado por tinta premium com 20% de NFC em sua composição



Fonte: Autor.

Neste ensaio, em particular, a influência da adição de nanofibras na composição na melhoria do grau de aderência não pode ser avaliada, visto que os resultados expressos são muito variados e pouco conclusivos.

5 CONCLUSÕES

No presente trabalho, constatou-se a necessidade de estudo sobre a possibilidade de formular, produzir e avaliar o desempenho de tintas imobiliárias, substituindo o pigmento Dióxido de Titânio por nanofibras de celulose. Esta necessidade foi constatada devido aos problemas enfrentados que foram apresentados por profissionais do setor, especialmente da indústria nacional.

Diante do exposto, definiu-se a metodologia de pesquisa, que foi dividida em três etapas. A primeira etapa consistia na pesquisa, necessária para fornecer compreensão técnico científica acerca do tema. Na segunda etapa, realizou-se o programa experimental que, por sua vez, era dividido em duas partes, sendo a primeira a formulação das tintas convencionais e a segunda, a formulação de tintas com substituição do pigmento pelo nanomaterial. Por fim, apresentou-se a etapa de análise de resultados.

Observou-se que as tintas de qualidade econômica com substituição parcial de pigmento por nanofibras de celulose apresentaram melhorias no desempenho em relação à mistura convencional, porém identificou-se como melhor teor de substituição, a mistura com 100% de NFC em sua composição. A total substituição do TiO_2 impactou nas propriedades físicas e químicas e, consequentemente, mecânicas das tintas.

Esta mistura apresentou ganhos no que diz respeito à abrasão úmida com e sem pasta abrasiva, poder de cobertura e, sobretudo, na redução do brilho, tornando-a mais opaca. Com os resultados obtidos, pode-se afirmar que esta formulação, definida como econômica, passa a atender aos requisitos mínimos de desempenho das tintas *standard*, demonstrando assim, um aumento de qualidade.

As tintas de qualidade *standard* por sua vez, quando utilizado o nanomaterial como componente substitutivo em teores igual ou superior a 50%, demonstraram pouca melhoria no desempenho quando comparadas à formulação somente com pigmento. Já aquelas com teores de 30 e 40% de NFC em substituição ao TiO_2 em sua composição, além de apresentarem ganhos em relação a mistura convencional da mesma qualidade, apresentam resultados que atendem aos requisitos mínimos de

desempenho para serem consideradas uma tinta de qualidade superior, ou seja, *premium*.

No caso das tintas *premium*, demonstrou-se que a substituição não é conveniente, especialmente por conta da quantidade de NFC utilizada e nos poucos benefícios de desempenho que a substituição proporcionou.

5.3 Sugestões para trabalhos futuros

Como sugestões para trabalhos futuros, aconselha-se que as tintas econômica e *standard*, com 100%, 30% e 40% de NFC em substituição ao TiO_2, respectivamente, sejam submetidas aos seguintes ensaios:

- NBR 15077:2004 – Tintas para construção civil – Método para avaliação de desempenho de tintas para edificações não industriais - Determinação da cor por medida instrumental

- NBR 15380:2015 – Tintas para construção civil – Método para avaliação de desempenho de tintas para edificações não industriais - Resistência à radiação UV e à condensação de água pelo ensaio acelerado

- NBR 14941:2011 - Tintas para construção civil – Método para avaliação de desempenho de tintas para edificações não industriais – Determinação da resistência de tintas, vernizes e complementos ao crescimento de fungos em placas de Petri sem lixiviação

- NBR 15987:2011 - Tintas para construção civil – Método para avaliação de desempenho de tintas para edificações não industriais – Determinação da resistência de tintas, vernizes e complementos ao crescimento de fungos em placas de Petri com lixiviação

6 REFERÊNCIAS

ABIQUIM – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA QUÍMICA. Desempenho anual da indústria química brasileira. *In*: **A indústria química**. [*S. l.*], 2022. Disponível em: https://abiquim.org.br/industriaQuimica. Acesso em: 4 abr. 2022.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR **15077: Tintas para construção civil – Método para avaliação de desempenho de tintas para edificações não industriais - Determinação da cor por medida instrumental**. Rio de Janeiro, 2014.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15299: Tintas para construção civil – Método para avaliação de desempenho de tintas para edificações não industriais - Determinação do brilho.** Rio de Janeiro, 2015.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7340: Tintas e vernizes – Determinação do teor de substâncias voláteis e não voláteis.** Rio de Janeiro, 1982.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11003 Determinação de aderência.** Rio de Janeiro, 2009.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11702: Tintas para construção civil – Tintas, vernizes, texturas e complementos para edificações não industriais – Classificação e requisitos**. Rio de Janeiro, 2021.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **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, 2018.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14941: Tintas para construção civil – Método para avaliação de desempenho de tintas para edificações não industriais – Determinação da resistência de tintas, vernizes e complementos ao crescimento de fungos em placas de Petri sem lixiviação.** Rio de Janeiro, 2011.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14941: Tintas para construção civil – Método para avaliação de desempenho de tintas para edificações não industriais – Determinação da resistência de tintas, vernizes e complementos ao crescimento de fungos em placas de Petri sem lixiviação.** Rio de Janeiro, 2011.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14942: Tintas para construção civil – Método para avaliação de desempenho de tintas para edificações não industriais - Determinação do poder de cobertura de tinta seca.** Rio de Janeiro, 2016.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14943: Tintas para construção civil – Método para avaliação de desempenho de tintas para edificações não industriais - Determinação do poder de cobertura de tinta úmida.** Rio de Janeiro, 2018.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14944: Tintas para construção civil — Determinação da porosidade em película de tinta para avaliação de desempenho de tintas para edificações não industriais.** Rio de Janeiro, 2017.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14945: Tintas para construção civil - Método comparativo do grau de craqueamento para avaliação do desempenho de tintas para edificações não industriais.** Rio de Janeiro, 2017.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15077: Tintas para construção civil – Método para avaliação de desempenho de tintas para edificações não industriais - Determinação da cor por medida instrumental.** Rio de Janeiro, 2004.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15078: Tintas para construção civil – Método para avaliação de desempenho de tintas para edificações não industriais - Determinação da Resistência à abrasão úmida sem pasta abrasiva.** Rio de Janeiro, 2004.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15079-1: Tintas para construção civil – Requisitos mínimos de desempenho – Parte 1: Tinta látex fosca nas cores claras.** Rio de Janeiro, 2021.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15302: Tintas para construção civil — Método para avaliação de desempenho de tintas para edificações não industriais — Determinação do grau de calcinação.** Rio de Janeiro, 2005.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15304: Tintas para construção civil – Método para avaliação de desempenho de tintas para edificações não industriais - Avaliação de manchamento por água.** Rio de Janeiro, 2005.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15314: Tintas para construção civil – Método para avaliação de desempenho de tintas para edificações não industriais - Determinação do poder de cobertura em película de tinta seca obtida por extensão.** Rio de Janeiro, 2005.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15380: Tintas para construção civil – Método para avaliação de desempenho de tintas para**

edificações não industriais - Resistência à radiação UV e à condensação de água pelo ensaio acelerado. Rio de Janeiro, 2015.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15380: Tintas para construção civil – Método para avaliação de desempenho de tintas para edificações não industriais - Resistência à radiação UV e à condensação de água pelo ensaio acelerado.** Rio de Janeiro, 2015.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15381: Tintas para construção civil – Edificações não industriais - Determinação do grau de empolamento.** Rio de Janeiro, 2006.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15382: Tintas para construção civil - Determinação da massa específica de tintas para edificações não industriais.** Rio de Janeiro, 2017.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15987: Tintas para construção civil – Método para avaliação de desempenho de tintas para edificações não industriais – Determinação da resistência de tintas, vernizes e complementos ao crescimento de fungos em placas de Petri com lixiviação.** Rio de Janeiro, 2011.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15987: Tintas para construção civil – Método para avaliação de desempenho de tintas para edificações não industriais – Determinação da resistência de tintas, vernizes e complementos ao crescimento de fungos em placas de Petri com lixiviação.** Rio de Janeiro, 2011.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16388: Tintas para construção civil – Método de ensaio de tintas para edificações não**

industriais – Determinação do teor de compostos orgânicos voláteis (VOC) por cromatografia e gravimetria. Rio de Janeiro, 2015.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5849: Tintas - Determinação de viscosidade pelo copo Ford.** Rio de Janeiro, 2015.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8621: Tintas – Determinação do volume dos sólidos – Método de ensaio.** Rio de Janeiro, 2014.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9676: Determinação do poder de cobertura (opacidade).** Rio de Janeiro, 2014.

ABRAFATI – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS FABRICANTES DE TINTAS. Dados do setor. *In*: **O setor de tintas no Brasil**. [*S. l.*], 2022. Disponível em: https://abrafati.com.br/o-setor-de-tintas-no-brasil/. Acesso em: 4 abr. 2022.

ALÉN, R. **Structure and chemical composition of wood.** In *Forest Products Chemistry*, Edited by: Gullichsen, J., Paulapuro, H. and Stenius, P. 11–57. Fapet, Jyväskylä. Finland: Papermaking Science and Technology 3. 2000.

ANGHINETTI, I. **Tintas, suas propriedades e aplicações imobiliárias.** Belo Horizonte: UFMG, 2012. Monografia (Graduação Em Engenharia Civil) Curso De Especialização Em Construção Civil, Universidade Federal De Minas Gerais, 2012.

BATISTA, Andre Ulisses Dantas. **Hardness and bond strength of soft denture liners processed against various acrylic resins by different curing cycles.** 2003. 165 p. Dissertação (Mestrado em Prótese) - Universidade Estadual Paulista, Araraquara, 2003.

BOTELHO, E. C.; REZENDE, M. C.; SCHERBAKOFF, N. **Rheological studies applied in the processing and characterization of carbon/carbon composites**. Journal of Advanced Materials, v. 33, n. 4, p. 44-51, 2001.

BRINCHI, L. **Production of nanocrystalline cellulose from lignocellulosic biomass: Technology and Application.** Carbohydrate Polymers, v. 94, p. 154-169, 2013.

CADIOLI, Luiz Paulo; SALLA, Luzia Dizulina. Nanotecnologia: um estudo sobre seu histórico, definição e principais aplicações desta inovadora tecnologia. **Revista de Ciências Exatas e Tecnologia**, [*S. l.*], n. 1, p. 98-105, 13 jul. 2015.

CARVALHO, Suzana; NOGUEIRA, Jose Luis. As características das tintas e as características dos polímeros com que são formuladas. **Química e Indústria**, [*S. l.*], n. 95, p. 24-30, 2005.

CASTRO, Carmen Dias. **Estudo da influência das propriedades de diferentes cargas minerais no poder de cobertura de um filme de tinta**. Porto Alegre, 2009. 157 f. Tese (Doutorado Em Engenharia Civil) - Escola De Engenharia, Universidade Federal Do Rio Grande Do Sul, Porto Alegre, 2009.

CBIC – CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. Banco de dados. *In*: **Economia**. [*S. l.*], 2022. Disponível em: http://www.cbicdados.com.br/home/. Acesso em: 1 abr. 2022.

CHAKER, Ashraf; PERE, Mutjé; REI VILAR, Manuel; ALILA, Sabrine. Key role of the hemicellulose content and the cell morphology on the nanofibrillation effectiveness of cellulose pulps. **Cellulose**, [*s. l.*], ed. 20, 2013.

CORRÊA, Ana Carolina. **Preparação de nanofibras de celulose a partir de fibras de curauá para desenvolvimento de nanocompósitos poliméricos com EVA**. 2010. 153 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Materiais) - Universidade Federal de São Carlos, [*S. l.*], 2010.

CUNHA, Andreza de Oliveira. **O estudo da tinta/textura como revestimento externo em substrato de argamassa.** 2011. 129 f. Monografia (Especialização) - Curso De Especialização Em Construção Civil, Engenharia De Materiais E Construção, Universidade Federal De Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

DINIZ, F. D.; FAZENDA, J. M. R. **Tintas**: Ciência e Tecnologia. 4. ed. rev. [*S. l.*]: Blucher, 2009. 1146 p. ISBN 9788521204749.

DORNELLES, Kelen Almeida. **Absortância solar de superfícies opacas: métodos de determinação e base de dados para tintas látex acrílica e pva.** 2008. 152 p**.** Tese de Doutorado - Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo Campinas, São Paulo. 2008.

DURAN, N.; MARCATO, P. D.; TEIXEIRA, Z. Nanotecnologia e nanobiotecnologia: conceitos básicos. **Notas de estudo de Engenharia de Produção**, São Paulo, p. 1, 2010. Disponível em: https://www.docsity.com/pt/nanotecnologia-e-nanobiotecnologia/4714811/. Acesso em: 15 mar. 2022.

EICHHORN S. J., DUFRESNE A., ARANGUREN M., MARCOVICH N. E., CAPADONA J. R., ROWAN S. J., WEDER C., THIELEMANS W., ROMAN M., RENNECKAR S., GINDL W., VEIGEL S., KECKES J., YANO H., ABE K., NOGI M., NAKAGAITO A. N., MANGALAM A., SIMONSEN J., BENIGHT A. S., BISMARCK A., BERGLUNG L. A., PEIJS T., **Review: current international research into cellulose nanofibres and nanocomposites.** Journal Of Materials Science. 45:1-10. 2010.

FAZANO, C. T. V. **Tintas – Métodos de controle de pinturas e superfícies.** São Paulo: Hemus Editora Limitada, 1995, 321p.

FENGEL, D.; WEGENER, G. **Wood: Chemistry, ultrastructure, reactions.** BERLIN: WALTER DE GRUYTER, 1989. 613 P.

FERNÁNDEZ, Lucía. **Paint and coatings industry worldwide- statistics & facts**. [*S. l.*], 7 set. 2021. Disponível em: https://www.statista.com/topics/4755/paint-and-coatings-industry/#topicHeader__wrapper. Acesso em: 10 abr. 2022.

FITZHUGH, Elisabeth West. Pigments. *In*: **ARTISTS' Pigments. A Handbook of Their History and Characteristics**. 1. ed. Washington: National Gallery of Art, 1997. v. 3, p. 295-355. ISBN 0894682563.

GENTIL, V. **Corrosão**. 3. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1996. 345 p.
JOURNAL CITATION REPORTS. Materials Science: Multidisciplinary. *In*: **Nanoscience & Nanotechnology**. [*S. l.*], 2019. Disponível em: https://www.mdpi.com/about/announcements/1586. Acesso em: 14 mar. 2022.

GUÍO, Lyda Milena Patiño. **Compostos orgânicos voláteis em tintas imobiliárias: caracterização e efeitos sobre a qualidade do ar em ambientes internos construídos**. 2013. 189 p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade de São Paulo, [*S. l.*], 2013.

IHS MARKIT. Paint and Coatings Industry Overview. *In*: **Chemical Economics Handbook**. [*S. l.*], jun 2022. Disponível em: https://ihsmarkit.com/products/paint-and-coatings-industry-chemical-economics-handbook.html. Acesso em: 14 mar. 2022.

KLEMM, D. **Nanocelluloses: A New Family of Nature-Based Material.** Angewandte Chemie, v. 50, p. 5438-5466, 2011.

MACHADO, A. E. H.; SANTOS, L. M.; BORGES, K. A.; BATISTA, P. S.; PAIVA, V. A. B.; MÜLLER JR., P. S.; OLIVEIRA, D. F. M.; FRANÇA, M. D. **Potential applications for solar photocatalysis: from environmental remediation to energy conversion.** In: BABATUNDE, E. B. (Ed). Solar Radiation. Rijeka: InTech, 2012. p.339 - 378.

MARQUES, M. I. E.; RODRIGUES, M. P. **Tintas, vernizes e revestimentos por pintura para a construção civil.** Lisboa: LNEC, 2000.

MILANEZ, D. H. et al. **Prospecção tecnológica sobre nanocelulose aplicada a materiais.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS, 21°.Cuiabá, 2013.

MINDAT. Glossary. *In*: **Definition of titanium dioxide**. [*S. l.*], 2022. Disponível em: https://www.mindat.org/glossary/titanium_dioxide. Acesso em: 2 mar. 2022.

MORAIS, Jorge Fernandes de. **APLICAÇÕES DA NANOTECNOLOGIA NA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO: Análise Experimental em Produtos Cimentícios com Nanotubos de Carbono**. 2012. 187 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil, área de concentração: Tecnologia da Construção) - Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ, 2012.

MUTUMA, B. K.; SHAO, G. N.; KIM, W. D.; KIM, H. T. **Sol-gel synthesis of mesoporous anatase-brookite and anatase-brookite-rutile TiO2 nanoparticles and their photocatalytic properties.** Journal of Colloid and Interface Science, v. 442, p. 1-7, 2015.

OLIVEIRA, P. L; COSTA, A.C.F.M; OLIVEIRA, P. L. Análise de difração de raios X do Dióxido de Titânio (TiO2) sintetizado pelo método Pechini para aplicação em processos de fotocatálise heterogênea. **22º CBECiMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais**, Natal, RN, Brasil, 10 p., 2016.

ORENDORZ, A.; BRODYANSKI, A.; LOSCH, J.; BAI, L. H.; CHEN, Z. H.; LE, Y. K.; ZIEGLER, C.; GNASER, H. **Phase transformation and particle growth in nanocrystalline anatase TiO2 films analysed by X-ray diffraction and Raman spectroscopy.** Surface Science, v. 601, p. 4390-4394, 2007.

PACHECO-TORGAL, F.; JALALIB, Said. Nanotechnology: Advantages and drawbacks in the field of construction and building materials. **Construction and Building Materials**, [*S. l.*], v. 25, p. 582-590, 2011.

POCHTECA COREMAL. Dióxido de Titânio. *In*: **Químicos**. [*S. l.*], 2021. Disponível em: https://brasil.pochteca.net/dioxido-de-titanio/. Acesso em: 14 jan. 2022.

POLITO, Giulliano. **Corrosão em estruturas de concreto armado: causas, mecanismos, prevenção e recuperação**. 2006. 191 p. Trabalho de conclusão de curso (Especialização em avaliação e perícia.) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.

RANIERO, Leandro; FORTUNATO, Elvira. **As metas da nanotecnologia: aplicações e implicações.** Centro de Investigação de Materiais, Departamento de Ciências dos Materiais, Universidade Nova de Lisboa - FCT, 2005.

ROSA, M. F.; MEDEIROS, E. S.; MALMONGED, J. A.; GREGORSKIB, K. S.; WOOD, D. F.; MATTOSO, L. H. C.; GLENN, G.; ORTS, W. J.; IMAM, S. H. Cellulose Nanowhiskers from Coconut Husk Fibers: Effect of Preparation Conditions on Their Thermal and Morphological Behavior. **Carbohydrate Polymers**, [*S. l.*], p. 83-92, 23 maio 2010.

ROWELL, R. M.; PETTERSEN, R.; HAN, J. S.; ROWELL, J. S.; TSHABALALA, M.A. **Cell wall chemistry.** IN: ROWELL, R.M. (ED), HANDBOOK OF WOOD CHEMISTRY AND WOOD COMPOSITES. BOCA RATON: CRC PRESS, P. 35-72, 2005.

SÁ, Nádia Maria dos Santos Matos. **Utilização da fibra poda do cajueiro como fonte de lignina e nanocristais de celulose para a incorporação em filmes de celulose bacteriana**. 2020. 117 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Universidade Federal do Ceará, [*S. l.*], 2020.

SANTOS, Lidiaine Maria dos. **Síntese e caracterização de TiO2 com modificações superficiais para aplicação em fotocatálise heterogênea.** 2017. 135 f. Tese (Doutorado em Química) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2017.

SARON, C.; FELISBERTI, M.I. Ação de colorantes na degradação e estabilização de polímeros. **Química Nova**, [*S. l.*], p. 124-128, 2006.

SEHAQUI H., ALLAIS M., ZHOU Q., BERGLUND L. A., **Wood cellulose biocomposites with fibrous structures at micro- and nanoscale.** Composites Science and Technology. 71:382-387. 2011.

SICHIERI, E.P.; SALADO G.C., **Materiais para Construção VI (Tintas para a Construção Civil).** Apostila Grupo ArqTeMa – Arquitetura, Tecnologia e Materiais. Universidade de São Paulo. EESC. Departamento de Arquitetura e Urbanismo. São Carlos. Brasil. 2007.

SILVA, C. D. G. **Nanotecnologia – manipulando a matéria na escala atômica.** Ciência Hoje, Rio de Janeiro, nº 206, p. 43-47, 2004.

SILVA, D. J.; D'ALMEIDA, M. L. O. **Nanocristais de celulose.** O Papel, v. 70, n. 7, p. 34-52, 2009.

SILVA, Josias Marcelino da. **Caracterização de tintas látex para a construção civil: diagnóstico do mercado do estado de São Paulo.** 2005. 199 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade de São Paulo, São Paulo. 2005.

TESIS - TECNOLOGIA E QUALIDADE DE SISTEMAS EM ENGENHARIA. Resumo executivo do relatório setorial n. 74. *In*: **programa setorial da qualidade de tintas imobiliárias**. [*S. l.*], 2022. Disponível em: https://www.tintadequalidade.com.br/files/RS074A.pdf. Acesso em: 20 abr. 2022.

TOISAWA, Kenta; SASAKI, Rei. Characterization of Water-Based Paint and Coating Film with Cellulose Nanofiber. **Journal of The Surface Finishing Society of Japan**, [*S. l.*], n. 71, p. 371-375, maio 2020.

UEMOTO, Kay Loh, SILVA, Josias Marcelino da. **Caracterização de tintas látex para construção civil: diagnóstico do mercado do estado de São Paulo.** Boletim Técnico. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2005.

UGALDE, Laura. **Os impactos da pandemia no mercado de Tintas e Adesivos e as perspectivas para 2021**. [*S. l.*], 15 dez. 2020. Disponível em: https://www.gtmchemicals.com/detalhe-noticia/impactos-pandemia-mercado-tintas-adesivos-perspectivas-2021. Acesso em: 13 mar. 2022.