

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

FERNANDA CARDOSO DE FARIA

TINTAS NATURAIS ELABORADAS COM PIGMENTOS VEGETAIS PARA A  
CONSTRUÇÃO CIVIL: AVALIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS,  
DESEMPENHO E FORMULAÇÃO

CURITIBA

2023

FERNANDA CARDOSO DE FARIA

TINTAS NATURAIS ELABORADAS COM PIGMENTOS VEGETAIS PARA A  
CONSTRUÇÃO CIVIL: AVALIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS,  
DESEMPENHO E FORMULAÇÃO

Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, na Área de concentração Sustentabilidade no Ambiente Construído, Setor de Tecnologia, da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de doutor em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Aloísio Leoni Schmid

CURITIBA

2023

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP)  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
SISTEMA DE BIBLIOTECAS – BIBLIOTECA CIÊNCIA E TECNOLOGIA

Faria, Fernanda Cardoso.

Tintas naturais elaboradas com pigmentos vegetais para a construção civil : avaliação das características, desempenho e formulação. / Fernanda Cardoso Faria. – Curitiba, 2023.

1 recurso on-line : PDF.

Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Aloísio Leoni Schmid.

1. Engenharia civil. 2. Tintas. 3. Pigmentos. 4. Indústria. I. Schmid, Aloísio Leoni. II. Universidade Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. III. Título.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
SETOR DE TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO ENGENHARIA CIVIL -  
40001016049P2

## TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação ENGENHARIA CIVIL da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da tese de Doutorado de **FERNANDA CARDOSO DE FARIA** intitulada: **Tintas naturais elaboradas com pigmentos vegetais para a construção civil: avaliação das características, desempenho e formulação**, sob orientação do Prof. Dr. ALOÍSIO LEONI SCHMID, que após terem inquirido a aluna e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de doutora está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 27 de Fevereiro de 2023.

Assinatura Eletrônica

28/02/2023 14:51:36.0

ALOÍSIO LEONI SCHMID

Presidente da Banca Examinadora

Assinatura Eletrônica

28/02/2023 18:18:30.0

CRISTINA ENGEL DE ALVAREZ

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO)

ANOR FIORINI DE CARVALHO

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA)

Assinatura Eletrônica

28/02/2023 12:12:56.0

Assinatura Eletrônica

02/03/2023 14:04:43.0

MARIENNE DO ROCIO DE MELLO MARON DA COSTA

Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

---

Centro Politécnico - CURITIBA - Paraná - Brasil

CEP 81531-980 - Tel: (41) 3361-3110 - E-mail: ppgecc@ufpr.br

Documento assinado eletronicamente de acordo com o disposto na legislação federal Decreto 8539 de 08 de outubro de 2015.

Gerado e autenticado pelo SIGA-UFPR, com a seguinte identificação única: 259694

**Para autenticar este documento/assinatura, acesse <https://www.prrpg.ufpr.br/siga/visitante/autenticacaoassinaturas.jsp> e insira o código 259694**

## AGRADECIMENTOS

Ao professor Dr. Aloísio Leoni Schmid pela orientação, atenção, paciência e dedicação durante esses anos de pesquisa sobre as tintas naturais, no Mestrado estudando os pigmentos minerais, e no Doutorado, pesquisando os pigmentos vegetais para a construção civil.

Ao meu companheiro, Thiago M. Ribeiro, e aos meus pais, Ivonete C. da Silva e João Wagner de Faria, pela compreensão, apoio e paciência durante minha trajetória.

À minha filha Maria Flor C. Ribeiro, e ao meu filho Ian C. Ribeiro, nascido durante o desenvolvimento da presente pesquisa, por representarem a motivação necessária para me fortalecer durante esses anos conciliando o trabalho acadêmico e a dedicação com a maternidade.

À minha família, pelo incentivo, apoio e pela ajuda com meus filhos, possibilitando a realização de todas as etapas necessárias para a conclusão da presente pesquisa.

Aos meus amigos, mestres, mentores, guias e protetores, e ao Instituto Cacique Pena Branca, por toda a motivação e orientação ao longo desses anos.

Aos artesãos, pintores, pesquisadores e artistas plásticos que contribuíram com as informações sobre as tintas com pigmentos naturais: Marcela da Terra, Marion Rupp, Emily Freitas, Elton Hipólito, Jhon Bermond e ao Terra Coletiva.

Aos técnicos do laboratório LACTEC pela atenção e solicitude durante a etapa experimental da pesquisa, e ao departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal do Paraná.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

## RESUMO

Os impactos negativos das tintas imobiliárias estão presentes desde o processo de fabricação na indústria até o seu destino final. Várias das tintas convencionais liberam compostos orgânicos voláteis nos ambientes, devido à sua composição por substâncias químicas nocivas à saúde humana e ao meio ambiente. Ressalta-se a importância no resgate às técnicas vernaculares como alternativa ecológica e econômica para solucionar este panorama. A presente pesquisa de doutorado apresenta uma tecnologia social na área das tintas imobiliárias, através da abordagem das técnicas para elaboração de tintas com pigmentos de origem vegetal; dos processos para extração dos pigmentos com base em revisão bibliográfica; e dos possíveis aditivos naturais que melhoram a estabilidade de cor através de experiências de artesãos e artistas que trabalham com tintas vegetais. através de experiências de artesãos e artistas que trabalham com tintas vegetais. A partir dos dados coletados, foram elaboradas misturas de tintas com pigmentos vegetais e ensaios de resistência à abrasão, resistência ao intemperismo acelerado para simular seu comportamento em ambiente externo, resistência ao intemperismo natural para analisar seu comportamento em ambiente interno, e foram avaliadas suas características físicas como pH, densidade e viscosidade, a fim de comparar os resultados com uma tinta industrializada comumente utilizada em pinturas imobiliárias. Através do método estatístico de delineamento experimental de modelagem de misturas, a pesquisa apresenta a formulação de uma receita de tinta com pigmento curcumina, extraído da raiz do açafrão-da-terra (*Curcuma longa L.*), considerada de bom desempenho segundo a norma técnica. Os resultados comprovaram que os pigmentos vegetais, além de proporcionarem coloração às misturas de tinta e proteção ao agente aglutinante, também influenciam diretamente na viscosidade e na resistência à abrasão, e o ensaio de intemperismo natural comprovou a viabilidade no uso de tintas elaboradas com pigmentos vegetais em ambientes internos de edificações. Através destes resultados satisfatórios, a presente tese de doutorado pretende alavancar as pesquisas sobre o uso de pigmentos vegetais na construção civil.

Palavras-chave: Tintas naturais, pigmentos vegetais, ensaios de resistência.

## ABSTRACT

*The negative impacts of architectural paints are present from the manufacturing process in the industry to its final destination. Several of the conventional paints release volatile organic compounds into the environment, due to their composition of chemical substances that are harmful to human health and the environment. Therefore, rescuing vernacular techniques is an ecological and economic alternative to solve this scenario. The present doctoral research presents a social technology in the area of architectural paints, through the approach of techniques for the elaboration of paints with pigments of vegetal origin; processes for extracting pigments based on a bibliographical review; and possible natural additives that improve color stability through the experiences of craftsmen and artists who work with vegetable paints. From the collected data, mixtures of paints with vegetable pigments were prepared and tests were carried out on resistance to abrasion, resistance to accelerated weathering to simulate their behavior in an external environment, resistance to natural weathering to analyze their behavior in an indoor environment, and were evaluated their characteristics of physical properties such as pH, density and viscosity, in order to compare the results with an industrialized paint commonly used in buildings. Through the statistical method of experimental design of mixture modeling, the research also presents the formulation of a paint recipe with curcumin pigment, extracted from the turmeric root (*Curcuma longa* L.), considered of good performance according to the technical standards. The results proved that the vegetable pigments, in addition to providing color to the paint mixtures and protection to the binding agent, also directly influence the viscosity and resistance to abrasion, and the natural weathering test proved the viability of using paints made with vegetable pigments in indoor environments of buildings. Through these satisfactory results, this doctoral thesis intends to leverage research on the use of vegetable pigments in civil construction.*

*Keywords: Natural paints, vegetable pigments, resistance tests.*

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mineral semiprecioso lápis-lazúli.....	27
Figura 2 – Afrescos em paredes internas na Capela dos Scrovegni, Itália.....	28
Figura 3 – Pinturas em interior de caverna nas Grutas de Mogao, China.....	28
Figura 4 – Desenho botânico da planta <i>Indigofera tinctoria</i> .....	29
Figura 5 – Blocos de índigo dispostos para a secagem.....	30
Figura 6 – Pintura mural em Bonampak, México.....	30
Figura 7 – Decoração com “azul maya” em parede colonial do séc. XVI, no Convento Oaxtepec (México).....	31
Figura 8 – Sepulturas decoradas na Necrópole de Tarquinia, Itália (a), e avaliação dos pigmentos com equipamento (b).....	32
Figura 9 – Pintura mural em parede interna do convento Saint-Jean-l’Évangéliste de Trizay, França.....	32
Figura 10 – Residência de pau-a-pique pintada com a técnica do “barreado”.....	34
Figura 11 - Aplicações de <i>patachitras</i> em paredes externas de residências rurais no leste da Índia.....	35
Figura 12 – Representação dos modelos de misturas binário (a), ternário (b) e quaternário (c).....	40
Figura 13 – Diagrama <i>simplex</i> .....	41
Figura 14 – Seis vértices extremos do espaço de uma mistura hipotética em um delineamento de mistura.....	42
Figura 15 – Pintura mural elaborado durante a 25ª edição do Festival de Inverno em Antonina-PR.....	45
Figura 16 – Pintura mural elaborada por Elton Hipólito.....	46
Figura 17 – Bloco de argila (a) e diferentes cores de pigmento mineral (b).....	50
Figura 18 – Diferentes tons de tintas minerais aplicadas em paredes externas em Pontal do Sul – PR.....	53
Figura 19 – Pintura de paredes externas em Colombo – PR (a) e parede interna em São Bernardo do Campo – SP (b).....	54
Figura 20 – Molécula de betanina transformando-se em <i>BeetBlue</i> .....	60
Figura 21 – Processo de obtenção do pigmento de urucum pela tribo Xavantes (a) e etapa de cozimento (b).....	64

Figura 22 – Obtenção do <i>wedenhôrôtó</i> (a) e secagem do urucum cozido (b).....	64
Figura 23 – Processo de elaboração do aglutinante de goma do cacto palma....	68
Figura 24 - Aglutinantes de caule de bananeira (a) e goma de babosa (b).....	69
Figura 25 – Elaboração da goma de polvilho.....	70
Figura 26 – Uso do <i>kakishibu</i> para impermeabilização de madeira.....	74
Figura 27 – Processos de elaboração mecânica de <i>kakishibu</i> .....	77
Figura 28 – Processo de elaboração artesanal do <i>kakishibu</i> por Marion Rupp...77	
Figura 29 – Tingimento de tecidos com <i>kakishibu</i> por Marion Rupp.....	78
Figura 30 – Paredes internas pintadas com argila, spirulina e açafraão-da-terra.84	
Figura 31 – Tonalidades de tintas vegetais elaboradas por La Pastina.....	85
Figura 32 – <i>Xilogravura</i> elaborada com borra de café, espinafre e urucum.....	86
Figura 33 – Teste de solubilidade da bixina elaborado por Vanuchi (2019).....	86
Figura 34 – Urucum em pó (a) e sementes <i>in natura</i> (b) imersas em acetona....	87
Figura 35 – Sementes de urucum <i>in natura</i> dissolvidas em óleo de copaíba.....	87
Figura 36 – Processo de extração da bixina elaborado por Ferreira (2005).....	89
Figura 37 – Etapas do processo de elaboração das lacas e aplicações.....	91
Figura 38 – Tinta de lápis-lazúli elaborada por Emily Freitas.....	91
Figura 39 – Aplicação de tintas naturais elaboradas por Marcela da Terra.....	92
Figura 40 – Pintura de parede interna (a) e externa (b) em Guarulhos – SP.....	92
Figura 41 – Pintura de paredes internas em Guarulhos -SP.....	93
Figura 42 – Tinta elaborada com pigmento clorofila.....	94
Figura 43 – Pigmentos vegetais.....	96
Figura 44 – Extração do pigmento bixina em etanol (a) e água (b).....	97
Figura 45 – Extração do pigmento curcumina em etanol (a) e água (b).....	97
Figura 46 – Extração do pigmento bixina de sementes de urucum <i>in natura</i> em etanol.....	98
Figura 47 – Extração do pigmento de celulose carbonizada.....	98
Figura 48 – Goma de linhaça marrom.....	100
Figura 49 – Alúmen de potássio (a) e <i>kakishibu</i> (b).....	101
Figura 50 – Corpos de prova de argamassa.....	105
Figura 51 – Tintas 1 a 14 recém aplicadas para o ensaio de intemperismo natural.....	108
Figura 52 – Equipamentos luminômetro (a) luxímetro (b).....	109

Figura 53 – CPs com as misturas de tinta 1 a 14 recém aplicadas para o ensaio de intemperismo acelerado.....	110
Figura 54 – Câmara de radiação ultravioleta QUV.....	111
Figura 55 – Aplicação das 36 misturas de tinta com pigmento curcumina em substrato de argamassa.....	115
Figura 56 – Mistura 2 aplicada no substrato (a) e após os ciclos de escovação (b).....	116
Figura 57 – Tintas 1 a 14 após o ensaio de intemperismo natural.....	119
Figura 58 – Tintas T1 a T14 após o ensaio de intemperismo acelerado.....	121
Figura 59 – Conjunto de gráficos componente x variável resposta.....	125
Figura 60 – Ajuste do modelo para cada componente.....	128
Figura 61 – Processo de otimização dos componentes x variáveis resposta....	128
Figura 62 – Tintas elaboradas para a pintura artística em Guarulhos-SP.....	154
Figura 63 – Mandala pintada com as tintas vegetais (a) em parede interna de uma edificação (b) em Guarulhos-SP.....	155
Figura 64 – Identificação das tintas naturais na mandala.....	156
Figura 65 – Diferença de cor entre TN1 e TN2.....	159
Figura 66 – Floculação do pigmento bixina em TN7.....	159
Figura 67 – Preparação da parede externa no <i>workshop</i> em Guarulhos – SP..	165
Figura 68 – Preparo das sementes de urucum (a) e da tinta de cacau (b).....	166
Figura 69 - Elaboração da tinta de argila amarela (a) e preparo da tinta de cúrcuma com misturador elétrico (b).....	166
Figura 70 - Aplicação das tintas na parede externa (a) e parede externa com a pintura finalizada (b).....	167

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Principais pigmentos vegetais, origem e processos de extração.....	56
Tabela 2 - Quantidades dos insumos utilizados na elaboração das misturas...	102
Tabela 3 - Limites mínimos e máximos de cada componente na mistura.....	113
Tabela 4 – Misturas geradas pelo <i>software</i> Minitab 20.4.....	114
Tabela 5 – Resultados de densidade, temperatura, pH, viscosidade e RAU das misturas de tinta 1 a 14.....	117
Tabela 6 – Rendimento e custo/litro das misturas de tinta 1 a 14.....	118
Tabela 7 – Resultados de luminância (L) e refletância ( $\rho$ ) das misturas de tinta 1 a 14 durante o ensaio de resistência ao intemperismo natural.....	120
Tabela 8 – Resultados de luminância (L) e refletância ( $\rho$ ) das misturas de tinta 1 a 14 durante o ensaio de resistência ao intemperismo acelerado.....	121
Tabela 9 – Densidade, temperatura e variáveis resposta.....	123
Tabela 10 - Equações de regressão para as variáveis respostas.....	126
Tabela 11 - Parâmetros estabelecidos para otimização.....	127
Tabela 12 - Respostas previstas e solução global.....	129
Tabela 13 – Rendimento e custo/litro das misturas C1 a C36.....	129
Tabela 14 – Quantidade dos insumos nas tintas TN1 a TN20.....	154
Tabela 15 – Resultados das características físicas das tintas TN1 a TN20.....	162
Tabela 16 - Resultados de luminância (L) e refletância ( $\rho$ ) das misturas de tinta TN1 a TN20 durante o ensaio de resistência ao intemperismo natural.....	163
Tabela 17 – Insumos utilizados na oficina em Guarulhos – SP.....	167
Tabela 18 – Características das tintas elaboradas na em Guarulhos-SP.....	168
Tabela 19 – Resumo do experimento.....	170
Tabela 20 – Parâmetros para otimização de resposta.....	170
Tabela 21 – Solução global (S.G.).....	170
Tabela 22 – Respostas previstas.....	170
Tabela 23 – Número de limites para cada dimensão.....	171
Tabela 24 – Número de pontos de experimento para cada tipo.....	171
Tabela 25 - Coeficientes de regressão estimados para pH.....	171
Tabela 26 – Sumário do modelo.....	172
Tabela 27 - Análise de variância para pH (pseudocomponentes).....	172

Tabela 28 - Coeficientes de regressão estimados para pH (proporções de componentes).....	172
Tabela 29 – Índices ajustados e diagnósticos para observações atípicas.....	173
Tabela 30 - Coeficientes de regressão estimados para viscosidade.....	173
Tabela 31 – Sumário do modelo.....	173
Tabela 32 - Análise de variância para viscosidade (pseudocomponentes).....	174
Tabela 33 - Coeficientes de regressão estimados para viscosidade (proporções de componentes) .....	174
Tabela 34 – Índices ajustados e diagnósticos para observações atípicas.....	175
Tabela 35 - Coeficientes de regressão estimados para RAU.....	175
Tabela 36 – Sumário do modelo (RAU).....	175
Tabela 37 - Análise de variância para RAU (pseudocomponentes).....	176
Tabela 38 - Coeficientes de regressão estimados para RAU (proporções de componentes).....	176

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Alguns compostos orgânicos voláteis e seus efeitos negativos na saúde humana.....	21
Quadro 2 – Processos para produção de tintas vegetais.....	82
Quadro 3 – Processos para produção de tintas com pigmentos em pó.....	82
Quadro 4 – Quantidade de mordentes segundo Ferreira (2005).....	88
Quadro 5 – Efeito nas cores a partir de diferentes mordentes naturais.....	89
Quadro 6 – TN3.....	157
Quadro 7 – TN8.....	157
Quadro 8 – Cores das tintas TN1 a TN20 após a secagem na parede.....	157
Quadro 9 – Cores das tintas úmidas e após a secagem.....	158
Quadro 10 – Aplicação da primeira demão de tinta das misturas TN2, TN4, TN5, TN6, TN7 e TN12.....	158
Quadro 11 – Características visuais das misturas TN1 a TN11.....	160
Quadro 12 – Características visuais das misturas TN12 a TN20.....	161
Quadro 13 – Valor (R\$)/kg dos materiais utilizados na elaboração das tintas...	169

## LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRAFATI	Associação Brasileira dos Fabricantes de Tintas
ACV	Avaliação do Ciclo de Vida
ASTM	American Society for Testing and Materials
COVs	Compostos Orgânicos Voláteis
cP	Centipoises
CPs	Corpos de prova
EE	Energia Embutida
EO	Energia Operacional
EPA	<i>Environmental Protection Agency (U.S.)</i>
EUA	<i>Estados Unidos da América</i>
FISPQ	Ficha de Informações e Segurança de Produtos Químicos
HIS	<i>Habitação de Interesse Social</i>
IBD	Instituto Biodinâmico
ICV	Inventário do Ciclo de Vida
IDHEA	Instituto para o Desenvolvimento da Habitação Ecológica
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
ISO	International Organization for Standardization
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
OMS	<i>Organização Mundial de Saúde</i>
OSHA	Occupational Safety and Health Administration (EUA)
PCS	Poder de cobertura de tinta seca
PCU	Poder de cobertura de tinta úmida
PISQ	Programa Internacional de Segurança Química
PVA	Poliacetato de vinila
PVC	Pigment Volume Concentration
QAI	Qualidade do ar interior
RAU	Resistência à abrasão úmida sem pasta abrasiva

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>17</b>
1.1 HIPÓTESES.....	18
1.2 OBJETIVO.....	19
1.1.1 Objetivo Geral.....	19
1.1.2 Objetivos Específicos.....	19
1.3 JUSTIFICATIVAS.....	19
1.4 MÉTODOS DE PESQUISA.....	24
<b>2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>25</b>
2.1 TINTAS IMOBILIÁRIAS.....	25
2.1.1 Pigmentos naturais: histórico.....	25
2.1.2 Pigmentos sintéticos.....	36
2.1.3 Tintas industrializadas.....	37
2.1.4 Planejamento e modelagem de estudos de misturas.....	39
2.1.5 Tecnologia social.....	44
2.2 TINTAS NATURAIS.....	47
2.2.1 Definição de ecológico, natural e orgânico.....	47
2.2.2 Pigmentos minerais.....	49
2.2.3 Pigmentos vegetais.....	54
2.2.4 Aglutinantes e aditivos.....	67
2.2.5 Conservação de cor.....	71
2.2.6 Processos artesanais de elaboração de tintas.....	78
2.3 CONCLUSÃO DA FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	93
<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>96</b>
3.1 Pigmentos vegetais: seleção e processos de extração.....	96
3.2 Agentes aglutinantes.....	99
3.3 Aditivos conservadores de cor e agentes bactericidas.....	100
3.4 Preparo das misturas.....	101
3.5 Avaliação do pH e densidade.....	103
3.6 Avaliação da viscosidade.....	103
3.7 Aplicação nos substratos.....	105
3.8 Cálculo de rendimento e custo/litro.....	106

3.9 Avaliação da resistência à abrasão (RAU).....	107
3.10 Ensaio de intemperismo natural.....	107
3.11 Ensaio de intemperismo acelerado.....	109
3.12 Delineamento experimental de misturas: pigmento curcumina.....	112
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>116</b>
4.1 TINTAS 1 A 14.....	116
4.1.1 Densidade, pH, viscosidade e RAU.....	116
4.1.2 Rendimento e estimativa do custo/litro.....	118
4.1.3 Desempenho frente ao intemperismo natural.....	119
4.1.4 Desempenho frente ao intemperismo acelerado.....	121
4.1.5 Discussões.....	122
4.2 TINTAS COM PIGMENTO CURCUMINA.....	123
4.2.1 Viscosidade, pH e RAU.....	123
4.2.2 Equações de regressão.....	125
4.2.3 Otimização das respostas.....	127
4.2.4 Rendimento e estimativa do custo/litro.....	129
4.2.5 Discussões.....	131
<b>5. CONCLUSÕES.....</b>	<b>131</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>133</b>
<b>APÊNDICES.....</b>	<b>153</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>177</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A sustentabilidade é um dos principais objetivos da construção civil atualmente e, por este motivo, profissionais de diversas áreas do conhecimento buscam soluções para reduzir os impactos das edificações no meio ambiente.

Devido ao crescimento industrial e comercial, as tintas industrializadas assumiram posição importante na produção de mercadorias, sendo as tintas imobiliárias o setor de maior produção no Brasil (ABRAFATI, 2021). A competição no mercado atual, a sucessiva mudança de perfil dos consumidores e a conscientização da população sobre os malefícios causados pelas substâncias químicas na saúde e no meio ambiente, vêm impulsionando as empresas de tintas imobiliárias a buscarem alternativas menos agressivas através do desenvolvimento de novas tecnologias e do uso de insumos ecológicos, resultando na responsabilidade socioambiental que contribui para o desenvolvimento sustentável.

No entanto, o custo elevado das tintas imobiliárias industrializadas disponíveis no mercado atualmente impossibilita parte da população de revestir suas moradias, comprometendo a durabilidade dos materiais construtivos e a qualidade estética da paisagem periurbana. Neste contexto, o resgate às técnicas vernaculares de elaboração de tintas com insumos naturais locais surge como uma solução para o revestimento de paredes internas e externas das edificações, como a técnica do “barreado”, comum no meio rural brasileiro até meados do século XX, que consiste na utilização de pigmentos minerais para elaboração de tintas artesanais (CARDOSO, 2015).

O uso de insumos naturais na elaboração de tintas pode ser considerado uma solução para minimizar os impactos ambientais causados pela indústria imobiliária, além de evitar os danos à saúde dos usuários das edificações por não possuírem toxicidade, contribuindo para a salubridade dos ambientes internos.

Tintas naturais elaboradas com pigmentos vegetais são comumente utilizadas em diferentes setores, como na indústria alimentícia, indústria têxtil, aplicações artísticas em educação infantil e em pintura de artesanatos. No entanto, devido à instabilidade dos cromóforos frente às intempéries, os

pigmentos vegetais são pouco explorados na indústria de tintas imobiliárias. Além disso, o uso de pigmentos naturais na produção de tintas apresenta limitações, como a dificuldade na reprodução das cores e tonalidades, devido à falta de padronização de receitas e quantificações dos insumos e à falta de conhecimento técnico sobre a elaboração das tintas.

Assim, a presente tese apresenta o desenvolvimento de um produto que se enquadra nos limites de desempenho estipulados pela ABNT para tintas de categoria látex econômica, comprovando a viabilidade no uso de tintas imobiliárias elaboradas com pigmentos vegetais como uma tecnologia social, apresentando uma possibilidade de pintura de edificações àqueles que não têm acesso às tintas industrializadas.

## 1.1 HIPÓTESES

Tintas imobiliárias artesanais elaboradas com pigmentos minerais apresentaram resultados satisfatórios frente aos ensaios de desempenho e resistência (FARIA, 2015; CARDOSO, 2015; CARDOSO, 2020), comprovando a viabilidade no uso de terras e argilas locais como pigmento para tintas, de fácil acesso e baixo custo, elaboradas através de técnicas simples. Sendo assim, a presente pesquisa de doutorado trabalha com as hipóteses de que também é possível elaborar tintas imobiliárias com insumos naturais cujos pigmentos são extraídos de fontes vegetais; que sua durabilidade e resistência são garantidos através do uso de aditivos conservadores de cor de origem natural; e que essas tintas apresentem resultados de desempenho frente ao intemperismo dentro dos limites estipulados por norma técnica para tintas imobiliárias.

## 1.2 OBJETIVO

### 1.2.1 Objetivo geral

O objetivo geral desta pesquisa consistiu em desenvolver uma tecnologia social na área de tintas imobiliárias através do uso de pigmentos vegetais e insumos naturais a partir de técnicas simples de preparo, cujas características e desempenho estejam dentro dos limites estipulados por norma técnica.

### 1.2.2 Objetivos específicos

- Avaliar as possibilidades de elaboração de tintas com pigmentos vegetais em revisão bibliográfica e em experiências pessoais de artistas e artesãos;
- Testar condições práticas de extração de pigmentos vegetais e preparo de tintas;
- Avaliar as características das tintas (pH, viscosidade e densidade) e seu comportamento frente aos ensaios de resistência à abrasão, ao intemperismo acelerado simulado em laboratório e ao intemperismo natural;
- Elaborar a formulação de uma receita de tinta com pigmento vegetal
- Calcular o rendimento e apresentar uma estimativa de custo/litro das tintas elaboradas com pigmentos vegetais a fim de comparar estes e os demais resultados com uma tinta industrializada de categoria econômica.

## 1.3 JUSTIFICATIVAS

Devido ao crescimento industrial e comercial, as tintas assumiram posição importante na produção de mercadorias, sendo as tintas imobiliárias o setor de maior produção no Brasil. No Brasil, foram produzidos 1,715 bilhões de litros de tintas em 2021, o equivalente a cerca de 732 piscinas olímpicas, sendo 83,5% de tintas imobiliárias, o equivalente a cerca de 612 piscinas olímpicas (ABRAFATI, 2021).

No entanto, ao considerar o ciclo de vida de uma edificação, percebe-se que os malefícios das tintas imobiliárias industrializadas existem desde o processo de fabricação na indústria até o seu destino final (OLIVEIRA, 2009).

Tavares (2006) pesquisou cinco residências brasileiras avaliando a Energia Embutida (EE) dos materiais convencionais e concluiu que a produção de tintas imobiliárias industrializadas utiliza 90% de combustíveis fósseis não renováveis (óleo diesel e combustíveis) e 10% de recursos renováveis (eletricidade), e que as tintas industrializadas acumulam maior EE devido à reposição das pinturas, seja por motivo estético (obsolescência percebida) ou pelo desgaste com o decorrer do tempo, normalmente previsto pelo fabricante (obsolescência programada). Ainda, há que se considerar o caso de repintura de edificações alugadas independentemente do estado de conservação da pintura e do tempo de permanência do locatário no imóvel, já que é comum o proprietário exigir a repintura no momento de devolução.

Bribián *et al.* (2011) relatam que as tintas imobiliárias (acrílica, óleo e látex) apresentam valores de EE superiores a outros materiais comumente utilizados em uma edificação, como diversos tipos de cerâmicas, cimento, concreto e aço. Além disso, Uemoto *et al.* (2006) afirmam que as tintas imobiliárias possuem diversas substâncias classificadas como compostos orgânicos voláteis (COVs), também presentes em outros materiais construtivos como solventes, vernizes e colas.

Os COVs são substâncias que se volatizam facilmente à temperatura ambiente, como os solventes clorados (clorofórmio, 1,1,1-tricloroetano, tetracloreto de carbono, tetracloroetileno, tricloroetileno), os compostos aromáticos (benzeno, etilbenzeno, tolueno, xileno, isômeros, m,p-diclorobenzeno) e outras substâncias como estireno, metil etil cetona, butano, etanol e formaldeído (OLIVEIRA, 2009). Os impactos negativos na saúde humana chegam a ser considerados graves, de ordem respiratória, neurológica e hepática. O quadro 1 apresenta os efeitos negativos dessas substâncias na saúde humana.

Quadro 1 – Alguns compostos orgânicos voláteis e seus efeitos negativos na saúde humana

SUBSTÂNCIA	DEFINIÇÃO	EFEITOS NA SAÚDE HUMANA	REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA
benzeno	hidrocarboneto aromático	age no sangue afetando as células sanguíneas e a medula óssea	SCHNEIDER <i>et. al.</i> , 2010
tolueno	solvente derivado do benzeno	dores de cabeça, produção aumentada de secreções no sistema respiratório e irritação nos olhos, no nariz e na garganta, sonolência, tontura, vertigem e desmaio	SCHNEIDER <i>et. al.</i> , 2010
xileno	solvente lipossolúvel derivado do petróleo	irritação e alergias na pele	Programa Internacional de Segurança Química, 2008
clorofórmio	hidrocarboneto halogenado	efeito depressivo sobre o sistema nervoso central, particularmente no encéfalo	SCHNEIDER <i>et. al.</i> , 2010
etanol	álcool etílico	doenças cardiovasculares, lesões no sistema nervoso e alguns tipos de câncer, reacções alérgicas e anafilaxia	LEMOS <i>et. Al.</i> , 2017
metanol	álcool metílico	cegueira	SCHNEIDER <i>et. al.</i> , 2010
octano, decano, undecano	alcano, apolar, insolúvel em água e solúvel em dissolventes orgânicos	danos nas vias respiratórias e infecções na pele	GARCÍA-MARTINEZ, 2003
éteres de glicol	compostos orgânicos higroscópicos e sem odor	agem durante a gravidez causando efeitos adversos, não teratogênicos, no feto. Estes efeitos incluem morte do ovo fertilizado, do embrião, ou do feto, má formação, retardamento do crescimento e déficit funcional pós-natal.	SCHNEIDER <i>et. al.</i> , 2010
policlorobifenil	composto organoclorado	cloroacne, danos nos músculos, acumulam-se nos tecidos adiposos viscerais onde, estimulando as enzimas hepáticas, causam alterações na função do fígado, hiperpigmentação, problemas oculares, elevação do índice de mortalidade por câncer do fígado e vesícula biliar, dores abdominais, tosse crônica, irregularidade menstrual, fadiga, dor de cabeça e nascimentos prematuros com deformações	CULLEN <i>et. al.</i> , 1996
dibutil ftalato	aditivo plastificante solúvel em vários solventes orgânicos	desregulador do sistema endócrino	PRATA <i>et. al.</i> , 2019
octoato de chumbo	catalizador metálico utilizado para secagem	afeta o sistema nervoso, degradando a mielina e diminuindo a transmissão dos impulsos entre os neurônios, podendo eventualmente interrompê-la por completo	Programa Internacional de Segurança Química, 2008
tricloroetileno e tetracloroetileno	hidrocarbonetos halogenados	efeito depressivo sobre o sistema nervoso central, particularmente no encéfalo	SCHNEIDER <i>et. al.</i> , 2010
tetracloreto de carbono	hidrocarbonetos halogenados	danos ao sistema nervoso, necrose hepática e osteonoses	Programa Internacional de Segurança Química, 2008
metil-etil-cetona	cetona de líquido incolor e inflamável	A inalação causa tosse, vertigens, tontura, dor de cabeça, náuseas, enjoo, vômitos e perda da consciência. Irritação nos olhos e dermatites. A ingestão, além de causar todos os efeitos da inalação, causa câimbras abdominais	Fichas Internacionais de Seguridad Química, 1994
estireno	hidrocarboneto aromático não saturado	carcinogénico suspeito, toxina suspeita de afetar os sistemas respiratório, gástrico e hepático	Environmental Protection Agency (EPA), 2008

Fonte: a autora

Uemoto *et al.* (2006) afirmam que os COVs prejudicam, principalmente, a saúde de moradores de grandes cidades que trabalham em ambientes

corporativos fechados, com baixa troca de ar. Segundo os autores, os COVs também afetam a saúde do trabalhador durante a obra, prejudicam a saúde dos usuários das edificações, contribuem para a poluição atmosférica e reduzem a qualidade do ar interno dos ambientes (QAI). Segundo a Organização Mundial de Saúde, a QAI é reconhecida como um direito básico de todos, pois é um fator determinante da saúde e bem-estar (OMS, 2009).

O edifício considerado saudável caracteriza-se por uma boa QAI, favorecida pelo uso de adequadas taxas de ventilação, de sistemas de automação predial e de monitoramento contínuo das instalações. Em ambientes urbanos, grande parte considerável da população passa cerca de 80 a 90% do seu tempo diário em ambientes fechados com problemas de QAI, prejudicando a saúde dos usuários das edificações (WANG *et al.*, 2007; ZHAO e WU, 2007; ASHMORE e DIMITROULOPOULOU, 2009; HERBERGER *et al.*, 2010).

Desde o início da década de 70, trabalhadores de ambientes fechados em edificações na América do Norte e na Europa Ocidental têm relatado diversas queixas relativas à saúde e ao conforto, como dor de cabeça, problemas nos olhos (irritação, dor, secura, coceira ou constante lacrimejamento), problemas nasais (constipação nasal, coriza ou irritação nasal), problemas de garganta (secura, dor ou irritação), problemas no tórax (sensação de opressão e dificuldade respiratória), fadiga e letargia (sonolência e debilidade), anormalidades na pele (secura, coceira ou irritação) e problemas para manter a concentração no trabalho (BERNSTEIN *et al.*, 2008). Em 1982, a OMS identificou a causa destes sintomas e classificou como *Síndrome dos edifícios doentes* os casos em que as edificações apresentam baixa QAI devido à presença de grande quantidade de poluentes oriundos dos materiais construtivos (SANTOS, 2010). Em 2009, a *Síndrome dos edifícios doentes* foi identificada em 30% dos edifícios brasileiros (OLIVEIRA, 2009).

O descarte das tintas imobiliárias industrializadas também é uma questão preocupante, pois os efluentes líquidos gerados e descartados incorretamente acarretam em um problema ambiental significativo, já que a maioria dos pigmentos químicos são compostos por estruturas moleculares complexas aromáticas, tornando-os inertes e de difícil biodegradação quando descartados no meio ambiente (KHOUNI *et al.*, 2011). Com isso, torna-se cada vez mais

urgente adotar alternativas e soluções ecológicas para reduzir esses problemas ambientais causados pelas tintas imobiliárias industrializadas, contribuindo para a melhoria da saúde dos usuários e para minimizar os impactos negativos das construções no meio ambiente.

Neste contexto, o uso de tintas elaboradas com insumos naturais pode ser considerado uma solução, devido à ausência de substâncias químicas nocivas. Além disso, essas tintas podem ser recicladas após a utilização ou descartadas sem prejuízo ao meio ambiente, pois são compostas por matéria orgânica, exclusivamente (SAMANTA e KONAR, 2011).

Ferreira, desde 1997, já exaltava a riqueza e variedade dos sistemas florestais no Brasil, e a necessidade de aprender a utilizar todo este potencial de um modo prático, respeitoso e sustentável, retirando de árvores, flores, frutos, cascas e folhas as mais variadas cores para aplicá-las em diferentes áreas do conhecimento, tanto em produções artesanais como em produções industriais (FERREIRA, 1997). Desde então, é crescente o número de pesquisas sobre a utilização consciente dos recursos naturais a fim de viabilizar a substituição das substâncias sintéticas nocivas por insumos facilmente extraídos da natureza, em benefício da saúde humana e do meio ambiente.

O uso de tintas naturais atualmente é relativamente baixo, pois a maioria das cores para pinturas são de origem sintética. Poucos corantes naturais são explorados e utilizados por setores industriais, como é o caso da indústria alimentícia, de cosméticos e da indústria têxtil (LUNA *et al.*, 2017).

No entanto, segundo Scotter (2011), a denominação “natural” não significa necessariamente que um produto é saudável. Tanto os corantes naturais como os artificiais necessitam de especificação de pureza, restrição de uso e do estabelecimento de quantidades máximas permitidas pelos órgãos competentes. Para o autor, a substituição do uso dos corantes sintéticos pelos naturais, apesar de ser uma tendência, necessita do desenvolvimento de tecnologias e métodos de extração que garantam suas propriedades, além de métodos analíticos confiáveis para determinação de qualidade.

Apesar de não causar prejuízos à saúde humana e ao meio ambiente, o uso de pigmentos naturais na produção de tintas apresenta limitações, como a dificuldade na reprodução das cores e tonalidades, devido à falta de receitas e

quantificações dos insumos; a falta de conhecimento técnico sobre a elaboração das tintas; e a ausência de padronização nos processos de produção (SAMANTA e KONAR, 2011).

Sendo assim, a presente pesquisa representa um avanço na área das tintas imobiliárias, pois apresenta resultados positivos nos ensaios de desempenho em tintas elaboradas com pigmentos vegetais, servindo como base para futuras pesquisas sobre tintas e revestimentos com insumos naturais, desenvolvimento de novos materiais, novas possibilidades de aditivos fixadores de cor, métodos de experimentações, diferentes pigmentos vegetais, e técnicas para melhorar as características e desempenho frente às intempéries.

#### 1.4 MÉTODOS DE PESQUISA

A presente pesquisa de doutorado aborda o uso de pigmentos vegetais na elaboração de tintas imobiliárias sob dois métodos de pesquisa. A princípio, em uma etapa exploratória, foi elaborada uma revisão bibliográfica para coletar informações sobre os métodos de extração dos pigmentos vegetais desenvolvidas em diferentes áreas do conhecimento, as possibilidades de insumos naturais que atuam como aditivos fixadores de cor, agentes aglutinantes e solventes para elaboração de tintas, e os demais assuntos relacionados ao tema publicados em livros, artigos e periódicos; ainda, na etapa exploratória também foram coletadas informações sobre as experiências pessoais de artesãos, artistas plásticos e pintores que trabalham com pigmentos vegetais na elaboração de tintas para diversas finalidades.

Posteriormente, em uma etapa experimental, foram elaboradas tintas artesanais segundo as informações coletadas na etapa exploratória, cujas misturas foram submetidas aos ensaios de desempenho e resistência conforme norma técnica, avaliadas suas características físicas (pH, densidade e viscosidade), e calculados o rendimento e custo/litro a fim de comparar com uma tinta imobiliária industrializada. Ainda, foi escolhido um pigmento vegetal para elaborar uma receita através do método estatístico de delineamento experimental de misturas, em que foram avaliadas as interações entre os componentes e as características físicas das misturas, e sua influência na

resistência da tinta frente ao ensaio de resistência à abrasão, a fim de apresentar um produto que se enquadre nos limites mínimos de desempenho estipulados por norma técnica.

## **2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

O presente capítulo apresenta a etapa exploratória da pesquisa, que consiste no levantamento de dados de revisão bibliográfica sobre as tintas imobiliárias (industrializadas e naturais); os exemplos bem-sucedidos de utilização de tintas naturais em diversas áreas do conhecimento; as técnicas de elaboração e conservação das misturas; os diferentes processos utilizados para a extração dos pigmentos vegetais; os dados significativos sobre a composição química de todos os insumos; e demais definições relevantes sobre o tema.

Os termos específicos (físicos e químicos) que aparecem ao longo da fundamentação teórica relacionados aos processos de elaboração das tintas (obtenção e extração de pigmentos, interações químicas entre pigmentos e aglutinantes, funções de aditivos e especificidades das películas formadas durante a aplicação das tintas) estão definidos no glossário presente no ANEXO ao final da tese.

### **2.1 TINTAS IMOBILIÁRIAS**

#### **2.1.1 Pigmentos naturais: histórico**

O uso de insumos naturais para elaboração de tintas é algo que acompanha a humanidade desde os primórdios, como as pinturas rupestres em paredes internas de cavernas datadas entre os anos 30.000 a 8.000 a.C., em que as tintas eram elaboradas com terras coloridas, pó de rochas, carvão vegetal e goma vegetal e animal. Tais pinturas apresentam-se conservadas até os dias atuais devido à durabilidade dos pigmentos minerais e à proteção dos ambientes internos das cavernas frente às ações do tempo (GOMBRICH, 2008; PROENÇA, 2009).

Na Idade Média, a palavra pigmento (de origem latina *pigmentum*), inicialmente utilizada para designar uma cor em um material colorido, também designava todos os tipos de extratos vegetais e de plantas utilizados para colorir. Pigmento é uma substância constituída de pequenas partículas insolúveis no meio aplicado, com propriedades de coloração, proteção ou magnetização (MILANEZ, 2003).

Os pigmentos também são adicionados nas misturas para proporcionar cores particulares e proteger o aglutinante contra a degradação por radiação UV causada durante a exposição direta aos raios solares. Os pigmentos naturais diferem em propriedades químicas e físicas, cujas moléculas são compostas por substâncias instáveis que participam de diferentes reações, resultando em diversas tonalidades (RIBEIRO e SERAVALLI, 2008; CARDOSO, 2020).

Sob o ponto de vista biológico, Pinheiro (2017) define os pigmentos como compostos químicos que conferem cor a todo tipo de células dos seres vivos, classificados em orgânicos e inorgânicos a partir de sua estrutura química. Os pigmentos orgânicos apresentam menor cobertura, maior dificuldade de dispersão e menor poder tintorial.

Os pigmentos utilizados para conferir coloração às tintas eram obtidos através de vegetais, minerais e, posteriormente, de animais. Segundo Pereira (2008), os povos pré-históricos conseguiam obter as mais diversas cores através da trituração de sementes, raízes, cascas de árvores e pequenos insetos.

A busca por materiais tintoriais capazes de produzir diferentes tonalidades estava associada ao fascínio do homem pela cor. No entanto, a descoberta e o uso de novas cores eram restritos a uma minoria da população em diversas culturas, utilizados apenas por pessoas que representavam a nobreza (PASTOUREAU, 2010; PERCIVALDI, 2018; VANUCHI, 2019).

O mineral semiprecioso lápis-lazúli (figura 1), por exemplo, era comumente utilizado como fonte da cor azul ultramar (pigmento lazurita), cujos registros são datados cerca de 3.000 a.C. no Oriente Médio e norte da África. O mineral também é encontrado nas minas de Badakhshan (norte do Afeganistão), na região do lago Baikal (Sibéria) e na Cordilheira dos Andes, na América do Sul (ACETO *et al.*, 2013; CAMPBELL, 2013; KUPFERSCHMIDT, 2021).

Figura 1 – Mineral semiprecioso lápis-lazúli



Fonte: a autora

No entanto, diversos autores discorrem sobre a dificuldade de encontrar o lápis-lazúli nas jazidas, além da extração do pigmento azul do mineral também ser considerada uma prática trabalhosa, que consiste em moer, peneirar e misturar com resina de pinheiro, gomas naturais, óleo de linhaça, cera de abelha e soda cáustica até obter um pó fino, como relatou em 1859 o pintor italiano Cennino Cennini em seu livro *“Il libro dell'arte: o trattato della pittura”* (CENNINO, 1859, pg. 36). Devido a estas dificuldades, o lápis-lazúli chegou a custar cerca de quatro vezes a mais que o próprio ouro, sendo popularmente chamado de “ouro azul” (ACETO *et al.*, 2013; CAMPBELL, 2013; KUPFERSCHMIDT, 2021).

Pinturas elaboradas com lápis-lazúli em paredes internas de templos chineses, cavernas afegãs, murais indianos e manuscritos anglo-saxões datados entre os séculos VI e XVI encontram-se preservadas até os dias atuais devido à estabilidade de cor do pigmento mineral (PASTOUREAU, 2010; ACETO *et al.*, 2013; WONG *et al.*, 2017; KUPFERSCHMIDT, 2021).

A figura 2 apresenta um afresco pintado por Giotto em 1305 em uma parede interna da Capela de Scrovegni, na cidade de Pádua (Itália), e a figura 3 apresenta o interior de uma caverna budista localizada nas Grutas de Mogao (China), pintada no século IX, ambas utilizando o pigmento azul do mineral semiprecioso lápis-lazúli.

Figura 2 – Afrescos em paredes internas na Capela dos Scrovegni, Itália



Fonte: Pastoureau, 2010.

Figura 3 – Pinturas em interior de caverna nas Grutas de Mogao, China



Fonte: Wong *et al.*, 2017.

O pigmento azul era muito requisitado e, além da fonte mineral, também era comum a obtenção da coloração azulada através de plantas do gênero indigoferas (*Indigofera tinctoria*), popularmente conhecidas como “anileiras”. As indigoferas são consideradas como uma das plantas corantes mais antigas da Ásia, descoberta por Marco Polo no Vale do Indo (que deu origem ao nome da planta), cujos registros são datados desde os anos de 4.000 a.C. (PASTOUREAU, 2010; CAMPBELL, 2013).

As folhas das plantas anileiras são esverdeadas, como apresenta o desenho botânico elaborado por Francisco Manuel Blanco (figura 4), sendo a coloração azul o resultado do processo de fermentação em condições alcalinas e oxidação durante a secagem em temperatura ambiente (CAMPBELL, 2013).

Figura 4 – Desenho botânico da planta *Indigofera tinctoria*

Fonte: Campbell (2013)

Campbell (2013) relata a complexidade no processo de extração do pigmento azul da “anileira”. Segundo a autora, nas folhas estão concentrados os pigmentos sob a forma incolor da substância *indicana*, precursora do composto orgânico *indoxil* e, para a extração dessa substância, é necessário fermentar as folhas em água durante 24 horas, resultando em um líquido que deve passar por processo de agitação de forma que o *indoxil* entre em contato com o oxigênio atmosférico, transformando-se em *indigotina* (forma química final do pigmento índigo). Assim, o líquido adquire coloração azulada e a mistura é reservada durante 24 horas, para depois recolher a borra decantada e fervê-la, interrompendo assim o processo de fermentação. A autora sugere coar a mistura final e secar para ser transformada em pó ou pedra (figura 5).

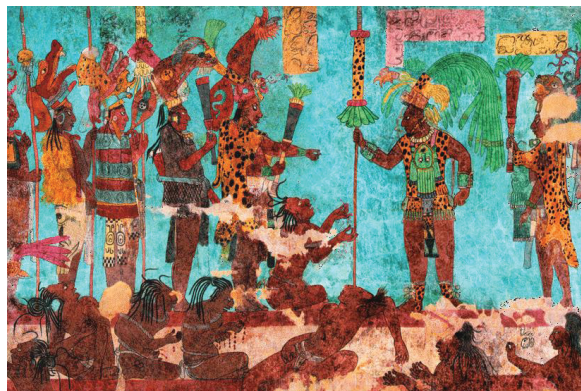
Figura 5 – Blocos de índigo dispostos para a secagem



Fonte: Campbell, 2013.

A espécie de “anileira” nativa da América Central (*Indigofera guatemalensis* Moc.) tem grande importância na história do povo mesoamericano, pois o pigmento extraído dessa espécie era misturado a um tipo de argila específica para produzir o “azul maya”, utilizado na elaboração de tintas imobiliárias para aplicação em pinturas murais (figura 6), além de objetos sagrados e altares religiosos (CAMPBELL, 2013).

Figura 6 – Pintura mural em Bonampak, México



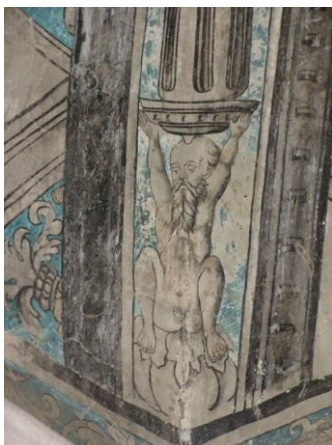
Fonte: Campbell, 2013.

Río *et al.* (2011) citam diversas pesquisas sobre a análise da estrutura química do pigmento encontrado em restos de uma parede pintada do Templo dos Guerreiros, localizado no sítio arqueológico Chichén Itzá, no México. Os autores relatam a presença de matéria inorgânica (argila) ao submeter as misturas ao aquecimento, ao contato com produtos químicos e com o ácido

nítrico fervente. Segundo os autores, durante quatro décadas diversos pesquisadores buscaram desvendar o processo de formação do pigmento “azul maya”, identificando o tipo de argila utilizada e de que forma o pigmento orgânico extraído das plantas indigoferas unia-se à matéria inorgânica para adquirir características de um material para pintura.

Através de espectroscopia de absorção infravermelha, Ríó *et al.* (2011) descobriram que pinturas com “azul maya” estão presentes não somente nas áreas da cultura maia, mas também em outras áreas do México (figura 7), possibilitando o mapeamento das rotas de comércio maia e a identificação dos aspectos históricos para a obtenção do pigmento azul.

Figura 7 – Decoração com “azul maya” em parede colonial do séc. XVI, no Convento Oaxtepec (México)



Fonte: Ríó *et al.* (2011)

Registros da utilização de matéria inorgânica para elaboração de tinta imobiliárias são encontrados preservados até os dias atuais, comprovando a estabilidade dos pigmentos minerais, como as argilas. As sepulturas da necrópole de Tarquinia, na Itália, por exemplo, apresentam decorações em paredes internas consideradas um dos registos pré-romanos mais importantes da pintura etrusca clássica do Mediterrâneo, datada entre os séculos VII a II a.C. (figura 8-a). Barone *et al.* (2018) analisaram oito dessas sepulturas, e identificaram a presença de pigmentos de origem mineral (hematita, carbono, goetita, calcita, malaquita, azul egípcio, lazurita e cinábrio) e animal (púrpura de

tiro), utilizando o método de espectroscopia de fluorescência complementar não destrutiva *in situ* de raios X nas pinturas (figura 8-b).

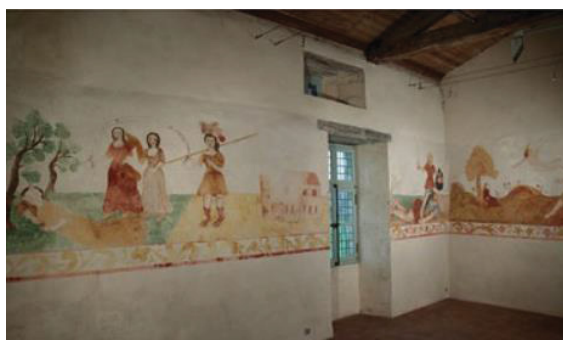
Figura 8 – Sepulturas decoradas na Necrópole de Tarquinia, Itália (a), e avaliação dos pigmentos com equipamento (b)



Fonte: adaptado de Barone *et al.*, 2018.

Javel e Beauvoit (2020) analisaram as pinturas nas paredes internas dos dormitórios do convento beneditino de Saint-Jean-l'Évangéliste de Trizay, anexo à Abadia de La Chaise Dieu, na França (figura 9). Através do método não destrutivo *in situ* para identificação dos pigmentos com sensor infravermelho e ultravioleta, os autores concluíram que as pinturas murais foram elaboradas em meados do século XII com pigmentos inorgânicos (argilas de colorações marrom, amarelo, ocre, vermelho e preta), branco<sup>1</sup> de chumbo, verde (cobre, malaquita ou azinhavre).

Figura 9 – Pintura mural em parede interna do convento Saint-Jean-l'Évangéliste de Trizay, França



Fonte: Javel e Beauvoit, 2020.

<sup>1</sup> Ressalta-se que, embora preto e branco sejam ausência de luz e presença total de luz, respectivamente (SILVEIRA, 2015), na presente tese não será abordada essa distinção, considerando a designação convencional de que preto e branco são cores.

Durante os séculos XV e XVI, tornou-se comum a prática de pintar paredes internas de branco em regiões da Ásia, principalmente no Japão, China e Índia. A coloração branca era obtida através de argilas (caulinita), posteriormente substituídas por carbonato de cálcio oriundo de ostras pulverizadas e conchas. A caulinita era utilizada como camada primária em pinturas de paredes devido à sua elevada capacidade de absorção, misturada aos ocres e vermelhos para aumentar seu poder de cobertura (HRADIL *et al.*, 2003).

No Brasil, até o final do século XIX, as edificações coloniais apresentavam colorações que variavam do branco caulim às tonalidades amareladas e ocres, correspondentes ao tipo de solo local, além de outras tentativas para obtenção de diferentes colorações. No Rio de Janeiro, por exemplo, houve uma tentativa de reproduzir o “azul maya” através das plantas do gênero indigoferas (até então utilizadas apenas no tingimento de tecidos), em que a coloração azul obtida das plantas era misturada à cal. No entanto, o resultado era uma pintura de baixa durabilidade, caindo em desuso com o tempo (RIBEIRO, 2004).

A pintura a cal era muito comum até o século XVIII no Brasil. De tradição portuguesa, a pintura a cal era utilizada tanto para revestimento de paredes como para produzir argamassas de assentamento. A cal era obtida inicialmente através dos sambaquis, fonte de calcário nas regiões litorâneas e, por esse motivo, as cidades litorâneas e próximas ao litoral brasileiro apresentavam arquitetura caracterizada pela cor branca e alvenarias de pedra argamassadas com cal (SANTIAGO, 2007; RIBEIRO, 2004).

Em edificações populares de cidades do interior brasileiro era comum o revestimento das paredes internas e externas com tonalidades ocres obtidas de argilas extraídas de solos locais. Cardoso *et al.* (2013) exploraram a técnica cultural conhecida como “barreado” no meio rural do interior de Minas Gerais, em que as casas são pintadas de branco com solos locais, ou com colorações ocres a depender do tipo de argila encontrado na região.

Segundo Cardoso *et al.* (2014), o uso de solos argilosos (como a *tabatinga*) em técnicas como o “barreado” para aplicação em paredes de pau-a-pique (ou outras técnicas de construção com terra crua) apresenta resultados

satisfatórios, requerendo manutenção periódica como qualquer pintura convencional. No entanto, o “barreado” não garante boa aderência em superfícies de alvenaria revestidas com argamassas à base de cimento ou cal, devido à redução da porosidade e das características físico-químicas dos materiais, o que resultou no desuso dessa técnica cultural com o passar do tempo. A figura 10 apresenta uma residência de pau-a-pique pintada com a técnica do “barreado” na comunidade Pau-de-Cedro, localizada no município de Viçosa-MG.

Figura 10 – Residência de pau-a-pique pintada com a técnica do “barreado”



Fonte: Cardoso *et al.*, 2013.

Apesar de ser uma técnica mais econômica que o uso de tintas industrializadas, o “barreado” enfrenta problemas de resistência a intempéries devido à absorção e à perda de água que geram um movimento de dilatação e contração, desestabilizando as ligações entre as partículas do solo. Devido à necessidade em resgatar e aperfeiçoar a técnica do “barreado”, apontada por Cardoso *et al.* (2013), diversos estudos foram elaborados visando a sustentabilidade e autonomia da população de baixa renda para a pintura de suas moradias utilizando terras e argilas locais (CARDOSO, 2015; FARIA e SCHMID, 2015; CARDOSO, 2020).

No Oriente Médio e em regiões rurais da China e Índia é comum elaborar tintas imobiliárias com pigmentos vegetais. Os moradores da comunidade rural de Potua, no leste da Índia, por exemplo, elaboram pinturas com insumos naturais através de técnicas vernaculares, expressando sua arte com temas

culturais de rituais, histórias antigas e assuntos contemporâneos. Essa técnica é popularmente conhecida como *patachitras*, comumente aplicada em papéis, tecidos, além de paredes internas e externas de residências. Mahalanobish e Dey (2011) registraram um exemplo de *patachitras* elaboradas com insumos vegetais em paredes externas de residências, cujas pinturas são capazes de resistir às ações das intempéries, apresentadas nas figuras 11-a, 11-b e 11-c.

Figura 11 - Aplicações de *patachitras* em paredes externas de residências rurais no leste da Índia



Fonte: adaptado de Mahalanobish e Dey (2011)

Segundo Mahalanobish e Dey (2011), para a elaboração das *patachitras* as cores são extraídas dos insumos naturais da região em que a comunidade está inserida e, por este motivo, a paleta de cores limita-se em preto (extraído do óleo de candeeiro, carvão vegetal e grãos de arroz queimados), vermelho (extraído de folhas verdes da planta popularmente conhecida como *teca* e sementes de açafão-da-terra), azul (extraído de flores oxidadas de ervilha), branco (argila encontrada no local), verde (extraído de folhas da planta popularmente conhecida como *kundri* e folhas de diferentes espécies de feijões), amarelo (extraído da raiz de açafão-da-terra) e castanho (extraído de folhas maduras de *teca* amassadas com o caule da planta). Segundo os autores, para a fixação das cores, os moradores elaboram um tipo de goma a partir de sementes de um fruto nativo da Índia, popularmente conhecido como *bael* (*Aegle marmelos*), que passam por processos manuais de trituração para depois serem

misturadas a uma quantidade necessária de água, gerando assim uma pasta de consistência gelatinosa.

A exploração de técnicas milenares de elaboração de tintas utilizadas em culturas ocidentais e orientais mostraram-se relevantes para a presente tese, abordando as diferentes possibilidades de colorações obtidas a partir de insumos naturais e os processos de durabilidade das pinturas adotados em diferentes culturas. Segundo Hradil *et al.* (2003), os insumos naturais eram comumente utilizados em pinturas de paredes até o século XVIII, quando chegaram as primeiras indústrias de tintas imobiliárias na Europa e começaram a ser produzidos os pigmentos sintéticos.

### 2.1.2 Pigmentos sintéticos

Os pigmentos inorgânicos sintéticos são produzidos através de processos industriais controlados e, por este motivo, resultam tonalidades de colorações com maior poder de cobertura, uniformidade, poder tintorial, melhor dispersão e estabilidade durante a aplicação em relação aos pigmentos orgânicos naturais. No entanto, durante o processo de produção são utilizadas matérias-primas como sais de metais (ferro, cobre, cromo, chumbo e cádmio) que prejudicam a saúde de quem as manipula e, quando descartadas incorretamente, causam impactos negativos no meio ambiente (MENDA, 2011).

Atualmente, pesquisadores têm buscado soluções para minimizar os malefícios dos pigmentos sintéticos utilizados na elaboração de tintas e para substituir os metais que estão se tornando escassos. Empresas fabricantes de tintas vêm anunciando que, em breve, será impossível fabricar tintas de coloração azul, por exemplo, devido à escassez de matéria-prima (PATEL, 2021).

Em dezembro de 2022, pesquisadores da Universidade de Oregon, nos EUA, descobriram uma tonalidade de azul intensa e brilhante através de materiais que poderiam ser usados em aparelhos eletrônicos. A descoberta “acidental”, como mencionam os pesquisadores, ocorreu após submeter manganês (Mn), índio (In) e ítrio (Y) a 1.200°C, resultando em um condutor elétrico de péssima qualidade, mas que apresentava coloração azul similar ao

mineral semiprecioso lápis-lazúli, com maior durabilidade, estabilidade e resistência, quando comparado com os pigmentos azuis sintéticos disponíveis no mercado (SUBRAMANIAN e LI, 2022).

O pigmento azul descoberto pelos pesquisadores foi chamado de *YInMN Blue*, formado por estrutura única que permite que os íons de manganês absorvam o comprimento de onda de luz vermelha e verde, enquanto reflete apenas o azul. Além de ser atóxico, Subramanian e Li (2022) também afirmam que o *YInMN Blue* é capaz de refletir calor e, por este motivo, também é capaz de promover conforto térmico quando utilizado na elaboração de tintas imobiliárias e automotivas (SUBRAMANIAN e LI, 2022).

Além do *YInMN Blue*, a exploração das possíveis soluções de pigmentos sintéticos tem motivado a indústria de tintas imobiliárias com resultados positivos, como apresentados nas últimas edições do Congresso Internacional dos Fabricantes de Tintas, o *ABRAFATI Show*.

### 2.1.3 Tintas industrializadas

Kai Loh Uemoto, em 1993, definiu as tintas imobiliárias industrializadas como misturas de componentes que revestem as superfícies através cores que se convertem em uma película sólida após a aplicação de uma camada fina. Estes revestimentos, além da finalidade decorativa, têm como objetivo impedir a desagregação e a alteração dos materiais construtivos, protegendo-os contra os agentes nocivos do meio ambiente, e atuando como difusores ou refletores da luz que incide diretamente na edificação. (UEMOTO, 1993).

As tintas imobiliárias industrializadas são compostas por pigmentos, resinas, solventes e diversos aditivos utilizados para modificar a tensão superficial, melhorar a propriedade do fluxo, aparência final, estabilidade dos pigmentos, aplicabilidade do produto, e para conferir propriedades anticongelantes e antiespumantes, entre outras (ROCHA *et al.*, 2009).

Para melhorar as propriedades cinéticas são utilizados agentes secantes (feitos de cobalto, manganês, chumbo, zinco, cálcio, ferro, zircônio, cério, naftenatos e octoatos), catalizadores (álcool benzílico, mercaptana, fenol, cresol, bisfenol A, ácido salicílico, aminas alifáticas e terciárias, benzil dimetilanilina,

N,N-dimetilanilina, piridina, piperidina e amina terciária) e antipeles (oximas e fenóis). Para melhorar as propriedades de reologia são utilizados agentes espessantes de silicatos estratificados como esmectita e aditivos de anti-escorrimento. Para aditivos de processo são utilizados agentes surfactantes, umectantes, dispersantes, antiespumantes, nivelantes, entre outros. Por fim, para propriedades de preservação e durabilidade, são utilizados aditivos como biocidas e estabilizantes de ultravioleta (ROCHA *et al.*, 2009).

Além dessas substâncias químicas, também estão presentes na composição das tintas industrializadas os fenóis, formaldeído e metais pesados para a obtenção dos pigmentos, como cádmio (Cd) para obter a coloração amarela, cobre (Cu) para a coloração verde, cromo (Cr) para a coloração cinza e chumbo (Pb) para a coloração preta (OLIVEIRA, 2009).

Atualmente, apesar de muitos fabricantes não utilizarem substâncias como metais pesados e benzeno em sua composição como antigamente, os solventes orgânicos, hidrocarbonetos e outras substâncias nocivas utilizadas como aditivos ainda estão presentes na composição das tintas industrializadas disponíveis no mercado, devido à busca pelo desenvolvimento de produtos com características de qualidade capazes de conquistar certificados de bom desempenho.

Segundo a 56ª edição do Informe de Tintas de Qualidade elaborado pelo Programa Setorial de Qualidade da ABRAFATI de 2022, dentre as 58 empresas fabricantes de tintas imobiliárias avaliadas, 44 empresas ofereceram produtos com características dentro dos limites estipulados para a categoria látex econômica conforme ABNT NBR 15079-1 (2021), enquanto 14 empresas foram reprovadas por apresentarem produtos com qualidade insuficiente (ABRAFATI, 2022). Ou seja, 75,9% dos fabricantes de tintas imobiliárias estavam em conformidade quanto ao desempenho de suas tintas látex econômica em 2022, representando uma melhora no setor quando comparado com a 27ª edição do Informe de Tintas de Qualidade de 2015, em que 72,5% das empresas estavam em conformidade com as normas de desempenho, e com o relatório elaborado pelo INMETRO em 2008, em que apenas 46,6% dos fabricantes estavam em conformidade.

#### 2.1.4 Planejamento e modelagem de estudos de misturas

Visto que as tintas são uma mistura de diversos componentes, é importante determinar a proporção de cada insumo para conduzir a um resultado desejado em termos de uma variável que caracteriza a qualidade do produto final. Quando não há informações sobre a proporção ideal de cada componente, faz-se necessária a realização de experimentos para avaliar os valores correspondentes às características de qualidade, ou seja, as respostas do experimento (VIEIRA e DAL BELLO, 2006).

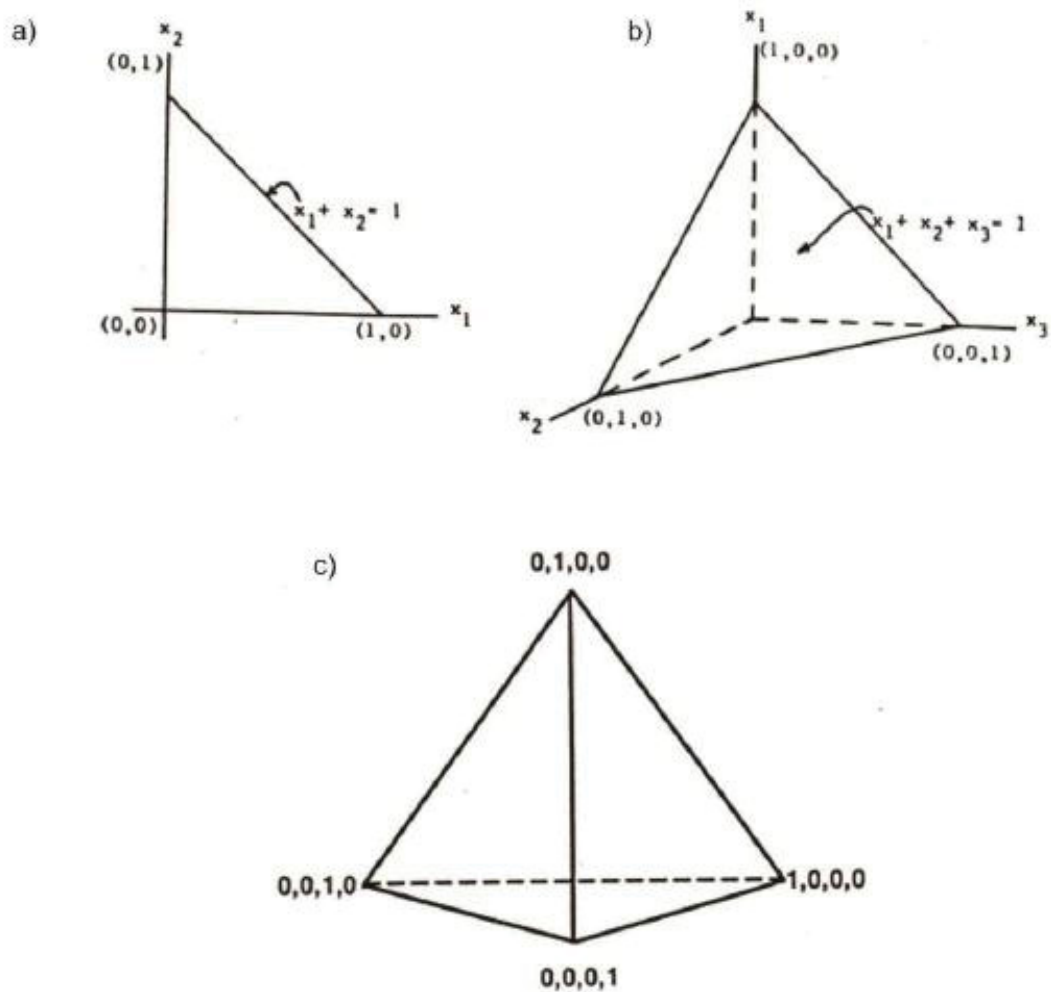
Segundo Gomes *et al.* (2005), no delineamento de uma mistura a resposta (ou propriedade) varia conforme as alterações nas proporções de seus componentes. Para Cardoso (2015), essa metodologia é eficaz na elaboração de tintas naturais, pois diminui o número de experimentos necessários para determinar as propriedades físicas ou reológicas consideradas ótimas do sistema em estudo.

Portanto, segundo Vieira e Dal Bello (2006), os modelos polinomiais consideram a soma das proporções dos componentes é igual a 1. A cada modificação de formulação para alterar as propriedades da mistura, a soma das novas proporções continua resultando em 1. Seja  $x_i$  a proporção do componente  $i$  ( $i = 1, 2 \dots q$ ) e sejam  $q$  componentes, essa proporção segue a restrição apresentada na equação 1:

$$\sum_{i=1}^q x_i = 1 \text{ e } x_i \geq 0, \quad i = 1, \dots, q \quad (1)$$

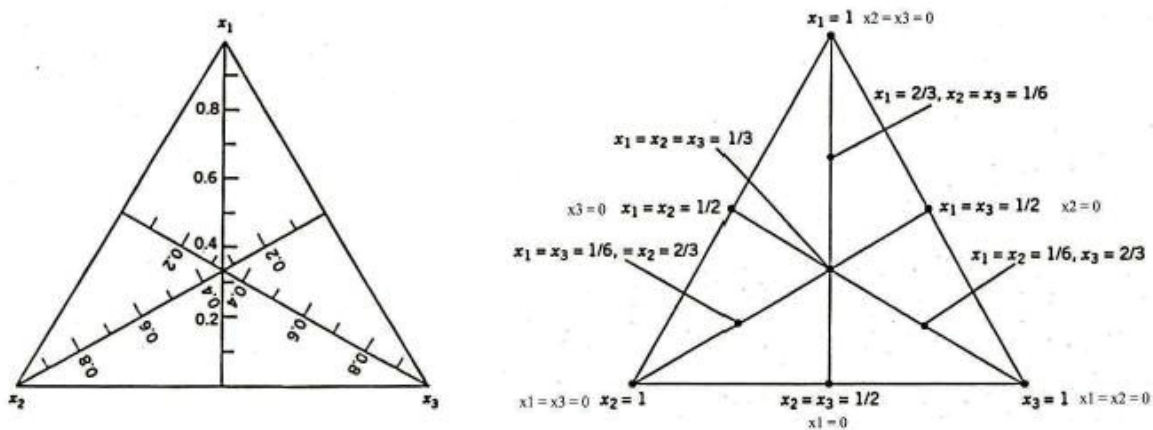
Assim, segundo Cornell (1990) *apud* Cardoso (2015), a alteração na proporção de um componente causa a alteração de pelo menos outro componente. Com base nessas restrições, a figura 12 apresenta os modelos de mistura binário (a), com um seguimento de reta; ternário (b), com três seguimentos de reta, formando um triângulo; e quaternário (c), com quatro seguimentos de reta, formando um tetraedro.

Figura 12 – Representação dos modelos de misturas binário (a), ternário (b) e quaternário (c)



Fonte: Cornell (1990) *apud* Cardoso (2015)

Vieira e Dal Bello (2006) explicam que cada lado desses modelos corresponde a uma mistura binária, os vértices correspondem às formulações de componentes puros, e no meio do segmento de reta e no interior do triângulo ou do tetraedro situam-se as possíveis misturas binárias (2 elementos), ternárias (3 elementos) ou quaternárias (4 elementos). Já que cada componente é representado por um vértice, em misturas ternárias, uma figura geométrica com três vértices e duas dimensões corresponde ao espaço fatorial restrito da mistura (*simplex*), como apresenta a figura 13.

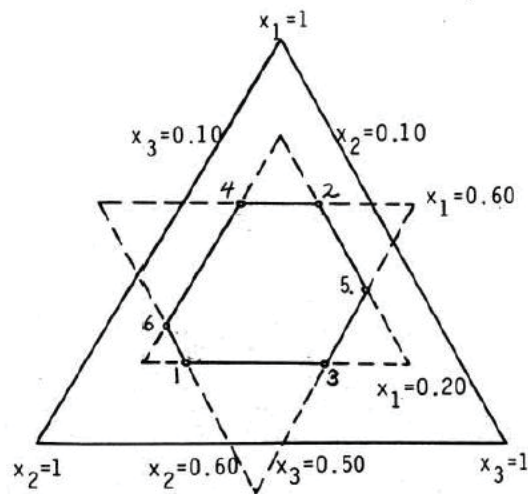
Figura 13 – Diagrama *simplex*

Fonte: Fonte: Cornell (1990) *apud* Cardoso (2015)

No entanto, segundo Vieira e Dal Bello (2006), devido aos motivos práticos ou técnicos, em certos experimentos com misturas pode haver a necessidade de restringir a proporção de um ou mais componentes, impossibilitando atingir todas as proporções possíveis. Neste caso, os autores indicam que o novo espaço experimental passa a ser uma sub-região da região das proporções matematicamente possíveis.

Em experimentos com misturas, também existe a possibilidade de existirem restrições que certos componentes impõem aos limites inferiores ou superiores de suas proporções. Esses limites podem produzir regiões com formas diferenciadas, impossibilitando o uso de certos delineamentos de mistura. Para solucionar este problema, Cardoso (2015) indica a proposta apresentada por MacLean e Anderson em 1966, em que os autores apresentaram a realização dos experimentos em pontos extremos e vários centroides na região de restrição do delineamento, como apresentado na figura 14.

Figura 14 – Seis vértices extremos do espaço de uma mistura hipotética em um delineamento de mistura



Fonte: MacLean e Anderson (1966) *apud* Cardoso (2015)

Segundo Cornell (1990) *apud* Cardoso (2015), para ajustar o planejamento de misturas para as condições em que se podem realizar as medições necessárias, são utilizados os pseudocomponentes (combinações dos componentes originais, utilizadas para redefinir as coordenadas das misturas em relação ao espaço experimental a ser estudado), a fim de reduzir a escala original e garantir que seja obedecida a mesma distribuição do experimento. Dessa forma, o planejamento experimental é aplicado apenas à área delimitada pelos pseudocomponentes, dentro da qual a modelagem de misturas será considerada válida.

A partir dessas informações, Cardoso (2015) elaborou misturas de tintas com pigmentos de solos através do delineamento em vértices extremos de grau 1, aumentado com pontos centrais e axiais. O autor produziu 31 misturas de tinta para cada pigmento (14 misturas ternárias e 17 misturas quaternárias), em que o volume final de cada mistura produzida foi de 600 ml. Após a obtenção das respostas para os pontos dos delineamentos experimentais, Cardoso (2015) ajustou os modelos polinomiais de mistura aos dados experimentais, em um primeiro momento, ao modelo cúbico completo e, posteriormente, aos modelos de menor grau (modelo cúbico especial, quadrático e linear).

No delineamento experimental de misturas, o valor  $p$  (também chamado de  $p$ -valor) é uma probabilidade de significância, ou seja, é a probabilidade de que a estatística do teste tenha um valor extremo em relação ao valor observado nas demais misturas quando a hipótese nula é verdadeira. Em testes de hipótese, por exemplo, rejeita-se a hipótese nula a 5% ( $p$ -valor $<0,05$ ), pois o  $p$ -valor pequeno significa que a probabilidade de obter um valor da estatística do teste é improvável, levando à rejeição da hipótese nula. Em sua pesquisa sobre formulação de tintas com pigmento de solos, Cardoso (2015) retirou os termos não significativos ( $p$ -valor  $> 0,05$ ), partindo dos de maior grau para os de menor grau, realizando uma nova análise a cada termo retirado. O autor também recorreu ao coeficiente de determinação ( $R^2$ ) a fim de realizar o ajuste do modelo. O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) expressa a variabilidade dos dados, sendo uma medida de ajuste que varia entre 0 e 1 (0% e 100%), ou seja, quanto mais próximo de 100%, mais adequado é o modelo. Todas as análises do experimento elaborado por Cardoso (2015) foram elaboradas através do *software* estatístico *Minitab 16*, bem como os gráficos de frequência das respostas estimadas pelo modelo de mistura.

Na etapa final do delineamento experimental de modelagem de mistura é elaborada uma análise de otimização adotando o mesmo peso para as variáveis resposta, em que são inseridos os parâmetros e ajustados os dados para enquadrar simultaneamente todas as variáveis resposta analisadas através do método *Desirability* (WANG e WAN, 2009). Segundo Paiva (2008), o valor de *Desirability* avalia os níveis do conjunto combinado de respostas, pertencente a um intervalo de 0 a 1 (ou 0 a 100%), que será maximizado quando todas as respostas se aproximarem o máximo possível de suas especificações, portanto, quanto mais próximo de 1 (100%), mais próximas as respostas originais estarão de seus respectivos limites de especificação.

Baseando-se nos estudos citados e nas análises estatísticas realizadas por Cardoso (2015) na elaboração de tintas com pigmentos de solo, a presente tese considerou utilizar o delineamento experimental de misturas para encontrar quantidades e proporções dos componentes consideradas ideais para a elaboração de tintas com pigmentos vegetais através da otimização conjunta das variáveis respostas, a fim de gerar uma formulação que se enquadre nos limites

de desempenho estipulados por norma técnica e apresentar um produto que se enquadre no conceito de tecnologia social.

### 2.1.5 Tecnologia social

O conceito de tecnologia social, segundo Dagnino (2009) compreende produtos, técnicas e/ou metodologias reaplicáveis, desenvolvidas na interação com a comunidade e que representem efetivas soluções de transformação social, cujos elementos compõem as propostas de responsabilidade social e economia solidária, promovendo a inclusão social. Por este motivo, segundo o autor, este conceito dialoga com os movimentos sociais incentivando políticas públicas que favoreçam seu crescimento, fomento e disseminação, contando com instituições públicas, alunos, professores, cooperativas, organizações não governamentais, institutos de pesquisas e pessoas diretamente ligadas aos movimentos sociais.

Neste contexto, pesquisadores, professores e artistas vêm disseminando as técnicas da autoprodução de tintas artesanais elaboradas com insumos naturais com o objetivo de apresentar alternativas para o revestimento de moradias às pessoas que não tem acesso às tintas industrializadas devido ao alto custo no mercado atualmente, como o Projeto Cores da Terra da Universidade Federal de Viçosa (UFV) e as oficinas e *workshops* ministrados pelo coletivo de profissionais do *Terra Coletiva*<sup>2</sup>, do qual fiz parte em 2019, por exemplo.

Através das oficinas e *workshops* foi possível concluir que a elaboração da própria tinta através de materiais locais gera nas pessoas o sentimento de pertencimento e autonomia, impulsionando a criatividade e a busca por novas possibilidades para revestir e decorar a própria moradia, gerando o bem estar. Possibilidades associadas são a de promover a capacitação profissional dos moradores para obtenção de renda através dos *workshops*; disseminar os conhecimentos em escolas através de trabalhos com crianças; e promover o

---

<sup>2</sup> Coletivo de artistas plásticos, pintores e pesquisadores que exploram as possibilidades de elaboração de tintas com insumos naturais para aplicação em pinturas murais, além de outros substratos, e divulgam suas técnicas através de workshops pela América do Sul. Página pessoal: <https://www.instagram.com/terra coletiva/>.

resgate cultural dos conceitos e técnicas vernaculares utilizados por antepassados, esquecidos e/ou ignorados nos dias atuais, pois, segundo Belati (2016), a descoberta dos corantes químicos e seus benefícios relacionados à durabilidade contribuíram para a substituição dos corantes naturais, provocando a perda gradativa dos conhecimentos culturais sobre o uso dos pigmentos naturais e a origem das cores.

Na última década, artistas plásticos e pintores buscam inovações para suas expressões artísticas em pinturas murais, como a elaboração artesanal de suas próprias tintas no local e o uso de elementos naturais para a obtenção de diferentes cores. Na 25ª edição do Festival de Inverno organizado pela Universidade Federal do Paraná na cidade de Antonina-PR em 2015, por exemplo, em parceria com a artesã Marcela da Terra<sup>3</sup>, ministrei uma oficina explorando as cores das terras e argilas extraídas no local, e elaboramos junto à comunidade uma pintura mural em uma parede interna (figura 15), destacando a importância turística, econômica e cultural da cidade no litoral paranaense.

Figura 15 – Pintura mural elaborado durante a 25ª edição do Festival de Inverno em Antonina-PR



Fonte: a autora

Nesse evento, foram elaboradas 25 cores diferentes utilizando terras e argilas coletadas na área urbana e rural de Antonina-PR como pigmentos; goma de polvilho, cola branca (poliacetato de vinila – PVA) e goma de cacto como

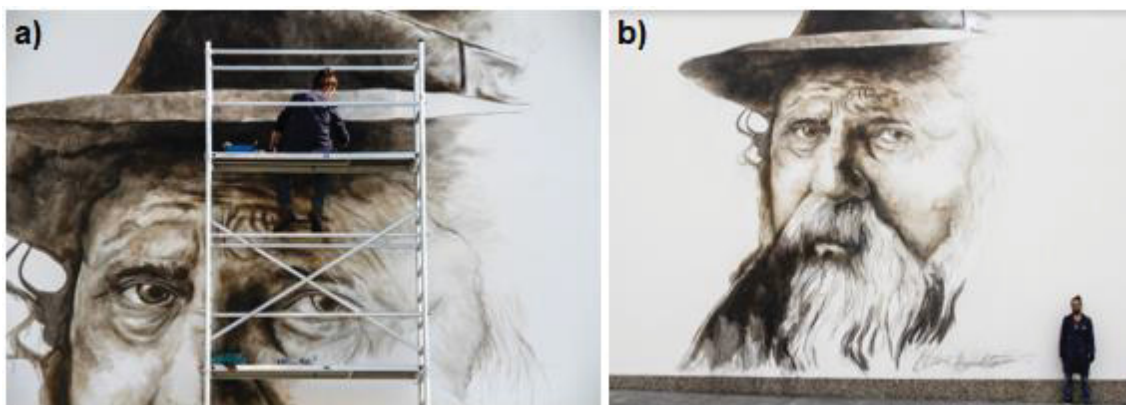
---

<sup>3</sup> Páginas pessoais: <https://instagram.com/marceladaterra?igshid=ZDdkNTZiNTM=> e <https://behance.net/marceladaterra>.

agentes aglutinantes; água como solvente; e óleo de linhaça como aditivo para garantir a durabilidade das tintas após a aplicação.

Através de *workshops* e de publicações em redes sociais e páginas pessoais, os artistas plásticos e pintores têm disseminado seus conhecimentos e experiências em elaborar e aplicar tintas imobiliárias utilizando insumos naturais de fácil acesso e baixo custo. O artista visual, conservador e restaurador de obras de arte Elton Hipólito<sup>4</sup>, por exemplo, elabora pinturas murais utilizando pigmentos de terras coletados no local. Natural de São Paulo (SP), o artista dissemina sua arte e suas experiências na elaboração de tintas com insumos naturais locais através de *workshops* de pinturas murais. As figuras 16-a e 16-b apresentam pintura mural em uma parede externa do teatro Vila Nova de Cerveira, em Portugal, elaborada por Elton com pigmentos de carvão vegetal e terra extraída do local, e aglutinante de resina PVA, para homenagear o artista recém falecido José Rodrigues durante o Programa de Residência Artística da Fundação Bienal de Cerveira em 2016.

Figura 16 – Pintura mural elaborada por Elton Hipólito



Fonte: a autora

O uso de insumos naturais na elaboração de tintas imobiliárias tem crescido nos últimos anos devido à conscientização sobre a importância em minimizar os impactos ambientais causados pelo uso de tintas. Além de artistas plásticos e artesãos, atualmente pesquisadores de diferentes áreas do conhecimento têm explorado o uso de insumos naturais a fim de incentivar o uso

<sup>4</sup> Páginas pessoais: <https://www.instagram.com/eltonhipolito/> e <https://www.eltonhipolito.com/>

dessas técnicas sustentáveis e comprovar a viabilidade em substituir as pinturas internas e externas de edificações por tintas naturais artesanais e promover a disseminação de uma tecnologia social na área das tintas imobiliárias.

## 2.2 TINTAS NATURAIS

As tintas consideradas naturais são compostas, basicamente, por pigmento, aglutinante e solvente, cuja elaboração consiste em processos simples. O pigmento é responsável por conferir coloração à tinta, o aglutinante une as partículas e adere a tinta na superfície, e o solvente melhora a aplicabilidade da mistura, volatizando-se após a aplicação.

Atualmente são conhecidas poucas alternativas de solventes naturais, como a água, a isoparafina e o delimoneno (subproduto da laranja), sendo a água o solvente ecológico comumente utilizado (MEIRELLES, 2007; CARDOSO, 2015). Cardoso *et al.* (2016) afirmam que o solvente também tem as funções de solubilizar o aglutinante e manter os pigmentos em mistura homogênea.

O agente aglutinante é a parte não volátil das tintas, cujo objetivo é de aglomerar as partículas de pigmentos através de processos de aglutinação. Em tintas em que o solvente utilizado é a água, o aglutinante está presente na forma de dispersão aquosa de partículas de dimensões submicrométricas.

### 2.2.1 Definição de ecológico, natural e orgânico

A definição e a distinção entre os termos ecológico, natural e orgânico são necessárias para a presente pesquisa, uma vez que as características de nocividade e toxicidade não estão limitadas apenas a produtos industrializados e sintéticos. A terebentina, por exemplo, é um insumo natural de origem vegetal, obtida através da destilação da resina de coníferas como o pinheiro (*Pinus elliotii*), comumente utilizado como solvente em tintas e vernizes, cuja toxicidade é considerada aguda, classificada pela Ficha de Informações e Segurança de Produtos como toxicidade de grau 4 (FISPQ, 2020).

Segundo a cartilha publicada em 2008 pelo Programa Internacional de Segurança Química (PISQ), em parceria com a OMS, na natureza existem

diversas substâncias cuja composição química, ou o excesso de dosagem a que os seres humanos são expostos, podem causar danos a sua saúde, como o fluoreto (presente na água e em alguns alimentos), toxinas e micotoxinas causadas por bactérias presente em alguns alimentos, e substâncias produzidas naturalmente pelas plantas para afastar insetos predadores, como os alcaloides, cianogênicos e glucosinolatos (PISQ, 2008).

Segundo Márcio Augusto Araújo, consultor e diretor do Instituto para o Desenvolvimento da Habitação Ecológica (IDHEA), o conceito de produtos “ecológicos” é definido como “todo artigo de origem artesanal ou industrializada, de uso pessoal, alimentar, residencial, comercial, agrícola ou industrial, que não seja poluente ou tóxico, benéfico ao meio ambiente e à saúde dos seres vivos, contribuindo para o desenvolvimento de um modelo econômico e social sustentável”. O autor afirma que materiais ecológicos são aqueles cujos processos produtivos sejam ambientalmente adequados, considerando o planejamento de todo seu ciclo de vida e todos os elos da cadeia produtiva, desde os fornecedores aos consumidores (ARAÚJO, 2013).

Em 23 de dezembro de 2003 foi publicada a Lei 10.831 (BRASIL, 2003), que traz em seu primeiro artigo a definição e finalidade de um sistema de produção orgânico. Segundo a Lei, o produto orgânico é definido como “aquele obtido em sistema orgânico de produção agropecuário ou oriundo de processo extrativista sustentável e não prejudicial ao ecossistema local”, seja ele *in natura* ou processado.

A Instrução Normativa 007/99, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), em seu item 1.1, considera “sistema orgânico de produção agropecuária e industrial todo aquele em que se adotam tecnologias que otimizem o uso dos recursos naturais e socioeconômicos, respeitando a integridade cultural e tendo por objetivo a auto-sustentação no tempo e no espaço, a maximização dos benefícios sociais, a minimização da dependência de energias não-renováveis e a eliminação do emprego de agrotóxicos e outros insumos artificiais tóxicos, organismos geneticamente modificados, transgênicos ou radiações ionizantes em qualquer fase do processo de produção, armazenamento e de consumo, e entre os mesmos, privilegiando a preservação da saúde ambiental e humana” (MAPA, 1999).

Segundo o Instituto Biodinâmico (IBD), responsável pela certificação de produtos orgânicos da América Latina, os produtos orgânicos não contêm substâncias tóxicas, produtos geneticamente modificados ou testados em animais. Na definição do Instituto, tais produtos são produzidos com o objetivo de minimizar o impacto ambiental em sua cadeia produtiva, fazendo a junção entre valores de sustentabilidade e responsabilidade social. De acordo com a certificação concedida pelo IBD, os produtos classificados como “orgânicos” possuem, no mínimo, 95% de substâncias “orgânicas” segundo a definição do Instituto, enquanto os produtos classificados como “naturais” possuem, no mínimo, 5% de substâncias orgânicas (IBD, 2018).

No Dicionário de Ecologia estão definidos os termos “ecológico” como um sistema que não causa impactos negativos ao meio ambiente; “natural” como aquilo que não é produzido pelo homem, mas pela natureza; e “orgânico” como algo de origem animal ou vegetal produzido sem o uso de produtos químicos (BRIGAGÃO, 1992).

Para a presente pesquisa, considera-se a definição de “natural” de Lefreve *et al.* (2008), em que produtos considerados “naturais” são aqueles cujas moléculas químicas são obtidas de organismos vivos, sejam estes animais ou vegetais. A partir dessa definição, conclui-se que “natural” é o contrário de “artificial” (do latim “*artificiale*”, que significa algo que não é natural, mas produzido pelo homem) e “sintético” (ação de unir componentes de maneira artificial), segundo os autores.

Diante das definições apresentadas e, considerando que a presente pesquisa não se propõe a estudar o método de produção dos elementos, sua responsabilidade social, ambiental e econômica, será adotado o termo “natural” para o objeto de análise pois a maior parte de seus componentes são extraídos de fontes vegetais.

### 2.2.2 Pigmentos minerais

Pereira (2008) indica que as tintas naturais elaboradas com pigmentos minerais se comportam com maior estabilidade e variam suas cores em função do teor do óxido de ferro, seja na forma anidra (sem água em sua composição)

ou hidratada. O autor afirma que os pigmentos de óxidos simples, os sulfatos, fosfatos e carbonatos são considerados como os mais estáveis às ações das intempéries.

A argila é comumente utilizada como pigmento na elaboração de tintas imobiliárias, devido à gama de tonalidades disponíveis, como tons de verde-oliva, cinza, bege, marrom, entre outros. A figura 17-a exemplifica um bloco de argila coletado pela oceanógrafa e artesã Marcela Pagani durante sua experiência com caiçaras no litoral do Paraná, e a figura 17-b apresenta os pigmentos minerais peneirados a partir do bloco de argila coletado, prontos para a elaboração das tintas.

Figura 17 – Bloco de argila (a) e diferentes cores de pigmento mineral (b)



Fonte: a autora

A cartilha elaborada pelo projeto Cores da Terra da Universidade Federal de Viçosa em 2009, atualizada em 2022, explica os procedimentos para o preparo das paredes que receberão as pinturas naturais elaboradas com pigmentos minerais. Segundo as cartilhas, em um primeiro momento faz-se necessária a limpeza da superfície com vassoura, escova de aço ou lixas, e verificar a ausência de mofo, umidade, vazamentos ou infiltrações. A recomendação é de não aplicar as tintas em paredes com cal solta, crostas ou em paredes pintadas com tinta à óleo, esmalte ou tinta acrílica. As tintas apresentam maior aderência quando aplicadas em paredes com porosidade. Depois de lixar, recomenda-se retirar a poeira com vassoura e passar rolo umedecido com água na parede que receberá a tinta (CARVALHO *et al.*, 2009; CARVALHO e CARDOSO, 2022).

Cardoso (2015) coletou três tipos de solos no município de Viçosa-MG para avaliar o desempenho e os processos de produção de tintas minerais a fim

de criar uma tecnologia social. O autor utilizou o disco *Cowles* para dispersar as partículas dos solos e selecionar as partículas menores, avaliando a estabilidade das suspensões na presença e ausência de dispersante químico e, através do delineamento experimental de misturas, produziu misturas ternárias (água, solução de NaOH e resina polimérica de poliacetato de vinila - PVA) e quaternárias (água, solução de NaOH, PVA e álcool etílico) para cada pigmento de solo analisado. Cardoso (2015) também avaliou o desempenho dessas misturas quanto aos poderes de cobertura da tinta seca (PCS), poder de cobertura da tinta úmida (PCU) e a resistência à abrasão (RAU), segundo os limites estabelecidos por norma técnica para tintas látex da categoria econômica. O autor concluiu que as misturas quaternárias proporcionaram os melhores resultados, e que o pH exerceu forte influência sobre o desempenho das tintas frente aos ensaios de viscosidade, RAU, PCS e PCU. Ao avaliar o pH das misturas de tinta, o autor concluiu que quanto maior o pH, menor a RAU.

Cardoso *et al.* (2013) avaliaram os efeitos da desagregação mecânica de dois tipos de solos utilizados na elaboração de tintas minerais, a fim de resgatar e aperfeiçoar a técnica do “barreado”, comumente utilizada no meio rural brasileiro. Os autores submeteram 24 misturas de tintas à desagregação mecânica e ao destorroamento, com adições graduais de resina PVA. Os autores também elaboraram ensaios de RAU e verificaram o aumento da RAU conforme a adição do PVA. Cardoso *et al.* (2013) concluíram que a quantidade de PVA necessária para alcançar a RAU mínima exigida segundo a norma técnica de desempenho depende da mineralogia e da textura do solo utilizado, e que a alta intensidade de desagregação para produzir tintas imobiliárias à base de solos pode aumentar ou reduzir a RAU em função das características dos solos.

Cardoso *et al.* (2016) avaliaram os processos de produção e desempenho de misturas de tintas elaboradas com pigmento de solo da região de Viçosa - MG e resina PVA, de acordo com os requisitos mínimos determinados pela norma técnica para tintas da categoria látex econômica. Os autores avaliaram a determinação do PCS, PCU, RAU, e as características químicas dos solos, ajustando as quantidades de resinas e teor de sólidos conforme recomendado por Silva e Uemoto (2005) para tinta látex. As faixas ideais de viscosidade das tintas de solo foram determinadas pelos autores através da variação da

proporção dos componentes a fim de alcançar viscosidade similar à de tintas convencionais. Cardoso *et al.* (2016) concluíram que a quantidade de água é um fator importante para determinar a viscosidade, e baixas viscosidades apresentam melhor PCS. Também concluíram que as misturas com quantidades de PVA que se aproximaram do limite superior apresentaram resultados satisfatórios, pois, segundo Castro (2009), quando é utilizada uma quantidade de resina menor que a suficiente para envolver todas as partículas de pigmentos, ocorre a aglomeração e, assim, o surgimento de poros que permitem a entrada de água e outros agentes que comprometem a resistência da película. Segundo Cardoso *et al.* (2016), o equilíbrio da viscosidade relaciona-se diretamente com a quantidade de solvente, considerando-se as características morfológicas e físico-químicas de cada pigmento utilizado nas misturas de tintas.

Além dos pigmentos minerais obtidos de solos e argilas, é comum a elaboração de tintas naturais com pigmentos de cal (óxido de cálcio), considerada como uma das mais antigas pinturas conhecidas na humanidade. A cal é fungicida, não é tóxica e permite a difusão do vapor d'água (ou 'respiração') da parede. No entanto, a desvantagem da pintura a cal é sua baixa viscosidade, a respinga durante a aplicação, e a baixa resistência às intempéries (UEMOTO *et al.*, 2006).

A cal atua como agente bactericida e fungicida devido à sua alcalinidade, impedindo a formação de manchas, além de proporcionar economia de tinta quando adicionada como base. A cal é comumente utilizada em tintas ecológicas para aplicação em construções de terra crua juntamente com outros insumos naturais para conferir a resistência à ação da água, e em pinturas de paredes internas de casas coloniais brasileiras (ALVARENGA, 2006; CAMÕES *et al.*, 2012; FARIA, 2015).

Em minha dissertação de mestrado (FARIA, 2015) comprovei a resistência de tintas elaboradas com pigmentos minerais frente à ação da chuva e do sol simulada em laboratório através do experimento de intemperismo acelerado. As misturas de tintas naturais foram elaboradas com pigmentos minerais (argilas e cal), aglutinante de resina PVA, aditivos de óleo de linhaça (*Linum usitatissimum*), soro de leite (proteína caseína) e cloreto de sódio, e comparei o desempenho das misturas com uma tinta industrializada. Através dos

ensaios em laboratório, foi possível concluir que os aditivos melhoraram a performance das misturas, com exceção da argila verde que apresentou rachaduras devido à substância expansiva *montmorilonita*.

A partir dos resultados satisfatórios, ministrei oficinas no estado do Paraná para disseminar os conhecimentos sobre a possibilidade de elaborar tintas com insumos naturais, elaborar novas receitas, descobrir diferentes tonalidades com terra, argila, cal e carvão vegetal, e testar a aplicabilidade das misturas, como a oficina de tintas na cidade de Curitiba-PR com alunos da Universidade Federal do Paraná (FARIA e SCHMID, 2015).

A figura 18 apresenta as diferentes tonalidades de tintas minerais aplicadas em uma parede externa em oficina que ministrei para moradores da cidade Pontal do Sul – PR em 2015.

Figura 18 – Diferentes tons de tintas minerais aplicadas em paredes externas em Pontal do Sul - PR



Fonte: a autora.

A figura 19-a apresenta a pintura de paredes externas de uma edificação utilizando rolos e pincéis de pintura (brochas) durante uma oficina que ministrei em 2015 na cidade de Colombo-PR. A figura 19-b apresenta a aplicação de tinta com pigmento mineral com pistola pulverizadora elétrica em uma parede interna de edificação no Instituto São Francisco, na cidade de São Bernardo do Campo-SP.

Figura 19 – Pintura de paredes externas em Colombo – PR (a) e parede interna em São Bernardo do Campo – SP (b)



Fonte: a autora

### 2.2.3 Pigmentos vegetais

No livro “Corantes Naturais da Flora Brasileira: guia prático de tingimento com plantas”, publicado em 1997, Eber Lopes Ferreira relatou a diferença entre os pigmentos vegetais. Segundo o autor, os pigmentos extraídos das flores são luminosos, claros e coloridos, porém apresentam instabilidade frente às intempéries, enquanto os pigmentos extraídos da raiz das plantas, apesar de apresentarem maior estabilidade e durabilidade, são menos luminosos que os primeiros. Os pigmentos oriundos dos caules e das folhas encontram-se como intermediários entre estes dois (FERREIRA, 1997).

Belati (2016) afirma que a extração dos pigmentos vegetais não se restringe à área rural, pois as possibilidades de plantas tintoriais são de fácil obtenção e cultivo. Segundo a autora, em grandes cidades, por exemplo, é possível extrair pigmentos vegetais a partir do desperdício do beneficiamento de madeiras e de poda de árvores presentes no paisagismo urbano, bastando apenas conhecer as várias espécies de plantas e os recursos e propriedades que cada uma oferece para elaboração de uma tinta de qualidade.

Além da elaboração de tintas para diferentes aplicações, os pigmentos extraídos de vegetais também são utilizados para elaborar medicamentos “caseiros” devido às suas propriedades bactericidas e antioxidantes, como a curcumina, pigmento de coloração amarelada extraído da raiz do açafrão-da-terra (*Curcuma longa* L.), por exemplo (SAXENA e RAJA, 2014).

Zilli (2008) explorou as possibilidades de cores extraídas de fontes vegetais, e constatou que a coloração amarela pode ser extraída da flor de marcela, cravo de defunto ou cravina, girassol e outras flores; a cor laranja pode ser extraída do urucum, flor do campo, ou flores com tonalidades alaranjadas; tons avermelhados são extraídos do tomate, sementes de polpa vermelha, mistura de marcela e beterraba, pau-brasil; tonalidades carmins são obtidas da beterraba ou cascas de jabuticaba; a cor verde pode ser extraída de erva mate, couve, espinafre e folhas diversas; tons azulados são obtidos de feijão preto (água de cozimento) ou flor campainha; a cor roxa é extraída de pétalas de rosa e cascas de uva; as tonalidades marrons podem ser obtidas através de café, ou madeiras como cedro, cajarana, louro, pinho, caviúna e imbuia; e a cor preta é oriunda de fuligens, sementes e ossos queimados e carvão vegetal.

O carvão vegetal é considerado uma alternativa ecológica para substituir o *negro de fumo* (subproduto do petróleo, comumente utilizado como pigmento preto nas indústrias brasileiras), pois é um produto resultado da carbonização da celulose presente em madeiras de eucalipto roxo (*Eucalyptus saligna*), eucalipto vermelho (*Eucalyptus urophylla*), entre outras espécies. O pigmento preto obtido do carvão vegetal é atóxico, inodoro, estável em altas temperaturas, sendo também utilizado na indústria alimentícia como Corante E 153. O pigmento preto é constituído por cerca de 70% de carbono, podendo conter pequenas quantidades de nitrogênio, oxigênio e hidrogênio, obtido através de processos simples de moagem do carvão vegetal, prática considerada menos nociva ao meio ambiente (SANTOS, 2013).

Wisniak (2004) explorou os pigmentos utilizados no tingimento têxtil utilizados desde a antiguidade e concluiu que, devido ao fato dos pigmentos vegetais serem ácidos fracos presentes em estado dissolvido ou depósitos granulares nas plantas, fatores como luz, ar, ozônio e agentes oxidantes como o cloro, são responsáveis por decompor os cromóforos, enquanto substâncias como o dióxido de enxofre podem reversivelmente transformá-los em incolores. O autor ressalta que aditivos com elevada acidez alteram a cor da maioria dos pigmentos vegetais de azul para vermelho, e de vermelho para amarelo; substâncias alcalinas possuem efeito semelhante, mudando os tons vermelhos para azuis, os azuis para verde, e os amarelos para vermelho ou castanho-

avermelhado. Segundo o autor, a neutralização do ácido ou da base é capaz de resgatar a coloração original.

Nos próximos subcapítulos estão descritos os principais pigmentos de origem vegetal, suas fontes, métodos de extração, conservação e os elementos químicos responsáveis por sua coloração, cujas informações mostraram-se relevantes como embasamento teórico para a presente tese. A tabela 1 apresenta a síntese das informações contidas nos próximos subcapítulos.

Tabela 1 – Principais pigmentos vegetais, origem e processos de extração

Pigmento	Origem	Processo de extração	Fonte
Curcumina	raiz de açafrão-da-terra	infusão	VOLP <i>et al.</i> , 2009; VANUCHI, 2019; ARAÚJO, 2008
Celulose carbonizada	carvão vegetal	trituração	SANTOS, 2013
Clorofila	vegetais de coloração verde	Infusão, maceração	VOLP <i>et al.</i> , 2009; VANUCHI (2019)
Antocianina	vegetais de coloração vermelha, azul e roxa	infusão	LOPES <i>et al.</i> , 2007; RIBEIRO e SERAVALI, 2007
Betalaína	beterraba	Infusão, maceração	GONÇALVES, 2014; RIBEIRO e SERAVALI, 2007
Tanino	vegetais adstringentes	Infusão, maceração	RIBEIRO e SERAVALI, 2007; PERES, 2010; CARVALHO, 2011
Bixina	sementes de urucum	Infusão, maceração	STRINGHETA e SILVA, 2008; MARMION, 1991; OLIVEIRA, 2005

Fonte: a autora

### 2.2.3.1 Clorofila

A clorofila é uma substância essencial ao processo da fotossíntese, sendo responsável pela coloração verde em folhas, frutas e legumes. Está presente em tecidos vivos e na suspensão coloidal nas células de cloroplastos (plastídios responsáveis pela fotossíntese). A fragilidade nas ligações entre as moléculas facilita o processo de extração de clorofila dos tecidos vegetais através do

simples processo de maceração do tecido vegetal com solventes orgânicos (VOLP *et al.*, 2009).

No entanto, segundo Vanuchi (2019), a estrutura química da clorofila pode ser facilmente alterada por diversos fatores como o pH, a presença de metais bivalentes, aquecimento, enzimas, presença de luz e oxigênio, causando oscilação ou perda total de sua coloração.

#### 2.2.3.2 Carotenoides

Os carotenoides constituem um dos mais importantes grupos de pigmentos naturais devido à sua larga distribuição, diversidade estrutural e inúmeras funções. São facilmente encontrados na natureza, principalmente nos cloroplastos junto às clorofilas, presentes nas plantas. A mudança da coloração no amadurecimento dos frutos ou no envelhecimento de hortaliças é causada pelo desaparecimento das clorofilas, cuja presença mascara a cor dos outros pigmentos. Durante o processo de amadurecimento dos frutos, os cloroplastos se transformam em cromoplastos (plastídios que sintetizam e retêm os pigmentos), estimulando a síntese de novos carotenoides (BOBBIO e BOBBIO, 2003; RIBEIRO e SERAVALLI, 2007).

Vanuchi (2019) indica a existência de mais de 300 carotenoides, divididos em carotenos (constituídos por carbono e hidrogênio) e xantofilas (compostos derivados resultantes da oxidação dos carotenos). Segundo Bobbio e Bobbio (2003), o extenso sistema de duplas ligações conjugadas atuam como um cromóforo de absorção de luz responsável pelas cores amarela, laranja e vermelho que estes compostos concedem a muitos alimentos.

Segundo Ribeiro e Seravali (2007) e Valduga (2005), quanto maior o número de ligações conjugadas, maiores as bandas de absorção em comprimentos de onda, acentuando a tonalidade avermelhada dos carotenoides. A coloração amarela, por exemplo, possui sete ligações conjugadas. No entanto, segundo Vanuchi (2019), os carotenoides são solúveis em compostos orgânicos, perdem a coloração por oxidação e são facilmente isomerizados por calor, ácidos ou luz. A autora indica que as duplas ligações podem apresentar configuração *cis* (quando os dois ligantes de maior número atômico estão no mesmo lado do

plano), cujo aumento de duplas ligações enfraquecem gradualmente a cor, ou configuração *trans* (quando os dois ligantes de maior número atômico estão em lados opostos do plano), de maior frequência na natureza, apresentando coloração escura.

Os animais não possuem a capacidade de sintetizar os carotenoides presentes em alimentos vegetais de colorações amarela, laranja e vermelha quando ingeridos. Portanto, os carotenoides encontrados unicamente em animais são provavelmente produtos resultantes de mudanças metabólicas, geralmente oxidativas, obtidos através da ingestão de outros carotenoides existentes em vegetais. A coloração cor-de-rosa do peixe salmão, por exemplo, deve-se à ingestão de plantas marinhas ricas em astaxantina. Além do salmão, as aves como os flamingos e os crustáceos como as lagostas e siris também apresentam coloração cor-de-rosa pelo mesmo motivo (RIBEIRO e SERAVALLI, 2007; MESQUITA *et al.*, 2017; BOBBIO e BOBBIO, 2003). A ave Guará (*Endocimus ruber*), por exemplo, abundante até meados do século XIX no litoral do Paraná (particularmente em cidades como Guaratuba e Guaraqueçaba, que motivaram o nome da ave), possui coloração vermelha devido à sua alimentação de crustáceos cor-de-rosa, que se alimentam de vegetais ricos em carotenoides (SCHERER, 2013).

### 2.2.3.3 Antocianinas

As antocianinas são pigmentos responsáveis pela coloração vermelha, azul e roxa presentes na casca e polpa de vegetais. Frutos como maçã (*Pyrus mallus*) e groselha roxa (*Ribes rubrum*), por exemplo, contêm somente um tipo de pigmento de antocianina, a *cianidina*, enquanto frutos como uva (*Vitis vinifera*) e mirtilos (*Vaccinium myrtillus*) apresentam a combinação de cinco a seis antocianinas (SIMÓN *et al.*, 2002).

As antocianinas são comumente utilizadas como corantes naturais em alimentos industrializados, no entanto, existem restrições devido à baixa estabilidade em meios aquosos e pH acima de 2, condições comuns durante o processamento e estocagem dos alimentos (FRANCIS, 2000).

As antocianinas são glicosídeos de antocianidinas (aglicona, estrutura química dos compostos resultantes da substituição de um ou vários grupos de açúcares por hidrogénios). Pertencentes ao grupo dos flavonoides, as antocianinas constituem o maior grupo de pigmentos hidrossolúveis existentes no reino vegetal, e apresentam maior estabilidade quando comparadas às antocianidinas (FRANCIS, 2000; FREITAS, 2019).

Segundo Francis (2000), os principais fatores que influenciam a estabilidade das antocianinas são: estrutura química, pH, temperatura, luz, presença de oxigênio, degradação enzimática e interações entre os componentes dos alimentos (ácido ascórbico, íons metálicos, açúcares e copigmentos).

As antocianinas podem ser obtidas por extração a frio com metanol ou etanol acidificado. A substituição dos grupos hidroxilas (-OH) e metoxilas (-O-CH<sub>3</sub>) influenciam na cor das antocianinas. Enquanto o aumento do número de hidroxilas tende a acentuar a coloração azulada, o aumento do grupo metoxila acentua a coloração vermelha (LOPES *et al.*, 2007; RIBEIRO e SERAVALI, 2007).

Segundo Vanuchi (2019), o aumento dos grupos de hidroxilas na molécula converte o comprimento de onda de absorção máxima de antocianina para o comprimento de onda mais longo, resultando na mudança da coloração alaranjada para azul-avermelhado. A autora afirma que, para reverter este processo, basta substituir as hidroxilas por metoxilas (VANUCHI, 2019).

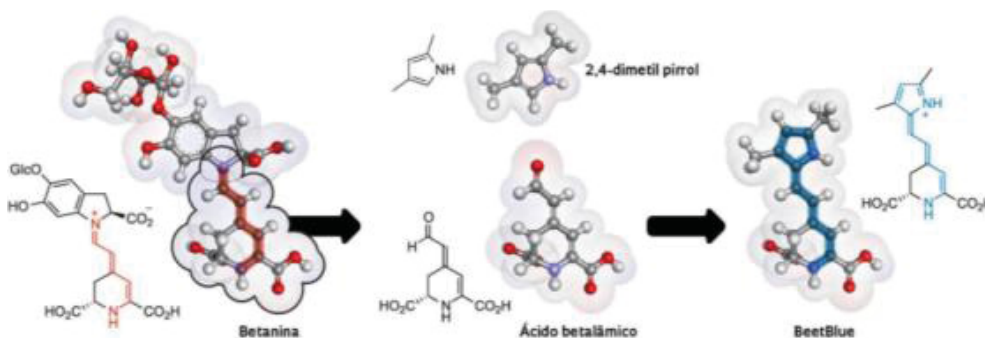
#### 2.2.3.4 Betalaínas

As betalaínas são encontradas somente em vegetais, assemelham-se às antocianinas na aparência e na reatividade. São compostos hidrossolúveis encontrados apenas em dez famílias da ordem *Centrospermae*, a qual pertence a beterraba. Esses pigmentos compreendem as betacianinas (de coloração vermelha) e as betaxantinas (de coloração amarela). A principal betacianina é a betanina, um glicosídeo da betanidina, que corresponde de 75 a 95% do pigmento da beterraba (GONÇALVES, 2014; RIBEIRO e SERAVALI, 2007).

A estabilidade de cor das betalaínas em solução pode ser influenciada pelo pH e aquecimento. A degradação da betanina pode ocorrer por exposição à luz e ao oxigênio, resultando em ácido betamínico e ciclodopa. É possível evitar essa degradação através de antioxidantes como ácido ascórbico e iso-ascórbico (VANUCHI, 2019).

Em abril de 2020 o grupo de pesquisadores do Instituto de Química da Universidade de São Paulo (IQ-USP) publicou a descoberta de um corante azul atóxico e renovável a partir do pigmento da betanina presente na beterraba, denominado *Beetblue*, capaz de tingir papel, tecidos de algodão, fios de seda, cabelo, iogurte, entre outros materiais. Os pesquisadores identificaram a betanina presente no suco da beterraba, quebrando a molécula para produzir o ácido betalâmico, posteriormente adicionando o 2,4-dimetil pirrol para gerar uma molécula com uma sequência longa de ligações simples e duplas alternadas, de coloração azul, como apresentado na figura 20 (FREITAS-DÖRR *et al.*, 2020).

Figura 20 – Molécula de betanina transformando-se em *BeetBlue*



Fonte: Freitas-Dörr *et al.*, 2020.

Diferente das antocianinas e betalaínas, a *Beetblue* é um composto estável mesmo com as variações de acidez. Além disso, o pigmento azul descoberto pelos pesquisadores não contém metais em sua estrutura, o contrário de pigmentos naturais como as antocianinas, que contêm metais reativos e, por este motivo, mudam facilmente sua coloração (FREITAS-DÖRR *et al.*, 2020).

### 2.2.3.5 Taninos

Os taninos são compostos fenólicos (classe de compostos químicos que consistem em um grupo hidroxilo ligado diretamente a um grupo hidrocarboneto aromático) com capacidade de ligação com proteínas e outros polímeros, como os polissacarídeos. São substâncias hidrossolúveis, precipitam alcaloides, gelatinas e outras proteínas em solução. Com íons férricos ( $\text{Fe}^{3+}$ ), os taninos formam soluções de colorações preto-azulada, amarelo ou marrom escuro, responsáveis pela adstringência, textura e rigidez nos vegetais. São encontrados em grandes quantidades em cascas, caule, raízes e sementes de famílias de plantas como o pinheiro (*Pinus longaeva*) e acácia (*Acacia cyanophylla*) (RIBEIRO e SERAVALI, 2007; PERES, 2010; CARVALHO, 2011).

Os taninos são associados aos mecanismos de defesa dos vegetais. Com capacidade antioxidante, são classificados como condensáveis ou hidrolisáveis. Taninos hidrolisáveis são os polímeros derivados dos ácidos gálicos ( $\text{C}_6\text{H}_2(\text{OH})_3\text{COOH}$ ) e elágicos ( $\text{C}_{14}\text{H}_6\text{O}_8$ ), responsáveis pela proteção dos tecidos vegetais, devido às moléculas glicosídicas ligadas a diferentes grupos fenólicos. Os taninos condensáveis referem-se aos compostos fenólicos que reagem e precipitam proteínas. Tanto os hidrolisáveis quanto os condensáveis são polímeros com 2 a 50 (ou mais) unidades flavonoides com ligações carbono-carbono, susceptíveis ao rompimento através de hidrólise. Alimentos que possuem tanino são uvas, cravos, romãs, maçãs, peras, caquis, entre outros (RIBEIRO e SERAVALI, 2007; PERES, 2010; CARVALHO, 2011).

O estudo de taninos é um promissor campo de pesquisa. Indústrias de diversos setores têm estudado o uso de taninos devido à sua capacidade de inibir corrosões orgânicas e por representarem uma substância de fácil acessibilidade, baixo custo e ecologicamente viável (MARTINEZ, 2002). Em 2020, por exemplo, um trabalho sobre o uso de taninos em tintas como aditivo para inibir corrosão metálica, elaborado por pesquisadores da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, foi premiado com a terceira colocação no 21º Prêmio ABRAFATI.

### 2.2.3.6 Curcumina

A curcumina é o principal componente cromóforo de extratos obtidos a partir da raiz do açafrão-da-terra, apresentando coloração amarela chegando às tonalidades alaranjadas (VOLP *et al.*, 2009).

O açafrão-da-terra é uma planta pertencente à família das *Zingiberaceae*, cujas partes utilizadas são os rizomas (*radix curcuma*), raízes tuberculosas aromáticas, cerosas, amareladas por fora e alaranjadas por dentro. O açafrão-da-terra pode medir de 40 a 50 cm de altura, cujas folhagens são comumente utilizadas em receitas de remédios caseiros, enquanto as raízes são utilizadas como alimento e na extração do pigmento curcumina (VANUCHI, 2019).

A raiz de açafrão-da-terra contém cerca de 2,5 a 8,1 % de curcumina, cuja presença de ligações duplas conjugadas confere reatividade frente ao oxigênio quando exposto à luz. A curcumina pode ser extraída através de diferentes solventes como a acetona, metanol, etanol, éter de petróleo e diclorometano. É insolúvel em água, solúvel em óleos e gorduras, apresenta baixa estabilidade à luz, alta estabilidade térmica, instabilidade em pH alcalino, possui propriedades antioxidantes e capacidade de formar complexos estáveis em contato com proteínas (ARAÚJO, 2008).

### 2.2.3.7 Bixina

A bixina é o principal pigmento extraído da camada externa das sementes do urucum (*Bixa orellana*). Durante o processo de formação das sementes no interior das cápsulas, os frutos apresentam coloração verde e permanecem fechados até que as sementes estejam completamente formadas. A coloração marrom indica amadurecimento do fruto e, neste período, as cápsulas abrem-se espontaneamente, liberando as sementes de seu interior (STRINGHETA e SILVA, 2008; MARMION, 1991; OLIVEIRA, 2005).

A tonalidade da cor obtida do urucum depende de fatores como a área de cultivo do urucuzeiro, condições climáticas, condições de armazenamento e processos de extração (ARAÚJO, 2008).

A coloração proveniente da bixina varia em tonalidades amarela ao vermelho intenso. A bixina é encontrada na configuração *cis*, e possui em sua molécula dois grupos carboxílicos, sendo um deles um éster metílico. A *cis*-bixina é insolúvel em óleo, compreendendo acima de 80% do corante presente na semente, enquanto o urucum em pó, comumente comercializado como condimento alimentar, contém apenas cerca de 20% de bixina. A *cis*-bixina é extraída do pericarpo (parte externa do fruto) quando submerso em óleo vegetal aquecido a 70° C. O processo de aquecimento converte a *cis*-bixina em *trans*-bixina, de coloração avermelhada e solúvel em óleo (STRINGHETA e SILVA, 2008; ARAÚJO, 2008).

Tintas elaboradas com pigmento de sementes de urucum representam uma prática ancestral indígena comum na América do Sul e na América Central, em que as sementes, colhidas pelos indígenas nos meses de maio e junho, são raladas em peneiras finas e fervidas em água para formar uma pasta. A partir dessa pasta, os indígenas elaboram bolas, posteriormente envolvidas em folhas para serem reservadas durante o ano, para a utilização em cerimônias de elaboração de tatuagem em ritos de passagem. A tinta de urucum também é utilizada no tingimento de cabelos e na confecção de máscaras faciais para ocasiões especiais (PINTO, 2008).

Na tribo *xavantes*, por exemplo, os indígenas colocam as sementes de urucum sobre um pedaço de couro de veado para serem socadas com o auxílio de pedras, processo necessário para retirar, desgrudar, e extrair o pigmento do urucum. Posteriormente, é despejada água nas sementes maceradas, separando o líquido avermelhado. Esse processo se repete até o líquido atingir tonalidade clara, indicando a extração total da coloração das sementes (figura 21-a). A parte selecionada é colocada em uma panela com água para o processo de cozimento, como apresenta a figura 21-b (TSUWATÉ e LEÃO, 2017).

Figura 21 – Processo de obtenção do pigmento de urucum pela tribo Xavantes (a) e etapa de cozimento (b)



Fonte: Tsuwaté e Leão, 2017.

Para aumentar a intensidade da coloração avermelhada da mistura, os indígenas *xavantes* utilizam a fibra *wedenhôrôtô* (“mutamba”) aquecida em uma vasilha com água (figura 22-a), resultando em um líquido de consistência gelatinosa para ser adicionado à tintura de urucum que, após o término do cozimento, é colocado em outra vasilha para secagem em local coberto (figura 22-b), protegido da umidade (TSUWATÉ e LEÃO, 2017).

Figura 22 – Obtenção do *wedenhôrôtô* (a) e secagem do urucum cozido (b)



Fonte: Tsuwaté e Leão, 2017

Segundo Alves (2005), os pigmentos de urucum geralmente são obtidos por processos mecânicos simples de raspagem e fricção das sementes, ou por extração com solventes, dependendo da tribo indígena. As tribos indígenas *ausrini do trocará*, *xikirins* e os *karajás* extraem o pigmento bixina das sementes do urucum amassando as sementes com as mãos para elaborar pinturas corporais. Os indígenas das tribos *xerentes* elaboram a tinta através da fervura prolongada das sementes de urucum, enquanto as tribos *waiãpi* elaboram suas tintas misturando o urucum com jenipapo (*Genipa americana*), óleo de andiroba

(*Carapa guianensis*) e resinas animais, como gordura de macaco ou de anta (VIDAL, 2000).

Para obter a bixina em forma de urucum em pó, são empregados três tipos de processos industriais para extração do pigmento das sementes de urucum: imersão em solução alcalina (comumente utilizada), imersão em óleo vegetal e imersão em solventes orgânicos. No caso do uso de solventes orgânicos, existem limitações referentes à compatibilidade com o alimento, uma vez que, devido à toxicidade, determinados solventes são proibidos de serem utilizados na indústria alimentícia (STRINGHETA e SILVA, 2008).

Diversos autores elaboraram estudos sobre as técnicas de extração e métodos para garantir a estabilidade da bixina, como Demczuk Jr. e Ribani (2015), que extraíram o corante da semente através de imersão em solução alcalina, óleo vegetal e solventes orgânicos. Os autores relataram que a variabilidade do corante de urucum pode ser influenciada por condições de pós-colheita, processamento e emprego de diferentes cultivares na sua fabricação, e que após o processo de comercialização do urucum, são descartados 96% de resíduos que podem ser reaproveitados. Para a utilização do pigmento na indústria alimentícia, os autores apontam que as técnicas de preparo, separação e quantificação necessitam de padrões com alta pureza e estabilidade.

Ao analisarem extratos de urucum obtidos com solventes de diferentes polaridades (água, etanol/água, etanol, etanol/acetato de etila e acetato de etila), Chisté *et al.* (2011) verificaram a correlação entre teores de bixina e a atividade antioxidante *in vitro* através da captura do radical 2,2-azinobis (3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfônico), conhecida como método de ABTS (considerado o método mais utilizado para medir a atividade antioxidante) e do cálculo da porcentagem de proteção contra o oxigênio. Os resultados mostraram que o extrato obtido com solução etanol/acetato de etila apresentou os maiores níveis de atividade antioxidante e a maior porcentagem de proteção contra a ação do oxigênio, enquanto os solventes acetato de etila e solução etanol/água foram os menos efetivos para extração de compostos fenólicos e bixina, respectivamente. Os autores também identificaram a presença de compostos fenólicos como hipoaletina e derivados de ácido cafeico nas sementes de urucum.

Cardarelli *et al.* (2008) estudaram extratos de urucum obtidos com diferentes solventes (metanol, etanol, metanol/água, etanol/água, acetato de etila e hexano) e verificando a correlação positiva entre o teor de bixina e a coloração vermelha. Também foram avaliadas as propriedades antioxidantes dos extratos pelo método de ABTS, observando a correlação destas com os teores de compostos fenólicos totais, medidos pelo método de *Folin-Ciocalteu*. Apesar do estudo apontar os melhores resultados com o uso de solventes de popularidade média, como o metanol, os autores indicam a necessidade de considerar o potencial tóxico do solvente ao se tratar da aplicação em alimentos ou cosméticos.

Araújo (2008) avaliou a extração do pigmento de urucum através de solventes como acetona e metanol, e concluiu que a forma solúvel em água é obtida pela abrasão do pericarpo em solução alcalina a 70° C (saponificação), misturando a bixina com hidróxido de sódio, resultando no sal norbixina (*cis* e *trans*). Segundo o autor, a bixina apresenta boa estabilidade devido à sua sensibilidade ao pH, apenas alterando sua coloração de amarelo-alaranjado para rosa-fraco em pH baixos. A aplicação do corante de urucum em alimentos com pH ácido resulta na dispersão do pigmento da norbixina, colorindo uniformemente os alimentos e dificultando a perda de cor. Enquanto a bixina é solúvel em óleos e gorduras, a norbixina é solúvel em água na forma de sais de sódio ou potássio. Na presença de cálcio, a norbixina também reage com proteínas, alterando sua cor para vermelho suave (ARAÚJO, 2008).

Segundo Kiokias e Gordon (2003), o extrato de urucum apresenta estabilidade frente à oxidação em meio anidro (sem água) e baixa resistência em contato com a luminosidade. Sabendo que a adição de antioxidantes garante a estabilidade do corante sob a incidência luminosa, os autores estudaram as propriedades antioxidantes da bixina em emulsões oleosas comestíveis e pesquisaram a sinergia entre os pigmentos e outros antioxidantes naturais adicionados às emulsões. Os autores concluíram, que a norbixina, além de ser solúvel em água, quando interage simultaneamente com tocoferóis e ácido ascórbico, retarda a deterioração oxidativa dos lipídios.

Carvalho *et al.* (2010) avaliaram o método de extração do pigmento bixina utilizando água como solvente, citando a vantagem da manutenção das

características do pigmento em um processo simples, seguro, com resíduo de baixo impacto ambiental.

#### 2.2.4 Aglutinantes e aditivos

O aglutinante é responsável por unir as partículas de pigmentos, formando películas adesivas ao serem oxidados pela ação do ar, reforçando a adesão entre as partículas (GATTI *et al.*, 2007).

No período paleolítico, em que o homem pintava o corpo, as vestes, e as paredes das cavernas com insumos naturais, percebeu-se a necessidade em utilizar um tipo de “cola” para fixar as misturas de tintas nas superfícies em que eram aplicadas. Essa “cola” era inicialmente elaborada com materiais proteicos com propriedades aglutinantes, como leite (proteína caseína) e ovos (proteína albumina).

Entre os anos 3000 a 2000 a.C., em que as pinturas eram elaboradas com giz (carbonato de cálcio), carvão vegetal e diferentes colorações de argila para a obtenção dos pigmentos, os aglutinantes utilizados nessa época eram a cola (têmpera), goma arábica (resina natural extraída de duas espécies de acácias), ovos, gelatina (colágeno presente nas peles, tendões e ossos de porcos, vacas e galinhas, e na pele e escamas de peixes) e cera de abelha (UEMOTO, 1993).

Construções de terra comumente são pintadas com tintas naturais de cal e aglutinantes de óleos, gorduras ou caseína, pois conferem maior resistência ao intemperismo e mantém a permeabilidade das paredes ao vapor. No México e Colômbia era comum a utilização do cacto Nopal (*Nopalea coccinellifera*, *Cactus cochenilliferus*), conhecido como *figueira-da-índia*, como aglutinante para tintas à base de cal devido às suas propriedades impermeabilizantes (CAMÕES *et al.*, 2012).

A figura 23 apresenta o processo de elaboração da goma do cacto palma (*Opuntia cochenillifera*) em uma oficina de tintas naturais que ministrei em 2015 no Centro politécnico da Universidade Federal do Paraná para alunos do curso de Arquitetura e Urbanismo e Engenharia Civil, em que a figura 23-a apresenta o cacto cortado e imerso em água para elaboração da goma, e a figura 23-b apresenta a separação entre os sólidos e a goma com o uso de uma peneira.

Figura 23 – Processo de elaboração do aglutinante de goma do cacto palma



Fonte: a autora

Gernot Minke relatou, em seu livro *Manual de construcción em tierra: la tierra como material de construcción y sus aplicaciones en la arquitectura actual*, publicado em 1994, as possibilidades de aditivos vegetais utilizados pelos povos mesoamericanos na elaboração de tintas naturais com objetivo de aumentar a resistência ao intemperismo e à limpeza das superfícies, como a cola de farinha de centeio (*Secale cereale*) com adição de sulfato de zinco ( $ZnSO_4$ ), seiva de agave (*Agave tequilana*), suco de folhas de bananeira (*Musa paradisíaca* L.) cozidas, seiva de cacto (*Cactus opuntia*), seiva da planta suculenta *Euphorbia láctea*, óleo de paina (*Chorisia speciosa*), e cola de celulose (para paredes internas). O autor também relatou em seu livro que os povos mesoamericanos utilizavam urina como aditivo, pois a uréia e o acetato de amônia em contato com argilas aumentavam a resistência das pinturas. O autor descreveu que o sebo (gordura animal) derretido era comumente utilizado na região do Nepal como impermeabilizante em tintas, adicionado à cal, água, sal de cozinha e areia fina. O autor também discorre sobre o longo processo de secagem dessa pintura, indicando registros de edificações no Nepal cujas pinturas duraram de 4 a 6 anos, inspirando a criação de receitas similares na Austrália realizadas pelo *Department of Housing and Construction* em 1981. Testes realizados pelo *Forschungslabor für Experimentelles Bauen* (FEB) da Universidade de Kassel, na Alemanha, provaram que essa tinta permite boa aderência quando aplicada em superfícies com reboco rugoso.

Na China as tintas naturais eram elaboradas com carvão vegetal, aglutinante de cola, solvente de água, e aditivo de óleo de linhaça para assegurar a durabilidade das pinturas. Na América do Sul e África era comum o uso do látex (resina natural de *Hevea euphorbiacex*) como aglutinante em tintas naturais

e para impermeabilização de superfícies. No norte de Gana eram adicionados esterco de animais e vagens (*Phaseolus vulgaris L.*) nas tintas naturais, a fim de impermeabilizar e endurecer as paredes (CAMÕES *et al.*, 2012).

Segundo Alvarenga (2006), é possível substituir o óleo de linhaça por seiva do caule da bananeira, goma de cacto ou goma de babosa (*Aloe vera*). Também era comum o uso do caule de bananeira para elaboração de argamassa natural, de suas folhas para elaboração de tintas de coloração verde, e de suas fibras para elaboração de impermeabilizantes naturais para paredes, evitando a formação de rachaduras (ALVARENGA, 2006; CAMÕES *et al.*, 2012).

Na figura 24 estão exemplificadas as gomas que elaborei em 2015 segundo as informações citadas por Alvarenga (2006). Essas gomas foram utilizadas como agentes aglutinantes em tintas com pigmentos de argila. Em 24-a está apresentado o início do processo de extração da seiva do caule de bananeira, e em 24-b está apresentado o processo de elaboração da goma de babosa.

Figura 24 - Aglutinantes de caule de bananeira (a) e goma de babosa (b)



Fonte: a autora

Gatti *et al.* (2007) sugerem que tintas naturais líquidas, que utilizam água como solvente, sejam elaboradas com aglutinantes incolores, como a clara de ovos ou goma de polvilho, a fim de não alterar a coloração final da tinta. Segundo os autores, a gema de ovos utilizada como aglutinante atua como um emulsificador e, por este motivo, é indicada para tintas com pigmentos de terras e argilas, proporcionando efeitos densos e opacos.

Zilli (2008) afirma que a goma arábica (*Acacia Senegal*) e a goma de polvilho, elaborado a partir da mandioca (*Manihot esculenta*) são bons exemplos de aglutinantes para as tintas naturais, e que a proteína albumina possui boa

atuação na emulsão, apresentando resultados positivos para tintas elaboradas com pigmentos de terras e argilas. No entanto, a autora recomenda o uso de agente bactericida em tintas elaboradas com albumina, a fim de evitar a incidência de fungos ou bolores.

A figura 25 exemplifica o processo de elaboração da goma de polvilho em uma oficina que ministrei para moradores da cidade Pontal do Sul – PR em 2015, em que 25-a apresenta a etapa de cozimento do polvilho em água quente, 25-b apresenta a consistência da goma pronta, e 25-c apresenta a mistura da goma com o pigmento e solvente para o preparo da tinta.

Figura 25 – Elaboração da goma de polvilho



Fonte: a autora

Alternativas comumente utilizadas para aglutinante na elaboração de tintas naturais são suco de alho (*Allium sativum*), mingau de mandioca, óleo de copaíba (*Copaifera langsdorffii*), cera de carnaúba (*Copernicia prunifera*), banha de porco, óleo da casca de frutas cítricas, argilas e goma de linhaça.

A goma elaborada com as sementes de linhaça é comumente utilizada em receitas veganas para substituir o ovo, devido ao seu aspecto gelatinoso e propriedades ligantes. Na alimentação existem diferenças consideráveis entre consumir a linhaça dourada e a linhaça marrom. Segundo Sargi *et al.* (2013), o consumo de linhaça dourada é mais indicado na cultura ocidental devido à preferência por alimentos ricos em gorduras ômega-6, como ácido linoleico, e poucas gorduras ômega-3. Os autores relatam que não há diferença entre o teor de carboidratos, proteínas e gorduras da semente de linhaça dourada em comparação com a linhaça marrom, e constataram que a linhaça dourada é composta por cerca de 37,5% de gordura, 23% de proteína e 30% de carboidratos, enquanto a linhaça marrom é composta por 38% de gordura, 24,5%

de proteína e 28% de carboidratos. Os autores concluíram que as sementes de linhaça dourada têm mais ácidos graxos poliinsaturados e menos ácidos graxos monoinsaturados em comparação com as sementes de linhaça marrom, no entanto, a linhaça marrom apresenta maior quantidade de substâncias antioxidantes.

As argilas, além de serem comumente utilizadas como pigmento na elaboração de tintas imobiliárias, também podem ser utilizadas como agente aglutinante devido às suas propriedades “ligantes” e comportamento pseudoplástico, ou seja, suas moléculas apresentam-se em estado desordenado em repouso, porém, quando submetidas a uma tensão de cisalhamento, tendem a se orientar na direção da força aplicada. Quanto maior essa força, maior será a ordenação e, conseqüentemente, menor será a viscosidade aparente da tinta (CARDOSO, 2015).

A resina de poliacetato de vinila (PVA), conhecida como cola branca PVA, apesar de ser um produto de origem industrial, é comumente utilizada em tintas naturais como agente aglutinante devido à ausência de toxicidade, à solubilidade em água e ao fato de ser classificada como a melhor alternativa em colas pelo governo alemão (WECOBIS, 2015).

Segundo o Ecocosts (2015), a cola branca PVA necessita de 58 MJ/kg de energia para sua fabricação, segundo o banco de dados da Universidade de Delft, na Holanda. Em receitas de tinta de terra, essa quantidade equivale a 12,9 MJ/l, ou seja, um valor relativamente baixo comparado com 65 MJ/kg das tintas PVA levantadas por Tavares (2006). Como o objetivo da elaboração das tintas naturais é também o estímulo a autoprodução, a cola branca PVA é facilmente solúvel em água e comumente encontrada no mercado, o que torna prático o uso como aglutinante apesar de ser considerado o componente de maior custo na elaboração das tintas naturais.

#### 2.2.5 Conservação de cor

Garantir a estabilidade da coloração extraída dos cromóforos vegetais é um desafio para pesquisadores de diferentes áreas do conhecimento, já que os cromóforos, sejam do tipo *azo* ou *polícíclicos*, são formados por agrupamentos

de moléculas em ligações simples ou duplas alternadas que apresentam instabilidade.

Os seguintes subcapítulos apresentam as técnicas milenares e os insumos naturais utilizados por culturas orientais e ocidentais para a conservação dos cromóforos que conferem a coloração de tintas, bem como as publicações de pesquisadores que buscam aprimorar essas técnicas antigas através de tecnologias atuais.

#### 2.2.5.1 Mordentes

A indústria têxtil tem explorado os processos e técnicas vernaculares de tingimento através da análise de tecidos tingidos com pigmentos naturais em séculos remotos, cuja coloração apresenta-se conservada até os dias atuais. Através de métodos exploratórios e experimentais, os pesquisadores concluíram que a conservação das cores oriundas de pigmentos vegetais é obtida com o uso de aditivos, conhecidos na indústria têxtil como mordentes.

Os mordentes melhoram a solidez dos pigmentos naturais e são utilizados para obter diferentes tonalidades de cor utilizando os mesmos pigmentos. Pesquisadores da área têxtil têm explorado diferentes mordentes para elucidar os aspectos fundamentais do tingimento com pigmentos naturais e melhorar suas propriedades de resistência, já que os problemas no tingimento ocorrem devido à baixa exatidão das cores e às propriedades de baixa solidez dos tecidos, especialmente em relação às quantidades de lavagem e à exposição a luz (IBRAHIM *et al.*, 2010; PRUSTY *et al.*, 2010).

Heitor (2007), por exemplo, ao analisar as cores de tapetes persas do século XVI e XVII do Museu Nacional de Arte Antiga na cidade de Lisboa, encontrou informações importantes sobre os pigmentos naturais utilizados durante esse período e a forma de conservação dessas cores até os dias atuais, concluindo que a estabilidade das cores foi obtida através do uso do mordente de alumínio.

Damasceno *et al.* (2010) indicam as substâncias capazes de conferir estabilidade de cor aos pigmentos vegetais, como cinzas, tártaro, urina, ferrugem, vinagre e o alúmen de potássio. Neira e Carvalho (2017) comprovaram

a eficácia de aditivos conservadores de cor como sal, vinagre, ferro, cobre e cinzas em sua pesquisa sobre o tingimento de algodão com pigmentos de pó de café. Luna *et al.* (2007) avaliaram o desempenho do alúmen de potássio no tingimento de fibras de bananeira com pigmentos de hibisco, açafraão-da-terra e jenipapo. Silva *et al.* (2016) avaliaram o desempenho do alúmen de potássio, tanino e sulfato ferroso no tingimento de fibras de algodão e lã com pigmento extraído do excremento do bicho-da-seda. Belati (2016) utilizou técnicas indígenas para extrair os pigmentos de urucum e açafraão-da-terra e tingir tecidos de algodão com mordente de alúmen de potássio. Piccoli (2008) apresentou um estudo sobre tingimento de fibras de algodão com pigmentos de folhas de alfafa (*Medicago sativa*), árvore pau-campeche (*Hematoxylon campechianum*), urucum e garança (*Rubia tinctorum*), conhecida como “ruiva-dos-tintureiros”, utilizando mordentes de ácido tânico, sulfato de cobre II, sulfato ferroso de amônio, sulfato de alumínio e amônio.

Pesquisas realizadas na Índia têm explorado o uso de corantes vegetais e mordentes naturais no tingimento de tecidos, a fim de minimizar o impacto ambiental causado por este setor no país. Raj e Choudhuri (2011), por exemplo, exploraram a técnica indiana de impressão em tecidos culturalmente conhecida como *Bagru*, em que a conservação das cores com insumos naturais foi garantida com o uso de óleo de mostarda (*Brassica nigra*), cal dissolvida em água, goma natural feita com a planta nativa *bedhan*, farinha de trigo digerida por minhocas, argila preta, óleo e pó de sementes do fruto nativo *gawar*, casca de romã (*Punica granatum*), açafraão-da-terra, óleo de gergelim (*Sesamum indicum*), alúmen de potássio, melaço (*Saccharum officinarum*), amido de farinha de tamarindo (*Tamarindus indica*).

Upadhyay e Choudhary (2014) testaram mordentes de alumínio, sulfato ferroso, estanho e sulfato de cobre no tingimento de algodão com pigmentos vegetais oriundos de cascas de mais de 50 espécies de árvores das florestas de Vindhya e das colinas de Saptura e Madhya, na Índia.

Os resultados desses estudos sobre o desempenho de mordentes naturais no tingimento de tecidos com pigmentos vegetais foram utilizados como embasamento teórico na elaboração da presente tese, bem como o método utilizado para extração dos pigmentos.

O alumínio de potássio, de fórmula  $KAl(SO_4)_2$ , apresentou resultados positivos em todas as pesquisas citadas. Popularmente conhecido como “pedra hume”, é um insumo natural de fácil acesso, baixo custo, solúvel em água e etanol, apresentando estado sólido em temperatura ambiente. O uso de alumínio de potássio para conservação de cores de pigmentos vegetais também é uma técnica ancestral utilizada por povos mesoamericanos.

#### 2.2.5.2 *Kakishibu*

Como citado anteriormente, os taninos podem ser utilizados como pigmento para conferir coloração às tintas e como aditivo para inibir corrosões orgânicas. Em países como Japão, China e Coreia do Sul, os taninos também são utilizados como aditivos conservadores de cor através de uma prática milenar conhecida como *kakishibu*, utilizada até os dias atuais. O *kakishibu* é um líquido elaborado a partir do suco do fruto verde de caqui adstringente (*Diospyros kaki Thunb*), cujo método de elaboração consiste em processos simples de fermentação, filtragem e amadurecimento do líquido (YOSHIOKA *et al.*, 2005).

O *kakishibu* também é utilizado comumente em países orientais para impermeabilização de madeira (figura 26-a) utilizada na vedação de edificações (figura 26-b), no tingimento de papéis e na coloração de tintas para diversas finalidades, cujas técnicas de preparo e aplicação foram transmitidas para a Europa e Estados Unidos nos últimos anos (YOSHIOKA *et al.*, 2005; KYUNG-SOO *et al.*, 2009).

Figura 26 – Uso do *kakishibu* para impermeabilização de madeira



Fonte: Tomiyama, 2021.

Devido às suas propriedades antibacterianas, o *kakishibu* também tem sido utilizado no Japão como remédio para queimaduras de pele e úlceras estomacais (YOSHIOKA *et al.*, 2005). O teor de taninos é de 0,3% em sucos de caquis verdes, aumentando para cerca de 3 a 5% através do processo de fermentação. Não são encontradas quantidades relevantes de taninos em caquis maduros, porém, caquis maduros fermentados apresentam cerca de 1 a 2% de taninos. Os caquis verdes fermentados produzem um líquido estável em que os taninos são dispersos uniformemente durante os processos de fermentação e envelhecimento, resultando em uma superfície lisa quando utilizados como corantes na elaboração de tintas (KYUNG-SOO *et al.*, 2009).

Estima-se que o uso do *kakishibu* na Coréia do Sul iniciou-se no século XVII, enquanto no Japão essa atividade já era praticada desde o século XIII. Em ambos países, o *kakishibu* era originalmente utilizado para a pesca e, com o tempo, descobriram seu potencial como corante na elaboração de tintas. Além da pesca, no Japão utilizavam o *kakishibu* como verniz natural de superfícies, de utensílios domésticos e, posteriormente, como componente na elaboração de tintas para colorir artesanatos e no tingimento de tecidos (SOON-JA, 2011).

Ressalta-se que a diferença do uso do suco do caqui nas duas culturas orientais está no processo de fermentação. Enquanto na Coréia do Sul é adicionada água ao suco do caqui verde adstringente para o tingimento imediato, no Japão, o suco do caqui passa por um longo processo de fermentação, através do armazenamento em local protegido de iluminação por cerca de dois a três anos, a fim de garantir sua conservação (SOON-JA, 2011).

Atualmente, tanto na Coréia do Sul quanto no Japão, pesquisadores têm publicado importantes avanços sobre técnicas para aprimorar os processos de armazenamento e eficiência das cores obtidas com o *kakishibu*, com o objetivo de aumentar a visibilidade do uso de materiais ecológicos para o tingimento de tecidos. A seguir estão sintetizadas as pesquisas cujos resultados positivos sobre o uso do *kakishibu* na elaboração de tintas com pigmentos naturais serviram como embasamento teórico para a presente tese.

Lee e Yi (2013), por exemplo, elaboraram um estudo sobre o tingimento de tecidos de algodão com caqui em pó, avaliando a gama de cores, as propriedades mecânicas de cada coloração no tecido e a solidez do tingimento.

Os autores observaram grande quantidade de taninos nas fibras do caqui, proporcionando tingimento de qualidade quando adicionados mordentes de ferro e cobre. As cores alcançadas no estudo foram vermelho-amarelado, cinza claro, médio e escuro, que se modificavam a cada lavagem do tecido.

Kyung-Soo *et al.* (2009) elaboraram um estudo sobre o processo industrial para elaborar grandes quantidades de *kakishibu*. Os autores submeteram os caquis verdes aos processos de lavagem, moagem, centrifugação, pressurização, agitação, fermentação, envelhecimento e filtração, ou seja, processos que, por séculos, eram realizados manualmente. O objetivo dos autores com o estudo foi de reduzir os custos durante o processo de fermentação e purificação, a fim de gerar um produto com maior viabilidade econômica. Os autores também afirmam que a espécie de caqui ideal para o uso como corante na elaboração de tintas é a *Diospyros lotus L.*, nativo da Coreia, e que a maior quantidade de taninos é encontrada em caquis das espécies *Diospyros oleifera cheng* e *Diospyros virginiana*, comumente utilizados para elaboração de tintas na China.

Yoshioka *et al.* (2005) elaboraram um estudo sobre a capacidade antibacteriana dos taninos encontrados em sucos de caqui. A presença de taninos inibiu o crescimento de estreptococos do grupo dos mutantes e a atividade glucosyltransferase-I (GTase-I). Para este estudo, os autores examinaram as células de taninos de caqui *in vitro*, e concluíram a viabilidade no uso do suco do caqui na prevenção de cáries dentárias.

Chun-Hyun (2012) relatou os problemas que os agricultores coreanos produtores de *kakishibu* encontram nos processos de armazenamento do produto final, já que a temperatura ambiente e a época do ano em que os caquis verdes são colhidos interferem diretamente no processo de fermentação. Para solucionar este problema, o autor avaliou a utilização de equipamentos como triturador (figura 27-A), moedor e compressa (figura 27-B) para otimizar a extração do suco dos caquis verdes (figura 27-C). O autor considerou armazenar por 24 horas em uma sala de baixa temperatura com temperatura de 2°C, selar a mistura para fermentação em temperaturas que variam de 35 a 45°C, resultando em um corante marrom escuro de boa qualidade sem desperdícios

de matérias-primas em todos os processos de elaboração do *kakishibu*, favorecendo também a renda dos agricultores.

Figura 27 – Processos de elaboração mecânica de *kakishibu*



Fonte: Chun-Hyun, 2012.

Apesar de simples e acessível, no Brasil o *kakishibu* é pouco conhecido e estudado no meio acadêmico, sendo utilizado por poucos artesãos. A artesã gaúcha Marion Rupp<sup>5</sup>, por exemplo, é referência na arte do tingimento de vestimentas com o *kakishibu*. Marion elabora o *kakishibu* artesanalmente com os caquis verdes adstringentes colhidos durante o verão na área rural onde reside com sua família em Porto Alegre – RS. A figura 28 apresenta o processo de elaboração do *kakishibu* pela artesã, em que: 28-a está apresentado o caqui verde adstringente cortado em pequenos pedaços; 28-b a imersão dos pedaços de caqui em água; 28-c e 28-d apresentam o início do processo de fermentação; e 28-e está o *kakishibu* fermentado depois de 1 ano, pronto para o uso.

Figura 28 – Processo de elaboração artesanal do *kakishibu* por Marion Rupp



Fonte: a autora

<sup>5</sup> Páginas pessoais: [https://www.instagram.com/mari\\_on\\_rupp/](https://www.instagram.com/mari_on_rupp/) e <https://linktr.ee/marionrupp>

Marion Rupp elabora o tingimento com *kakishibu* e escurece a coloração dos tecidos com acetato de ferro caseiro através da exposição a insolação solar direta. Segundo a artesã, a intensa acidez do *kakishibu* contribui para evitar o surgimento de bactérias no tecido tingido, e a quantidade de taninos atua como fixador de cor. As figuras 29-a e 29-b apresentam duas vestimentas tingidas por Marion Rupp.

Figura 29 – Tingimento de tecidos com *kakishibu* por Marion Rupp



Fotos: a autora

A partir dos estudos sobre o *kakishibu* e das experiências da artesã Marion Rupp, a presente tese considerou explorar as possibilidades em elaborar tintas utilizando esse componente como aditivo conservador de cor e analisar sua influência na durabilidade das pinturas com pigmentos vegetais.

#### 2.2.6 Processos artesanais de elaboração de tintas

Encontram-se diversos registros publicados por professores na área da Educação Artística em diferentes regiões do Brasil sobre o uso de insumos locais e os diferentes processos de extração de pigmentos vegetais para a elaboração artesanal de tintas. Além desses registros, a presente tese explorou as publicações de artistas plásticos, artesãos, tintureiros botânicos e permacultores sobre experiências extraindo pigmentos vegetais para a elaboração artesanal de tintas e aplicação em diversos substratos. Para a presente tese, estes trabalhos mostraram-se relevantes para a coleta de dados sobre os processos de extração de pigmentos vegetais, sobre o uso de aditivos para garantir a durabilidade de

suas cores, e informações sobre quantificações dos insumos utilizados nos processos de preparo artesanal das tintas.

Em uma apostila artística elaborada em 2008 pelo Projeto Comunitário da PUC-PR, por exemplo, Zilli (2008) indica os seguintes processos simples e artesanais de extração dos pigmentos de frutos, folhas, flores, cascas, raízes e sementes para a elaboração de tintas:

- **Cocção:** cascas de uva, café, erva-mate, tomate e marcela, por exemplo, são misturados e submetidos à fervura até a redução da água a fim de concentrar a coloração. Os pigmentos naturais resultantes da cocção requerem a utilização de um aditivo bactericida;

- **Maceração:** feijão preto, café, erva mate e sementes coloridas, por exemplo, são colocadas separadamente em recipientes com água durante 12 horas, aproximadamente, até a extração dos pigmentos.

- **Infusão:** pétalas de rosas, flores diversas, fuligem, semente de urucum, cascas de jaboticaba, cedro, cajarana e folhas diversas, por exemplo, são submersos em recipiente com álcool, adquirindo consistência pastosa.

Para obtenção de pigmentos em pó, oriundos dos vegetais, Zilli (2008) aponta os seguintes processos artesanais:

- **Trituração e moagem:** carvão vegetal, urucum e café, por exemplo, são moídos até reduzirem a um pó fino;

- **Calcinação:** sementes e madeira, por exemplo, são queimadas e trituradas;

- **Lixação:** as madeiras como cedro, pessegueiro e louro, por exemplo, são lixadas e transformadas em pó fino, posteriormente adicionado ao aglutinante.

Zilli (2008) indica que, para realçar os tons de verde obtidos da fervura da erva mate, é necessário acrescentar pequena quantidade de cinzas oriundas da combustão da madeira. Durante o processo de elaboração das tintas naturais faz-se necessário ater-se aos métodos de durabilidade e conservação de todos os elementos. Segundo a autora, as tintas de origem vegetal são sensíveis à luz e podem perder parte da cor com o tempo, pois os pigmentos são instáveis sob a ação direta da radiação solar. Além disso, a autora relata a possibilidade de surgirem fungos na pintura, caso não for tomado o devido cuidado.

Tintas vegetais de infusão no álcool podem ser conservadas por tempo indeterminado. Para as tintas elaboradas através de cocção ou liquefação, Zilli (2008) recomenda reservar em baixas temperaturas ou congelar para garantir a durabilidade.

Após a aplicação da tinta natural e sua secagem, Zilli (2008) sugere a aplicação de parafina ou cera de abelha diluída em solvente, em consistência pastosa, para conferir durabilidade às pinturas. Além desses produtos, o óleo de linhaça também tem se mostrado um aditivo benéfico para garantir maior durabilidade das tintas naturais. Apesar da parafina não ser algo natural, é utilizada como impermeabilizante por não apresentar toxicidade.

Durante experiência na empresa Casulo Feliz em 1997 na cidade de Maringá-PR, Elber Lopes Ferreira coletou informações importantes sobre a extração de pigmentos vegetais e publicou no livro “Corantes naturais da flora brasileira” (FERREIRA, 1998). Segundo o autor, as folhas, frutos, flores e sementes são coletados antes da floração total devido à maior concentração dos cromóforos. As cascas dos troncos são coletadas apenas das “partes mortas” da árvore. Nas raízes, são retiradas as partes soltas sobre a terra, para não prejudicar a planta. E os líquens, por sua vez, raspados de pedras ou troncos, são coletados logo depois da chuva.

Ferreira (1998) afirma que quanto mais alta a localização da planta, mais próxima da luz e, conseqüentemente, mais luminoso e efêmero será o pigmento extraído. Enquanto os pigmentos oriundos das partes mais baixas das plantas (como as raízes) resultam em tinturas densas, estáveis e duradouras devido aos pigmentos minerais e óxidos de alumínio (presente nas argilas) encontrados na terra em que planta está inserida. Para o autor, é possível utilizar as flores, folhas ou raízes quando frescas ou secas para elaboração de tintas naturais (quando secos, os vegetais possuem coloração concentrada). Desde 1998, Ferreira afirmava que o pó de alimentos desidratados e moídos (como beterraba, espinafre e açafraão-da-terra, por exemplo) pode ser utilizado para a produção de tintas naturais, no entanto, as tintas provenientes dos vegetais são líquidas e transparentes, enquanto as tintas de origem mineral são densas e opacas.

No Brasil, é comum o uso de pigmentos vegetais na elaboração de tintas artesanais para aplicação artística. O artista capixaba Jhon Bermond<sup>6</sup>, por exemplo, é permacultor, designer, pintor e ilustrador orgânico, e pesquisa elementos tintoriais brasileiros desde 2013, coletando informações sobre as tintas naturais através de viagens pelas diversas regiões do Brasil em comunidades tradicionais, cujos saberes populares fortalecem a reconexão com a criatividade.

Através do aprendizado em permacultura na Ecovila El Nagual no Rio de Janeiro com o grupo de arquitetos *Low Construtores Descalzos*, e da vivência no projeto *Tiba`awẽ*, com os índios *xavantes* no Mato Grosso, o artista elaborou e publicou a “Apostila intuitiva de pigmentos naturais” em 2015, em que apresenta os resultados de suas experiências com as tintas naturais. Na apostila, o artista afirma que os pigmentos vegetais necessitam de agentes fixadores como limão, cravo, vinagre, jenipapo, cola branca, cola caseira, sal grosso, alúmen de potássio, ácido tartárico, óleos essenciais de cravo ou melaleuca e bicarbonato de sódio. As mudanças de tonalidade ou da própria cor podem ocorrer no caso de adicionar fixadores com cores diferentes do pigmento da tinta que está sendo elaborada. Suco do limão, vinagre e sal grosso, além de conservar e fixar as tintas no substrato, também são responsáveis por deixar as cores mais intensas.

Ao utilizar aglutinantes com a clara de ovo ou soro de leite na elaboração das tintas naturais, Bermond (2015) recomenda acrescentar algumas gotas de fungicida, como o Lysoform®, ou sal grosso para evitar a formação de bolor.

Os quadros 2 e 3 apresentam uma síntese das informações coletadas na apostila publicada por Bermond (2015) sobre a elaboração de tintas com pigmentos extraídos de vegetais e pigmentos em pó, respectivamente. As figuras apresentam os insumos naturais e suas possibilidades de cores, os processos para extração dos pigmentos, o diluente para elaboração da tinta e o aditivo fixador utilizado para a durabilidade das colorações. Todas as tintas naturais elaboradas por Bermond (2015) publicadas na apostila utilizam como agente aglutinante a cola branca PVA, clara de ovo, goma de cacto ou goma de babosa.

---

<sup>6</sup> Páginas pessoais: <https://instagram.com/jhonbermond?igshid=YmMyMTA2M2Y=>; <https://www.instagram.com/criativaterra/>; e <https://linktr.ee/jhonbermond>.

Quadro 2 – Processos para produção de tintas vegetais

COR	MATÉRIA	ELEMENTO	PROCESSO	DILUENTE	FIXADOR
AMARELO	ABACATE	broto	coçção	água	limão
	AÇAFRÃO	raiz/pó	infusão	álcool	álcool
	GIRASSOL	pétalas	coçção/infusão	água/álcool	água/álcool
LARANJA	CEDRO	tronco	infusão	álcool	X
	URUCUM	semente	infusão	álcool	X
	AMORA	fruta	infusão	água	X
ROSA	ANGICO	casca	infusão	álcool	X
	BETERRABA	raiz	liquidificação	água	vinagre
	REPOLHO	folha	infusão	álcool	limão
VERMELHO	BETERRABA	raiz	infusão/liquidificação	água/álcool	limão
	JABUTICABA	casca	coçção	água	limão
	PAU-BRASIL	tronco	infusão	álcool	bicarbonato
MARRROM	CEBOLA	casca	coçção	água	jenipapo
	CAFÉ	pó	coçção	água	vinagre
	AMORA	fruta	liquidificação	água	limão
CARMIN	BETERRABA	raiz	liquidificação	água	jenipapo
	CEBOLA ROXA	casca	coçção	água	alúmen
	FEIJÃO	semente	masceração	água	bicarbonato
ROXO	JABUTICABA	casca	infusão/coçção	água/álcool	jenipapo
	AÇAÍ	fruto	coçção/masceração	água	alúmen
	HIBISCO	flor	infusão	álcool	alúmen
VERDE	UVA	casca	coçção/infusão	água/álcool	alúmen
	ERVA-MATE	folha	coçção	água	bicarbonato
	ESPINAFRE	folha	liquidificação	água	limão

Fonte: adaptado de Bermond (2015)

Quadro 3 – Processos para produção de tintas com pigmentos em pó

COR	MATÉRIA	ELEMENTO	PROCESSO	DILUENTE	FIXADOR
BRANCO	CAL	pó	decantação/peneirar	água	soro
	OVO	casca	triturar/peneirar	água	soro
CINZA	CINZAS	pó	decantação/peneirar	água	soro
PRETO	CARVÃO	pó	triturar/peneirar	água	soro
TONS OCRES	TERRA/ARGILA	pó	decantação/peneirar	água	soro

Fonte: adaptado de Bermond (2015)

Segundo Bermond (2015), o açafão-da-terra pode ser utilizado na sua forma natural (raiz) ou obtido em pó (comumente encontrado em comércio de produtos naturais como condimento alimentar). No caso da utilização da raiz, o artista indica ralar com ralador comum e acrescentar álcool 70 ou álcool cereal para extração do pigmento, depois é necessário peneirar para separar o líquido com a cor amarela dos pedaços de açafão-da-terra. No caso do açafão-da-terra em pó, basta apenas diluir em água e adicionar agente bactericida para

evitar a formação de fungos e bolor na pintura, o que não ocorre quando o açafraão-da-terra em pó é diluído em álcool.

Bermond (2015) relata que os pigmentos de açafraão-da-terra e cacau não alteram a cor quando adicionados aditivos fixadores como limão ou vinagre, no entanto, há mudança de cor quando estes aditivos são adicionados às tintas elaboradas com pigmentos de beterraba e feijão preto. O sal grosso é um aditivo com funções de conservante e fixador, sendo considerado uma alternativa mais viável que o sal refinado, devido ao fato de ser puro e conter maior quantidade de iodo.

A alga spirulina, comumente utilizada como pigmento verde nas pinturas de Bermond (2015), é uma cianobactéria de cor verde-azulada encontrada em ambientes salinos e alcalinos. Seu modo de cultivo é simples e econômico, ocupando terras improdutivas em que consome baixa quantidade de água. Através da fotossíntese, a spirulina converte os nutrientes do meio material celular e libera oxigênio. Dentre os pigmentos presentes na spirulina, destacam-se os carotenoides ( $\beta$ -caroteno, principalmente, representando cerca de 80% dos carotenoides totais presentes em sua biomassa) e a clorofila (RANGEL-YAGUI *et al.*, 2004; BORBA e CAMARGO, 2019).

Na indústria alimentícia utiliza-se spirulina como suplemento alimentar devido à sua quantidade de nutrientes, proteína vegetal (65% de seu peso seco total), funções anti-oxidantes e anti-inflamatórias. Os minerais presentes em maior quantidade na spirulina são cálcio, ferro, fósforo, cobre, magnésio, manganês, potássio, boro, molibdênio, selênio e zinco (SEDYKH *et al.*, 2005; BRANGER *et al.*, 2003).

A spirulina em pó é facilmente encontrada comercialmente em lojas de produtos naturais como suplemento alimentar. Seu uso em tintas naturais se tornou popular entre os artistas que elaboram suas próprias tintas devido à tonalidade verde, dificilmente alcançada com tintas de terra e argilas. No entanto, os artistas relatam em suas experiências que a cor verde oxida com a fermentação da spirulina com o passar do tempo, resultando em uma coloração azulada depois de sua aplicação. A figura 30 apresenta uma pintura em parede interna com pigmento verde da spirulina, entre outros pigmentos obtidos de fontes naturais, elaborada pelo artista Jhon Bermond.

Figura 30 – Paredes internas pintadas com argila, spirulina e açafão-da-terra



Fonte: a autora

Camilla Carpanezi La Pastina publicou, em um trabalho de conclusão de curso de Educação Artística, os resultados de suas experiências de elaboração de tintas com pigmentos vegetais, cuja etapa experimental ocorreu de novembro de 1999 a novembro 2001. A autora concluiu que as sementes de urucum e a raiz de açafão-da-terra apresentaram bons resultados, cujas cores foram extraídas com água e álcool, além de não desbotarem (desde que não expostos diretamente ao sol). As cores apresentaram boa fixação no papel, tecido, barbante, plástico e na pele humana (LA PASTINA, 2001).

La Pastina (2001) também elaborou experiências com folhas verdes, sementes, raízes, terra, entre outros elementos (figura 31), concluindo que a cor verde da clorofila é facilmente extraída, mas apresenta dificuldades quanto à estabilidade. O pó de alimentos desidratados e moídos como beterraba, espinafre, açafão-da-terra e páprica, por exemplo, foram utilizados na produção de tintas opacas, como as tintas feitas com terra. A tinta de coloração preta foi elaborada através da trituração de carvão vegetal, posteriormente filtrado com peneira para depois ser misturado com água e cola para resultar em tinta de consistência pastosa. A autora relatou resultados satisfatórios ao utilizar o alúmen de potássio na elaboração das tintas para garantir a estabilidade das cores, bem como aditivos fungicidas e bactericidas como limão e vinagre.

Figura 31 – Tonalidades de tintas vegetais elaboradas por La Pastina



Fonte: La Pastina, 2001.

Barboza e Pohlmann (2015) elaboraram tintas naturais com pigmentos vegetais para aplicação na *xilogravura* (técnica de reproduzir imagens em substrato através do uso de madeira como a base do desenho a ser replicado). Os autores observaram que insumos como terra, giz, carvão vegetal e café são responsáveis por elaborar tintas com maior granulação, sendo necessária a coagem dos pigmentos para garantir a uniformidade das tintas. Segundo os autores, é possível obter maior estabilidade nas cores na forma de materiais sólidos como o urucum, do que os pigmentos obtidos através de liquidificação. As impressões de *xilogravuras* realizadas com as tintas artesanais elaboradas pelos autores resultaram em texturas e cores em tons pastéis (figura 32), utilizando goma de babosa, goma arábica, glicerina, álcool, cola branca, espinafre, urucum, borra de café e beterraba. Nas tintas foram adicionados fungicidas naturais como vinagre e limão, no entanto, estes elementos desequilibraram o pH do papel (básico), prejudicando a durabilidade do substrato.

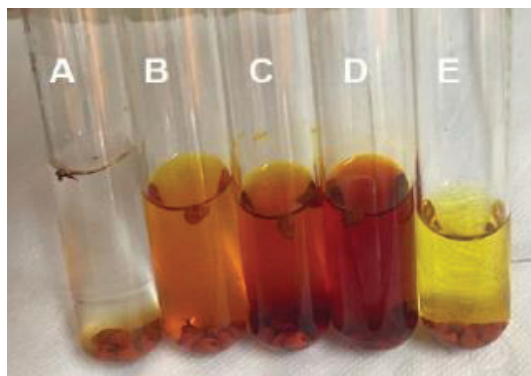
Figura 32 – *Xilogravura* elaborada com borra de café, espinafre e urucum



Fonte: Barboza e Pohlmann, 2015.

Vanuchi (2019) articulou conhecimentos científicos com o saber cultural indígena e trabalhou a química dos pigmentos naturais utilizados na elaboração de tintas, a fim de contribuir com a formação inicial de professores de Química da Universidade Federal de Santa Maria – RS, e promover o ensino e a aprendizagem de Química Orgânica a estudantes da terceira série do ensino médio de um colégio na cidade. A autora ministrou a oficina *Tintas Indígenas*, explorando técnicas de extração de pigmentos, preparo das tintas e as reações químicas entre os pigmentos e solventes. Os pigmentos escolhidos para a oficina foram os mais utilizados pela cultura indígena: sementes de urucum, açafreão-da-terra, mogno, jenipapo e pau-brasil. Nos experimentos com as sementes de urucum, os alunos avaliaram o comportamento do pigmento bixina em diferentes solventes. Na figura 33 estão identificados os solventes água (A), álcool etílico (B), acetona (C), diclorometano (D) e hexano (E).

Figura 33 – Teste de solubilidade da bixina elaborado por Vanuchi (2019)



Fonte: Vanuchi, 2019.

Posteriormente, os alunos fizeram o mesmo procedimento para o urucum em pó, comumente encontrado como condimento alimentar. Na figura 34 estão apresentadas as diluições do pigmento bixina em solvente de acetona, em que a solução (a) representa o urucum em pó, e a solução (b) representa as sementes *in natura*.

Figura 34 – Urucum em pó (a) e sementes *in natura* (b) imersas em acetona



Fonte: Vanuchi, 2019.

Através desses experimentos, a autora e os alunos concluíram que o urucum apresenta maior solubilidade em solventes apolares, pois são capazes de extrair maior quantidade de corante da semente em comparação com os solventes polares. Ressalta-se que o urucum em pó comercializado como condimento alimentar não é considerado um corante puro, já que é composto por outras substâncias que alteram suas características químicas.

Em outro experimento, os alunos observaram a solubilidade do pigmento bixina presente nas sementes de urucum *in natura* em óleo de copaíba. Na figura 35 estão identificados em (A) as sementes imersas no óleo de copaíba em temperatura ambiente, e em (B) as sementes imersas em óleo de copaíba aquecido.

Figura 35 – Dissolução das sementes de urucum *in natura* em óleo de copaíba



Fonte: Vanuchi (2019)

Segundo Vanuchi (2019), a diferença entre as misturas está no fato da bixina sofrer isomerização devido à instabilidade de suas insaturações. A autora afirma que o isômero *cis* da bixina ocorre de forma natural no fruto sendo praticamente insolúvel em óleos vegetais, após seu aquecimento a *cis*-bixina é convertida em sua forma de maior estabilidade, a *trans*-bixina, com capacidade de se dissolver em óleos.

Durante o *Projeto Novos Rumos no Horizonte* elaborado em 2004, Eber Lopes Ferreira realizou um trabalho com os indígenas da tribo guarani da Aldeia Boa Vista em Ubatuba-SP, em uma parceria do Fundo Nacional do Meio Ambiente e o DKA (*Dreikönigsaktion* – Áustria), sobre o aprimoramento da produção de artesanato indígena através de técnicas para minimizar o desperdício de matérias-primas e melhorar a qualidade do artesanato. Através dessa experiência com a comunidade, o autor elaborou a apostila “Tingimento vegetal: teoria e prática sobre tingimento com corantes naturais” (FERREIRA, 2005), que apresenta as receitas para elaborar tintas com pigmentos extraídos de abacate, açafraão-da-terra, angico, erva-mate, erva-de-passarinho, mangueira, cajarana, amoreira, picão, urucum, goiabeira-do-mato, cipó-de-macaco, casca de pakuri, yvyra katu, yvyra-pytã-pire e casca de cebola. Nas oficinas realizadas com os indígenas foram utilizados corantes naturais obtidos de plantas, mordentes naturais que contêm sais metálicos não tóxicos como o alúmen de potássio, acetato de cobre, acetato de ferro, e mordentes de origem vegetal como a planta língua-de-vaca (*Talinum paniculatum*), extrato de casca de acácias, seiva do caule de bananeira e casca de goiabeira (ambas ricas em taninos), casca de inhame e casca de romã.

O quadro 4 apresenta as quantidades dos diferentes mordentes aplicados em 1 quilo de fibra vegetal e 18 litros de água, segundo as experiências de Ferreira (2005).

Quadro 4 – Quantidade de mordentes segundo Ferreira (2005)

MORDENTE	QUANTIDADE
Alúmen	150 g
Acetato de ferro	60 g
Acetato de cobre	80 g
Acetato caseiro	150 g

Fonte: adaptado de Ferreira (2005)

O quadro 5 apresenta os resultados da aplicação dos mordentes e sua interferência nas cores de tingimento natural a partir da experiência de Ferreira (2005).

Quadro 5 – Efeito nas cores a partir de diferentes mordentes naturais

MORDENTE	EFEITO
Alúmen	Cores vivas sem alteração
Acetato de cobre	Alteração suave nas cores
Acetato de ferro	Escurece as cores
Tanino	Altera e resulta em fundo castanho
Língua-de-vaca	Confere um tom verde-musgo-claro

Fonte: adaptado de Ferreira (2005)

Para extrair o pigmento bixina das sementes de urucum (figura 36-a), Ferreira (2005) recomenda utilizar um balde plástico e acrescentar 1 litro de álcool, 1 litro de água e 1 colher de sopa de amoníaco, 500 gramas de semente de urucum, mexer de 15 em 15 minutos até atingir 2 horas, deixar a mistura repousar por 30 minutos, coar o líquido em outro recipiente com uma peneira para separar as sementes (figura 36-b). Ferreira (2005) indica o mesmo procedimento para extrair o pigmento curcumina da raiz do açafrão-da-terra, utilizando 500 gramas de raiz.

Figura 36 – Processo de extração da bixina elaborado por Ferreira (2005)



Fonte: Ferreira (2005)

A artesã Emily Freitas<sup>7</sup>, idealizadora da marca *Tintas do Fruto*, trabalha com tintas naturais em busca da valorização dos saberes ancestrais por meio de sua arte como forma de expressão e registro. Encontra na ancestralidade sua inspiração poética e orientação através do contato com ancestrais que praticavam o conhecimento sobre as tintas no saber cultural afro-mineiro, como tecelãs, bordadeiras, costureiras, artesãos e alfaiates. De família mineira e paulista, a artesã nasceu em Diadema-SP e reside atualmente em São Paulo, ministrando *workshops* para disseminar seus conhecimentos sobre as possibilidades de elaborar a própria tinta através de insumos naturais.

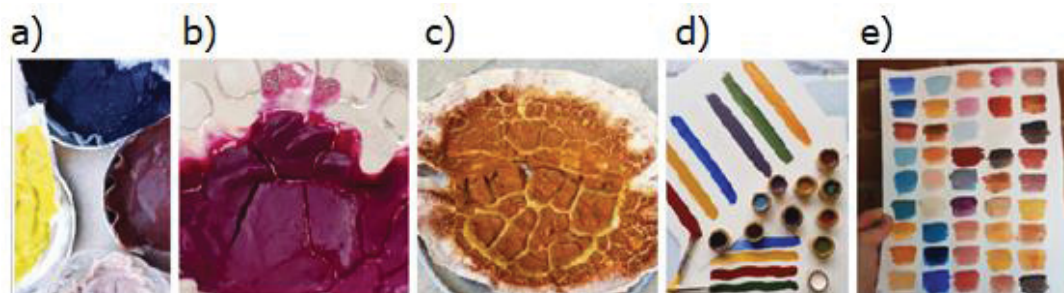
Emily utiliza um processo artesanal para obtenção dos pigmentos para elaborar suas tintas popularmente conhecido como laca. Segundo a artesã, a laca é uma forma de extração dos pigmentos presentes nos vegetais através de um processo químico que coleta os pigmentos sem a presença de água em sua composição molecular, alcançando, assim, cores mais vibrantes. Neste processo são utilizados alúmen de potássio, sal mineral (utilizado na purificação de água) e carbonato de sódio (conhecido como barrilha leve, utilizado para purificação de água de piscinas). O encontro desses elementos químicos gera uma reação efervescente que resulta em hidróxido de alumínio e dióxido de carbono. A artesã recomenda que o processo de preparação da laca seja realizado em ambientes abertos e arejados, além do uso de máscaras e luvas para proteção.

A figura 37 apresenta imagens cedidas pela artesã com os processos de elaboração das lacas e algumas aplicações em substratos diversos a fim de verificar suas características e aplicabilidade. Em a) estão apresentadas lacas com diferentes colorações; b) laca elaborada com pau-brasil; c) laca elaborada a partir das cascas de cebola; d) aplicações de tintas em papel; e) tintas elaboradas com lacas de pau-brasil, pau-brasil e ferro, jurema preta, urucum, lápis-lázuli, cascas de cebola e cascas de romã.

---

<sup>7</sup> Página pessoal: <https://www.instagram.com/tintasdofruto/>.

Figura 37 – Etapas do processo de elaboração das lacas e aplicações

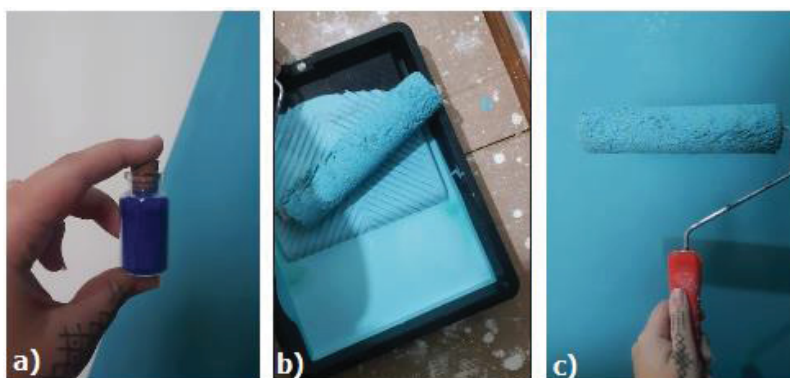


Fonte: a autora

Com a laca pronta para o uso, é possível utilizar o pó resultante para diferentes finalidades, como estamparia natural e preparo de tintas para diversas aplicações. Segundo a artesã, sua durabilidade ainda é indefinida, porém pode ser reservada e utilizada durante um ano após o seu preparo.

Além dos pigmentos extraídos de fontes vegetais, Emily tem explorado a cor azul oriunda do mineral lápis-lazúli comercializado na forma de pó (figura 38-a) na elaboração de tintas imobiliárias (figura 38-b). Através do processo conhecido como “aquarela”, a artesã elaborou goma natural como agente aglutinante e adicionou o pigmento de coloração azul em uma base de tinta branca para aplicar em uma parede interna (figura 38-c).

Figura 38 – Tinta de lápis-lazúli elaborada por Emily Freitas



Fonte: a autora

O processo da “aquarela” também é explorado pela artesã mineira Marcela da Terra, que divulga suas técnicas de elaboração e aplicação de tintas

elaboradas com insumos locais em diferentes substratos, como artesanatos (figuras 39-a) e paredes internas e externas de edificações (figura 39-b), em cidades das regiões sul e sudeste do Brasil, através de *workshops* em parceria com o SENAR (Serviço Nacional de Aprendizagem Rural).

Figura 39 – Aplicação de tintas naturais elaboradas por Marcela da Terra



Fonte: a autora

A partir do contato com pesquisadores, artistas plásticos e artesãos que compõem o *Terra Coletiva*, elaborei tintas naturais com pigmentos vegetais a partir das informações levantadas e avaliei a aplicabilidade e outras características através de pinturas artísticas murais em parede interna (figura 40-a) e externa (figura 40-b) de residências na cidade de Guarulhos-SP, cujas informações sobre os materiais e técnicas utilizados constam nos APÊNDICES I e II, respectivamente.

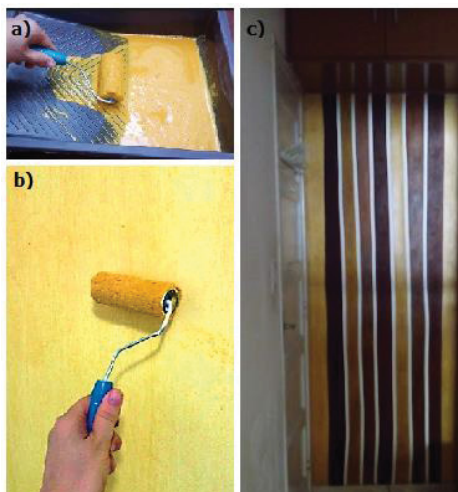
Figura 40 – Pintura de parede interna (a) e externa (b) em Guarulhos-SP



Fonte: a autora

As pinturas foram elaboradas com pigmentos de açafão-da-terra, sementes de urucum, cacau 100%, carvão vegetal e alga spirulina; goma de linhaça marrom e cola branca PVA foram utilizados como agentes aglutinantes; etanol (álcool etílico 70° INPM) e água como solventes; cal de pintura e vinagre branco como agentes bactericidas; e alúmen de potássio e *kakishibu* como aditivos conservadores de cor. As figuras 41-b apresenta a pintura de uma parede interna de residência em Guarulhos-SP com tintas que elaborei com pigmento de açafão-da-terra e resina PVA (figura 41-a), e a figura 41-c apresenta a pintura de uma parede interna na mesma residência com tintas de cacau, sementes de urucum e açafão-da-terra.

Figura 41 – Pintura de paredes internas em Guarulhos -SP



Fonte: a autora

### 2.3 CONCLUSÃO DA FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Para o desenvolvimento de tintas imobiliárias, além dos processos e métodos utilizados na indústria química, o resgate e o aprimoramento de técnicas vernaculares que utilizam insumos naturais apresentam-se como uma importante vertente capaz de reduzir os impactos negativos causados pelo uso de substâncias nocivas ao meio ambiente e à saúde humana. Ainda, ressalta-se a relevância em alavancar pesquisas sobre o uso de insumos naturais locais e processos simples de elaboração artesanal de tintas imobiliárias, a fim de

desenvolver uma tecnologia social que permita o acesso a pessoas impossibilitadas de adquirir tintas industrializadas para a pintura de suas residências, pois apresentam alto custo no mercado atualmente.

As informações coletadas sobre os processos de extração de pigmentos vegetais e de elaboração das tintas, os possíveis aditivos conservadores de cor e os agentes bactericidas para conservação das pinturas em diferentes áreas do conhecimento, como na indústria têxtil, artes plásticas e os saberes ancestrais de culturas ocidentais e orientais, contribuíram como embasamento teórico para a presente pesquisa. A construção coletiva e o compartilhamento de informações de diferentes áreas do conhecimento são imprescindíveis para a inovação de produtos e tecnologias que visam a sustentabilidade.

A experiência de elaboração de tintas com pigmentos vegetais, conforme as informações coletadas em revisão bibliográfica e em experiências pessoais de artistas plásticos e artesãos, motivou o interesse em iniciar pesquisas científicas com base em procedimentos e metodologias estipulados por normas técnicas a fim de testar o desempenho das misturas e avaliar seu comportamento quando aplicadas em ambientes internos e externos. No entanto, em um primeiro momento, as misturas de tintas elaboradas com pigmentos de clorofila mostraram-se insatisfatórias. Conforme os procedimentos e resultados detalhados no APÊNDICE I, as tintas elaboradas com o pigmento clorofila extraído da alga spirulina apresentaram forte coloração no momento da aplicação (figura 42-a), porém, no decorrer do primeiro mês, foi constatado o descolamento da película de tinta (figura 42-b) e, ao final do segundo mês, foi possível notar a perda da coloração inicial, resultando em uma pintura de coloração verde fraca com pouca aderência na parede (figura 42-c).

Figura 42 – Tinta elaborada com pigmento clorofila



Fonte: a autora

Além dos resultados insatisfatórios em relação à estabilidade de cor e aderência, as tintas elaboradas com clorofila extraída da alga spirulina apresentaram custo/litro elevado (cerca do triplo do valor estimado para as demais tintas elaboradas com pigmentos vegetais, ultrapassando até mesmo a tinta industrializada de categoria látex econômica) devido ao alto custo da alga spirulina em pó nos mercados e comércio de produtos naturais localizados em Guarulhos-SP. Os cálculos de custo/litro basearam-se no quadro 13 do APÊNDICE III. Por estes motivos, as tintas elaboradas com pigmento clorofila não foram consideradas para etapa experimental da presente pesquisa, em que foram realizados ensaios de RAU, intemperismo natural e intemperismo acelerado a fim de avaliar o desempenho das tintas naturais sugeridas pelos artistas plásticos e artesãos.

Através dos *workshops* que ministrei em cidades dos estados de São Paulo e Paraná e as experiências dos artistas que compõem o Terra Coletiva em disseminar os conhecimentos sobre a elaboração e aplicação de tintas imobiliárias com pigmentos minerais extraídos de terras e argilas locais, foi possível observar o interesse dos participantes sobre a possibilidade de elaborar tintas com pigmentos vegetais, devido à ampla variedade e tonalidade de cores, disponibilidade, fácil acesso e baixo custo. No entanto, foi possível notar a falta de formulações e receitas publicadas sobre esse tema nos meios acadêmicos, bem como a ausência de quantificação dos insumos, conhecimento técnico e padronização nos processos de elaboração. Portanto, a presente tese visa iniciar as pesquisas sobre o uso de pigmentos vegetais na construção civil a fim de preencher essa lacuna.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

O presente capítulo apresenta a etapa experimental da pesquisa, que consiste na elaboração das misturas de tintas com pigmentos vegetais e demais componentes naturais utilizando as receitas dos artistas e artesãos, bem como as informações coletadas em revisão bibliográfica.

#### 3.1 Pigmentos vegetais: seleção e processos de extração

Os pigmentos vegetais utilizados na presente etapa da pesquisa foram: curcumina, antocianina, bixina e celulose carbonizada, extraídos da raiz de açafrão-da-terra, cacau, sementes de urucum e carvão vegetal, respectivamente, adquiridos em mercados locais e comércio de produtos naturais localizados na cidade de Guarulhos - SP (figura 43).

Figura 43 – Pigmentos vegetais



Fonte: a autora

Todos os processos de extração dos pigmentos descritos no presente capítulo basearam-se nas informações coletadas em revisão bibliográfica e nas experiências pessoais dos artistas plásticos e artesãos, sendo: processo de infusão em etanol utilizado para extração dos pigmentos bixina, presente na semente de urucum, e curcumina, presente na raiz do açafrão-da-terra; o processo de cocção para extração do pigmento antocianina; e trituração para o pigmento celulose carbonizada.

O pigmento bixina em pó foi adicionado às misturas sem a necessidade de passar por processos prévios de extração. A fim de comprovar a solubilidade em etanol e a insolubilidade em água, conforme informações coletadas em revisão bibliográfica, o urucum em pó foi imerso em ambos os solventes durante 72 horas, na proporção de 1:10, a fim de extrair o pigmento bixina. O mesmo procedimento foi utilizado para a extração do pigmento curcumina da raiz do açafrão-da-terra.

A figura 44 apresenta o urucum em pó imerso em etanol (a) e imerso em água (b), enquanto a figura 45 apresenta a raiz do açafrão-da-terra em pó imerso em etanol (a) e imerso em água (b). O etanol utilizado como solvente na elaboração das misturas foi o álcool etílico hidratado 70° INPM, incolor, com densidade de 0,89 g/cm<sup>3</sup>, viscosidade de 0,8 cp a 25°C e pH de 6,9.

Figura 44 – Extração do pigmento bixina em etanol (a) e água (b)



Fonte: a autora

Figura 45 – Extração do pigmento curcumina em etanol (a) e água (b)



Fonte: a autora

Após a imersão por 72 horas, a extração dos pigmentos bixina e curcumina em etanol apresentou coloração intensa, enquanto a imersão na água resultou em coloração fraca e turbidez, comprovando a insolubilidade desses insumos em água.

A extração do pigmento bixina presente nas sementes de urucum *in natura*, conforme as informações coletadas em revisão bibliográfica, foi realizada através da imersão em etanol na proporção de 1:5 durante 72 horas (figura 46), apresentando uma solução de coloração avermelhada e intensa.

Figura 46 – Extração do pigmento bixina de sementes de urucum *in natura* em etanol



Fonte: a autora

O pigmento de celulose carbonizada foi extraído do carvão vegetal através de processos simples de trituração e moagem, posteriormente passando por um *voile* para a obtenção de um pó fino (figura 47), conforme revisão bibliográfica, sem a necessidade da diluição prévia em solvente.

Figura 47 – Extração do pigmento de celulose carbonizada



Fonte: a autora

### 3.2 Agentes aglutinantes

A quantidade de aglutinantes baseou-se na faixa de consumo de resinas para tinta látex de 4,3% a 13% em massa, segundo Silva e Uemoto (2005). A quantidade de sólidos na mistura (pigmentos e aditivos conservantes de cor) limitou-se nos parâmetros estabelecidos por Silva e Uemoto (2005), em que a faixas usuais para tintas látex para o teor de sólidos totais é de 35,6% a 52% em massa, e o teor de pigmentos na mistura é de 30% a 45,9% em massa.

A quantidade de aglutinantes também utilizou como base o estudo de Lopes *et al.* (2017), em que os autores definiram a quantidade de resina de acordo com os valores de PVC (*Pigment Volume Concentration*) esperados para uma tinta fosca (45 a 80%), utilizando a equação 2 como parâmetro para estabelecer a quantidade de resinas, onde  $V_p$  é o volume de pigmento e  $V_v$  é o volume de resina. Segundo Castro (2009), o PVC é um parâmetro importante na indústria de tintas que define o aspecto final da pintura, uma vez que, quanto maior o PVC, menor será a quantidade de ligante da tinta, maiores também serão a rugosidade, a opacidade e a permeabilidade da película.

$$\text{PVC (\%)} = 100 (V_p / V_p + V_v) \quad (2)$$

A partir desse cálculo, Lopes *et al.* (2017) optaram por produzir misturas de tinta que apresentassem teores de resina iguais a 20, 30, 40, 50 e 60% do teor de pigmentos da mistura, o que resultaria em valores de PVC na faixa de 55-80%. Os autores relataram que, quanto maior o PVC, menor o custo da tinta, considerando que a resina é o componente de maior custo na mistura.

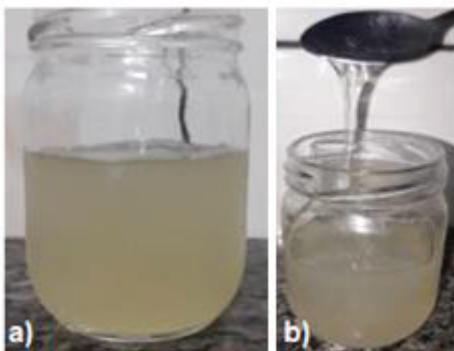
Como agente aglutinante, foi utilizada a resina polimérica de poliacetato de vinila (PVA), popularmente conhecida como cola branca PVA, da marca Cascorez® de categoria universal, com viscosidade de 7.100 cp a 25°C, densidade de 1,07 g/cm<sup>3</sup> e pH de 4,3.

Como o objetivo da presente pesquisa é desenvolver uma alternativa de baixo custo para pintura de paredes internas e, sendo o PVA o componente mais caro na autoprodução de tintas naturais, também foram elaboradas misturas com

aglutinante de goma de sementes de linhaça marrom seguindo as informações fornecidas por artesãos e artistas plásticos, que relataram resultados positivos no uso de goma de linhaça como agente aglutinante em tintas artesanais. A escolha das sementes de linhaça marrom seguiu as informações coletadas em revisão bibliográfica sobre apresentarem menor custo e maior quantidade de agentes antioxidantes, em comparação com as sementes de linhaça dourada. Ambas as sementes produzem gomas com viscosidade, pH e coloração similares.

Segundo as receitas sugeridas, foram adicionados 25 gramas de sementes de linhaça marrom em 150 ml de água, resultando em 250 ml de goma de linhaça (figuras 48-a e 48-b) com viscosidade de 9.500 cp a 25°C e pH de 5,4. Seguindo essa receita, a estimativa de custo indica que o litro de goma de linhaça marrom é 60% mais econômico que o PVA.

Figura 48 – Goma de linhaça marrom



Fonte: a autora

### 3.3 Aditivos conservadores de cor e agentes bactericidas

Como aditivos conservadores de cor e durabilidade das pinturas foram utilizados o alúmen de potássio (figura 49-a), facilmente encontrado em comércios de produtos naturais como “pedra hume”, e o *kakishibu* (figura 49-b) elaborado pela artesã Marion Rupp, que passou por processo de fermentação durante 12 meses, apresentando pH de 3,4 no momento da elaboração das tintas, viscosidade de 0,89 cp a 25°C, coloração alaranjada e cheiro forte

característico do processo de fermentação. Como agente bactericida foi utilizada a cal de pintura, devido à sua alcalinidade.

Figura 49 – Alúmen de potássio (a) e *kakishibu* (b)



Fonte: a autora

### 3.4 Preparo das misturas

A tabela 2 apresenta os dados quantitativos (volume) de cada componente utilizado na elaboração das tintas naturais, segundo as receitas e informações coletadas em revisão bibliográfica e experiências pessoais de artesãos e artistas plásticos, resultando em 13 misturas de tintas artesanais elaboradas com pigmentos vegetais (misturas 2 a 14), em que estão identificados: pigmento curcumina (P1), pigmento bixina extraído das sementes de urucum *in natura* (P2), pigmento bixina extraído das sementes de urucum em pó (P3), pigmento antocianina (P4), pigmento de celulose carbonizada (P5), etanol (E), água (A), goma de linhaça (G), resina PVA (C), *kakishibu* (K), alúmen de potássio (AP) e cal de pintura (CP). Para fins de comparação, foi utilizada uma tinta látex industrializada de categoria econômica de coloração amarela, identificada na presente etapa da pesquisa como mistura 1, cuja composição, segundo o fabricante, consiste em: “emulsão acrílica estirenada, cargas minerais inertes, dióxido de titânio, pigmentos orgânicos e inorgânicos, espessantes acrílicos, coalescentes, micro-biocidas não mercuriais, água e outros aditivos”.

Tabela 2 – Quantidades dos insumos utilizados na elaboração das misturas

Mistura	Pigmento		Solvente		Aglutinante		Aditivo		Bactericida	
	Insumo	Q. (%)	Insumo	Q. (%)	Insumo	Q. (%)	Insumo	Q. (%)	Insumo	Q. (%)
<b>2</b>	P1	0,31	E	0,01	G	0,61	K	0,02	CP	0,05
<b>3</b>	P1	0,06	A	0,06	G	0,58	AP	0,1	CP	0,2
<b>4</b>	P1	0,16	A	0,41	C	0,35	AP	0,08	--	0
<b>5</b>	P2	0,22	E	0,11	G	0,45	AP	0,11	CP	0,11
<b>6</b>	P2	0,16	E	0,18	G	0,29	K	0,08	CP	0,29
<b>7</b>	P2	0,15	E	0,12	G	0,61	--	0	CP	0,12
<b>8</b>	P2	0,14	E	0,27	C	0,54	AP	0,05	--	0
<b>9</b>	P3	0,2	A	0,2	C	0,5	K	0,1	--	0
<b>10</b>	P3	0,17	A	0,5	G	0,25	AP	0,08	--	0
<b>11</b>	P4	0,04	A	0,48	C	0,48	--	0	--	0
<b>12</b>	P4	0,17	A	0,5	G	0,25	AP	0,08	--	0
<b>13</b>	P5	0,1	A	0,45	G	0,45	--	0	--	0
<b>14</b>	P5	0,14	E	0,43	C	0,36	K	0,07	--	0

Fonte: a autora

A partir das informações quantitativas apresentadas na tabela 2, o processo de elaboração das 13 misturas seguiu os procedimentos:

- a) foram pesadas as quantidades de pigmento e solvente para a diluição;
- b) à mistura de pigmento e solvente foi adicionada a quantidade pesada de aglutinante;
- c) posteriormente foram adicionadas as quantidades pesadas de aditivo e agente bactericida, quando presente;
- d) agitou-se com um misturador elétrico a 3.000 rpm por 3 minutos até alcançar a homogeneidade da mistura;
- e) as misturas foram transferidas para recipiente com capacidade de 500 ml para realizar as medições de viscosidade, densidade e pH;
- f) após as medições, as misturas foram aplicadas em substratos para elaboração do cálculo de rendimento e custo/litro, e para os ensaios de resistência à abrasão (RAU), intemperismo acelerado e intemperismo natural.

### 3.5 Avaliação do pH e densidade

Segundo Cardoso *et al.* (2016), o pH interfere no desempenho das tintas, pois determina a viscosidade e a capacidade de cobertura da película de tinta enquanto úmida e após a sua secagem total no substrato.

O pH considerado ótimo para emulsões com PVA compreende os valores entre 4,5 e 5,5, de acordo com Yamak (2013). A organização americana *Food and Agriculture Organization of the United Nation* considera que o pH ideal está compreendido entre 5,0 e 6,5 para emulsões que utilizam PVA e etanol (FAO, 2004), denominado “PVOH” por Cardoso *et al.* (2016), que adotaram o limite máximo de 5,5 para as tintas naturais elaboradas com pigmentos de solo.

Cardoso (2015), ao analisar as formulações utilizadas em suas misturas de tinta com pigmento de solo, concluiu que pHs elevados comprometem a ação da resina PVA. Segundo Júnior (2006), o aumento do pH aumenta a solubilidade das resinas poliméricas, ao expor grupos OH<sup>-</sup> e facilitar a interação com a água, o que é desejável, pois favorece o contato do polímero com o pigmento. No entanto, o sistema de emulsão do monômero do acetato de vinila é sensível a alterações de pH.

Sendo assim, na etapa experimental da pesquisa, as misturas foram reformuladas considerando o pH final na interação entre todos os componentes para não exceder os limites utilizados como base na presente etapa da pesquisa. O pH final de cada mistura foi medido com pHmetro da marca Digimed®, modelo DM-23.

A densidade de cada mistura foi calculada considerando sua massa por unidade de volume através do equipamento densímetro de massa específica próprio para tintas da marca Incoterm®, modelo 5594.

### 3.6 Avaliação da viscosidade

A presente etapa experimental buscou, inicialmente, alcançar uma consistência similar à de tintas convencionais e das tintas com pigmento de terras e argilas elaboradas por Faria (2015) e Cardoso (2015) para cada mistura de tinta elaborada com pigmento vegetal.

Cardoso *et al.* (2016) afirmam que o equilíbrio da viscosidade está diretamente relacionado à quantidade de solvente e, ao avaliar a viscosidade dinâmica das tintas elaboradas com pigmentos de solo, concluíram que o limite máximo considerável aceitável para boa aplicabilidade da tinta é de 400 cP (centipóises), medidos através de viscosímetro de *Brookfield*.

Segundo Verona (2004), a viscosidade de tintas pode ser indicada de forma associada a instrumentos do tipo Copo Ford para medir a fluidez da mistura, avaliando o tempo de escoamento de determinada quantidade pelo orifício do copo. Lopes *et al.* (2017) afirmam que a viscosidade suficientemente alta de uma tinta garante boa aderência no substrato, no entanto, viscosidade suficientemente baixa interfere na aplicabilidade, proporcionando também economia de tinta. Através dos ensaios elaborados por Lopes *et al.* (2017), os autores concluíram que a viscosidade cinemática ( $\text{mm}^2/\text{s}$ ) ideal para as tintas objeto do estudo correspondeu ao tempo de escoamento no viscosímetro com Copo Ford de  $12 \pm 1$  segundos.

Na presente etapa da pesquisa, a consistência final de cada mistura foi alcançada através da variação da quantidade de solventes adicionados às misturas. Os valores finais de viscosidade de cada mistura foram medidos com viscosímetro Copo Ford (marca QUIMIS modelo Q280) de orifício número 4 (com diâmetro de 4,115 mm), seguindo a metodologia de ensaio da NBR 5849 (ABNT, 2015). Foram realizadas três medições em cada mistura com temperatura de  $25 \pm 1^\circ\text{C}$ , sendo adotada a média das medições como resultado final. Os dados levantados foram utilizados para os cálculos de viscosidade cinemática ( $v$ ), através da equação 3 e, posteriormente, da viscosidade dinâmica ( $\mu$ ), através da equação 4.

$$v = 3,85 (t - 4,49) \quad (3)$$

em que:

$v$  = viscosidade cinemática ( $\text{mm}^2/\text{s}$ )

$t$  = tempo de escoamento (s)

$$\mu = \nu \rho \quad (4)$$

em que:

$\mu$  = viscosidade dinâmica (cP)

$\nu$  = viscosidade cinemática (mm<sup>2</sup>/s)

$\rho$  = densidade relativa (g/cm<sup>3</sup>)

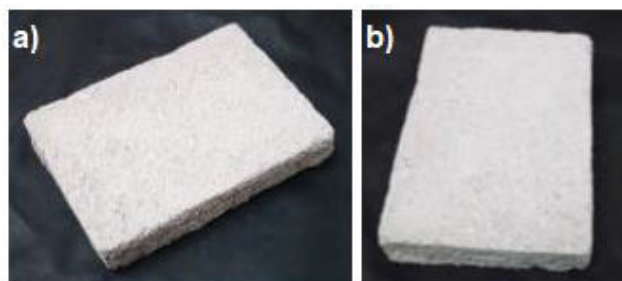
### 3.7 Aplicação nos substratos

Foram elaborados corpos de prova (CPs) de argamassa conforme os procedimentos descritos no Anexo A da NBR 15380 (ABNT, 2015), utilizando moldes metálicos com dimensões 10 x 7 x 1,5 cm, cimento CP II E 32, cal hidratada CH III, areia média lavada e água potável.

Durante o procedimento de moldagem, após a secagem da areia, foram misturados o cimento, a cal hidratada e a areia peneirada na proporção 1:1:6 em volume em um recipiente não absorvente até a perfeita homogeneização. Posteriormente, foi pesada uma quantidade de material suficiente para preencher o molde para depois adicionar água.

A superfície foi nivelada e secou durante 2 horas. Após 48 horas, os corpos de prova foram desmoldados e curados à temperatura ambiente de 25±2°C e umidade relativa do ar superior a 50% (figuras 50-a e 50-b), em local ventilado durante 28 dias, conforme recomenda a NBR 15380 (ABNT, 2015).

Figura 50 - Corpos de prova de argamassa



Fonte: a autora

Após a secagem completa dos CPs, as misturas de tinta 1 a 14 foram aplicadas em três demãos nos CPs 1 a 14, respectivamente, respeitando o intervalo de 4 horas entre cada demão de tinta a fim de garantir a completa evaporação do solvente, conforme recomendam os profissionais da área de pintura imobiliária.

### 3.8 Cálculo de rendimento e custo/litro

O cálculo de rendimento de cada mistura foi elaborado segundo os procedimentos descritos pela NBR 14942 (2022), em que a equação 5 apresenta a área acabada (R) pintada conforme instruções do fabricante, o volume (V) de tinta aplicada e o volume total da embalagem (VT) utilizada da tinta ensaiada.

$$R = (100/V) VT \quad (5)$$

No caso das tintas elaboradas artesanalmente conforme os dados coletados em revisão bibliográfica, para o cálculo de rendimento prático foi considerado o método de aplicação, diluição, geometria da estrutura, rugosidade, cor, absorção da superfície e espessura da camada de tinta depositada, conforme a norma técnica em questão.

O cálculo do custo por litro de tinta considerou a quantidade de insumos utilizada em cada mistura e da quantidade de tinta necessária para o cobrimento total de uma área de 100 cm<sup>2</sup>, possibilitando a elaboração da estimativa do valor total de um galão de 18 litros de tinta, a fim de comparar os resultados com as tintas látex econômica. Ainda, para o cálculo, foram utilizados os insumos locais disponíveis na cidade de Guarulhos-SP, cujos valores de mercado da região encontram-se no quadro 13 do APÊNDICE III.

### 3.9 Avaliação da resistência à abrasão (RAU)

Segundo NBR 15079-1 (ABNT, 2021), as tintas látex de classificação econômica consideradas de bom desempenho frente a resistência à abrasão apresentam limite mínimo de 100 ciclos de escovação nos ensaios cujos procedimentos são descritos pela NBR 15078 – Método para avaliação do desempenho de tintas para edificações não industriais: Determinação de resistência à abrasão úmida sem pasta abrasiva (ABNT, 2004).

O estudo elaborado por Cardoso (2015) comprovou que, para obter RAU acima de 100 ciclos, é necessário elevar os níveis de solvente (água e álcool), e reduzir os níveis de agente aglutinante (resina polimérica de PVA) nas formulações, buscando encontrar níveis intermediários e complementarem entre todos os componentes que se demonstraram antagônicos ao decorrer de sua pesquisa com formulações de tintas com pigmento de solos. Segundo o autor, quanto maior o pH, menor a RAU e, ao reduzir a viscosidade das tintas, é possível elevar os valores de RAU.

Na presente pesquisa, foram seguidos os procedimentos para avaliar a resistência à abrasão das misturas conforme NBR 15078 (ABNT, 2004), e analisar as interações entre os componentes das tintas e as variáveis em questão.

### 3.10 Ensaio de intemperismo natural

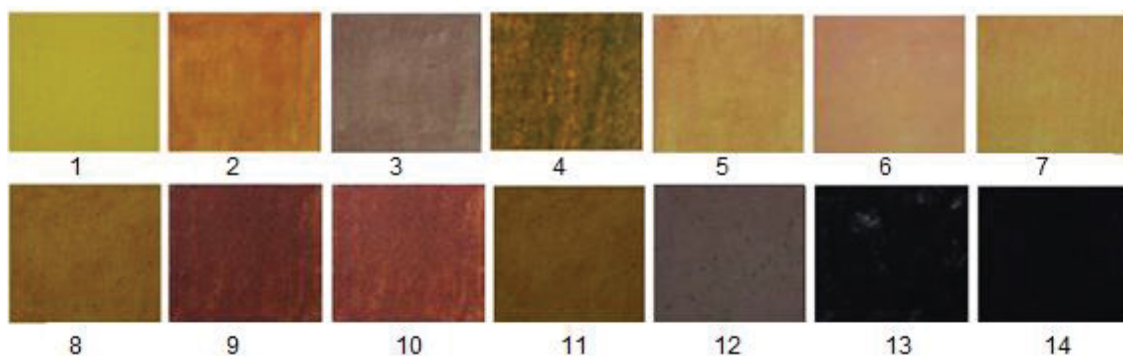
A fim de avaliar o comportamento das misturas de tintas em ambiente interno, isento da ação direta da radiação solar e da chuva, foi elaborado o ensaio de intemperismo natural conforme os métodos estipulados pela *ASTM G7/G7M - Standard practice for atmospheric environmental exposure testing of nonmetallic materials* (ASTM, 2013), em que as misturas são testadas em condições ambientais não controladas.

Segundo Cardoso (2020), o ensaio de intemperismo natural é importante para avaliar o desempenho dos materiais pois estão sujeitos à deterioração natural, que depende das características próprias dos materiais e da severidade das condições ambientais a que estão expostos.

Na presente etapa experimental da pesquisa, as misturas foram aplicadas em corpos de prova de argamassa de 10 cm x 10 cm, posicionados verticalmente respeitando a distância de 10 cm entre estes e de, no mínimo, 30 cm do solo, como estabelece a norma em questão. O ensaio de intemperismo natural foi realizado na cidade de Guarulhos – SP (769 metros de altitude, 23° 24' 47" Sul de latitude e 46° 26' 40" Oeste de longitude) durante 12 meses (início em maio de 2021, término em maio de 2022), cuja média de temperatura anual foi de 20°C (mínima 12°C e máxima 28°C) e a média anual de umidade relativa do ar foi de 40%.

A figura 51 apresenta a aplicação das misturas de tinta 1 a 14 nos substratos para a avaliação do intemperismo natural.

Figura 51 – Tintas 1 a 14 recém aplicadas para o ensaio de intemperismo natural



Fonte: a autora

Quanto à exposição, foram mantidas as mesmas condições atmosféricas para todas as misturas durante os 12 meses de ensaio, monitoradas semanalmente durante os primeiros 6 meses para verificação de patologias como descolamento da película, presença de fungos ou bolor, entre outras passíveis de serem identificadas através de inspeção visual.

No início e ao final do ensaio foram realizadas medições de luminância em cada mistura através do equipamento luminômetro da marca Konika Minolta®, modelo LS-100 (figura 52-a) em ambiente fechado sob a iluminância de 198.7 lux, medidos através do equipamento luxímetro da marca Minipa®, modelo MLM-1332 (figura 52-b), a fim de realizar o cálculo de refletância das misturas e comparar com os resultados de uma tinta imobiliária industrializada.

Figura 52 – Equipamentos luminancímetro (a) luxímetro (b)



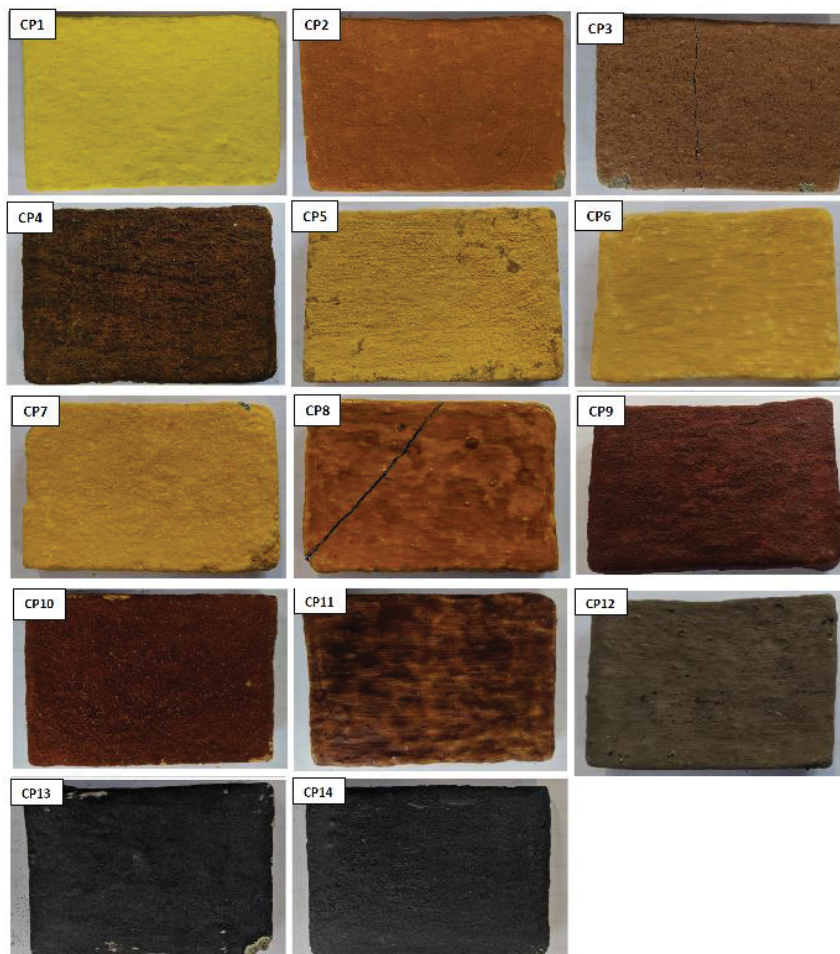
Fonte: a autora

### 3.11 Ensaio de intemperismo acelerado

O ensaio de intemperismo acelerado visa simular o comportamento das misturas de tintas em ambiente externo, sujeito à ação direta da radiação solar e chuva, através dos procedimentos descritos pela *ASTM G154 - Standard practice for operating fluorescent ultraviolet (UV) lamp apparatus for exposure of nonmetallic materials* – ciclo 1 (ASTM, 2016).

A figura 53 apresenta a aplicação das misturas de tinta 1 a 14 nos substratos para a avaliação do intemperismo acelerado.

Figura 53 – CPs com as misturas de tinta 1 a 14 recém aplicadas para o ensaio de intemperismo acelerado



Fonte: a autora

O ensaio foi realizado no laboratório de pesquisas e análises do Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento LACTEC, utilizando a câmara de radiação ultravioleta QUV da marca Q-PANEL®, modelo Q-UV *spray* (figura 54), que possui acomodação para os corpos-de-prova e assegura que a irradiância em qualquer ponto na área usada seja, pelo menos, 90% do valor máximo nesta área, conforme norma técnica.

Figura 54 – Câmara de radiação ultravioleta QUV



Fonte: a autora

As misturas de tintas foram expostas alternadamente à radiação ultravioleta através de lâmpadas fluorescentes com emissão da radiação concentrada na faixa UVA-340 nm. A condensação de vapor d'água foi produzida por exposição da superfície teste a uma mistura de ar e vapor d'água saturada e aquecida, enquanto o lado inverso do corpo de prova foi exposto ao resfriamento pela temperatura ambiente.

O ciclo de exposição foi programado para 4 horas de exposição UV a  $60\pm 2^{\circ}\text{C}$  e 4 horas de condensação de vapor d'água a  $50\pm 2^{\circ}\text{C}$  durante o tempo de exposição de 1.000 horas com irradiância de  $0,89 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ nm})$ . O ensaio foi realizado entre os meses de agosto e outubro de 2021.

Ao final do ensaio, as misturas foram submetidas às avaliações de luminância através do equipamento luminômetro da marca Konika Minolta®, modelo LS-100 em ambiente fechado sob a iluminância de 198,7 lux, medidos através do equipamento luxímetro da marca Minipa®, modelo MLM-1332, a fim de realizar o cálculo de refletância das misturas e comparar com os resultados de uma tinta imobiliária industrializada.

### 3.12 Delineamento experimental de mistura: pigmento curcumina

Tintas elaboradas com insumos naturais que se enquadram na realidade da autoprodução necessitam de uma receita que quantifique os componentes a fim de gerar uma mistura com desempenho satisfatório. Portanto, para a presente etapa da pesquisa foi necessário utilizar o método estatístico de delineamento experimental de misturas para alcançar uma formulação de tinta através do *software* Minitab 20.4, cujos objetivos foram:

a) verificar como as características do produto final são afetadas pela variação das proporções dos componentes;

b) definir as proporções adequadas para obter misturas com viscosidade e pH que se enquadrem nos limites pré-estabelecidos conforme revisão bibliográfica;

c) analisar os resultados a fim de obter as formulações que atendam aos requisitos mínimos de desempenho frente ao ensaio de resistência à abrasão (RAU) conforme a NBR 15079-1 (ABNT, 2021).

Os experimentos de mistura consideram que a proporção de cada componente depende da proporção dos demais componentes. Portanto, espera-se que haja correlação entre os componentes além da correlação com a variável resposta (multicolinearidade).

O pigmento curcumina foi escolhido para a presente etapa da pesquisa por ser facilmente encontrado como condimento alimentar, apresentando baixo custo e fácil extração em solventes polares como o etanol, escolhido por este motivo como o solvente para a presente etapa. Além destes insumos, também foram escolhidos o *kakishibu* como aditivo conservador de cor devido à facilidade do processo de elaboração e acesso, a cal de pintura como agente bactericida e a resina PVA como agente aglutinante devido à facilidade de obtenção.

As restrições experimentais que definiram os limites do intervalo de cada componente foram baseadas em revisão bibliográfica e em informações coletadas com artesãos e artistas que trabalham com pigmentos vegetais na elaboração de tintas. A tabela 3 apresenta os limites inferiores e superiores para

cada componente, em que estão identificados o pigmento (X), solvente (Y), agente aglutinante (Z), aditivo conservador de cor (W) e agente bactericida (S).

Tabela 3 - Limites mínimos e máximos de cada componente na mistura

Componente	Proporção (%)	
	Inferior	Superior
X	0,03	0,2
Y	0,20	0,37
Z	0,30	0,47
W	0,30	0,47
S	0	0,17

Fonte: a autora

Devido às restrições com base nos limites inferiores e superiores de cada componente, apresentados na tabela 3, foi utilizado o experimento de vértices extremos de grau 4, analisados o efeito de cada componente e as interações duplas, considerando como hipótese nula a ausência de efeito significativo de cada componente e das interações na variável resposta. Assim, considerando 95% de confiança, rejeitaram-se as hipóteses nula quando  $p\text{-valor} < 0,05$ .

Como as variações das proporções dos componentes visam alcançar as formulações mais adequadas de acordo com as respostas dos requisitos de desempenho, o presente estudo considerou o pH, a viscosidade e a RAU das misturas como variáveis resposta no delineamento experimental, medidos através dos métodos apresentados nos capítulos 3.5, 3.6 e 3.9 da presente tese, respectivamente.

Após a inserção dos limites inferiores e superiores de cada componente no *software* Minitab 20.4, foram gerados 36 pontos experimentais, identificados como misturas C1 a C36. A tabela 4 apresenta os dados quantitativos (volume) dos componentes das 36 misturas geradas com pigmento curcumina na presente etapa da pesquisa, em que estão identificados: pigmento curcumina (X), solvente etanol (Y), agente aglutinante resina PVA (Z), aditivo conservador de cor *kakishibu* (W) e agente bactericida cal (S).

Tabela 4 – Misturas geradas com pigmento curcumina

Mistura	X	Y	Z	W	S
C1	0,03	0,2	0,3	0,3	0,17
C2	0,2	0,2	0,3	0,3	0
C3	0,03	0,37	0,3	0,3	0
C4	0,03	0,2	0,47	0,3	0
C5	0,03	0,2	0,3	0,47	0
C6	0,03	0,2	0,3	0,39	0,09
C7	0,03	0,2	0,39	0,3	0,09
C8	0,03	0,2	0,39	0,39	0
C9	0,03	0,29	0,3	0,3	0,09
C10	0,03	0,29	0,3	0,39	0
C11	0,03	0,29	0,39	0,3	0
C12	0,12	0,2	0,3	0,3	0,09
C13	0,12	0,2	0,3	0,39	0
C14	0,12	0,2	0,39	0,3	0
C15	0,12	0,29	0,3	0,3	0
C16	0,03	0,2	0,36	0,36	0,06
C17	0,03	0,26	0,3	0,36	0,06
C18	0,03	0,26	0,36	0,3	0,06
C19	0,03	0,26	0,36	0,36	0
C20	0,09	0,2	0,3	0,36	0,06
C21	0,09	0,2	0,36	0,3	0,06
C22	0,09	0,2	0,36	0,36	0
C23	0,09	0,26	0,3	0,3	0,06
C24	0,09	0,26	0,3	0,36	0
C25	0,09	0,26	0,36	0,3	0
C26	0,03	0,24	0,34	0,34	0,04
C27	0,07	0,2	0,34	0,34	0,04
C28	0,07	0,24	0,3	0,34	0,04
C29	0,07	0,24	0,34	0,3	0,04
C30	0,07	0,24	0,34	0,34	0
C31	0,06	0,23	0,33	0,33	0,03
C32	0,05	0,22	0,32	0,32	0,1
C33	0,13	0,22	0,32	0,32	0,02
C34	0,05	0,3	0,32	0,32	0,02
C35	0,05	0,22	0,4	0,32	0,02
C36	0,05	0,22	0,32	0,4	0,02

Fonte: a autora

Após gerar as quantidades de cada insumo através do *software* Minitab 20.4, a produção das misturas de tinta com pigmento curcumina seguiu os procedimentos listados abaixo:

- a) foram pesadas as quantidades de pigmento e solvente para a diluição;
- b) à mistura de pigmento e solvente foi adicionada a quantidade pesada de aglutinante;
- c) posteriormente foram adicionadas as quantidades pesadas de aditivo e agente bactericida, quando presente;
- d) agitou-se com um misturador elétrico a 3.000 rpm por 3 minutos até alcançar a homogeneidade da mistura;
- e) as misturas foram transferidas para recipiente com capacidade de 500 ml para realizar as medidas de viscosidade e pH;
- f) após as medições, foram elaboradas as aplicações em substratos para os ensaios de resistência à abrasão.

A figura 55 apresenta as 36 misturas de tintas elaboradas com pigmento curcumina aplicadas em substrato de argamassa, conforme os procedimentos descritos pela NBR 15380 (ABNT, 2015), para o ensaio de RAU. Nota-se a diferença de tonalidade da coloração amarela nas misturas devido à excessiva alcalinidade do agente bactericida, que altera a coloração do pigmento curcumina assim como ocorre com o pigmento bixina, conforme relatado por Araújo (2008). Além disso, a variação das quantidades de pigmento, solvente, aglutinante e aditivo também fora responsável pelas diferentes tonalidades de coloração das misturas.

Figura 55 – Aplicação das 36 misturas de tinta com pigmento curcumina em substrato de argamassa



Fonte: a autora

As informações coletadas na presente etapa da pesquisa serviram como dados a serem inseridos no *software* Minitab 20.4, a fim de elaborar o ajuste dos modelos quadráticos para analisar os efeitos principais e interações duplas, e elaborar os gráficos de frequência das respostas, a equação de regressão para analisar o resultado da variável resposta a cada unidade incrementada das variáveis independentes, e encontrar uma mistura que melhor representa a otimização conjunta das variáveis respostas através da análise de otimização (método *Desirability*), apresentando uma formulação de tinta com pigmento vegetal considerada de bom desempenho segundo normas técnicas.

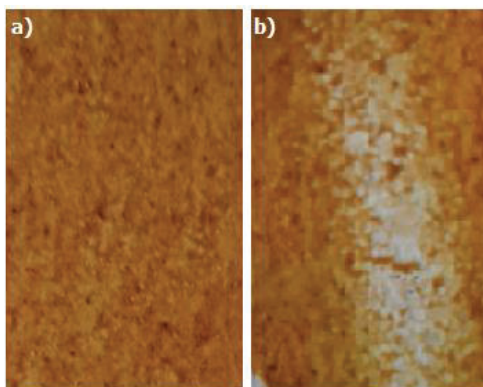
## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 TINTAS 1 a 14

#### 4.1.1 Densidade, pH, viscosidade e RAU

O ensaio de resistência à abrasão contabilizou a quantidade de ciclos de escovação necessária para remover totalmente a tinta do substrato. A figura 56 exemplifica o ensaio de abrasão da mistura 2, em que 56-a apresenta a mistura de tinta aplicada no substrato, e a figura 56-b apresenta a mistura após os ciclos de escovação.

Figura 56 – Mistura 2 aplicada no substrato (a) e após os ciclos de escovação (b)



Fonte: a autora

A tabela 5 apresenta os resultados de pH, temperatura (°C) da tinta durante a medição de viscosidade, densidade (g/cm<sup>3</sup>), viscosidade cinemática  $v$  (mm<sup>2</sup>/s), viscosidade dinâmica  $\mu$  (cp), e a quantidade de ciclos de escovação (RAU) das misturas de tinta 1 a 14.

Tabela 5 – Resultados de densidade, temperatura, pH, viscosidade e RAU das misturas de tinta 1 a 14

Mistura	pH	Temperatura (°C)	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	Viscosidade $v$ (mm <sup>2</sup> /s)	Viscosidade $\mu$ (cp)	RAU (ciclos)
1	<b>9,2</b>	25,1	0,91	<b>1428,58</b>	<b>1300</b>	<b>130</b>
2	<b>11,7</b>	25,8	0,91	298,41	271,55	47
3	<b>9,1</b>	26	1,02	167,51	170,86	25
4	3,1	25,7	0,9	<b>560</b>	<b>504,19</b>	<b>233</b>
5	<b>8,1</b>	25,9	0,77	72,34	55,7	17
6	<b>12</b>	24,9	0,98	89,16	87,38	24
7	<b>12</b>	25,9	0,86	59,25	50,95	23
8	4	25,8	0,89	112,03	99,71	<b>103</b>
9	3,7	25	0,99	<b>484,59</b>	<b>479,75</b>	<b>160</b>
10	3,2	25,5	0,99	81,5	80,68	30
11	4,7	24	0,9	91,82	82,64	<b>142</b>
12	3,3	25,7	0,85	238,73	202,92	56
13	6,3	25,3	0,85	76,26	64,82	20
14	5,7	24,5	0,88	319,74	281,37	<b>190</b>

Nota: Encontram-se destacados em negrito os valores acima dos limites estipulados para cada característica analisada conforme revisão bibliográfica.

Fonte: a autora

A partir dos resultados, nota-se que as misturas de tintas elaboradas com pigmentos vegetais que ultrapassaram o limite máximo de 6,5 estipulado para tintas “PVOH” (CARDOSO *et al.*, 2016) foram as misturas em que a cal de pintura foi adicionada como aditivo bactericida. Ainda, 41,7% das misturas apresentaram pH inferior a todos os limites estipulados conforme revisão bibliográfica, enquanto 25% das misturas apresentaram pH dentro dos limites estipulados por FAO (2004), Yamak (2013) e Cardoso *et al.* (2016).

Ao considerar que a média de viscosidade dinâmica das tintas látex econômica disponíveis no mercado atualmente é de 201 cp, apenas uma mistura de tinta elaborada na presente etapa da pesquisa apresentou viscosidade similar, sendo que 61,5% das misturas apresentaram viscosidade inferior à das

tintas industrializadas e 38,4% apresentaram viscosidade superior. Apenas duas misturas apresentaram viscosidade acima do limite máximo estipulado por Cardoso (2015) para tintas elaboradas com pigmentos de solos.

Todas as misturas de tinta elaboradas na presente etapa da pesquisa apresentaram densidade inferior à média de densidade das tintas látex industrializadas disponíveis no mercado (1,45 g/cm<sup>3</sup>).

As misturas de tinta em que a cal de pintura foi adicionada como agente bactericida apresentaram RAU abaixo do limite mínimo de desempenho estipulado pela NBR 15079-1 (2021), comprovando que tintas com pH elevado são menos resistentes aos ciclos de escovação, como constatou Cardoso (2015) nos ensaios de RAU em tintas com pigmentos minerais.

A partir dos resultados apresentados pela tabela 5, percebe-se que as misturas de tintas elaboradas com pigmentos vegetais que apresentaram bom desempenho frente ao ensaio de RAU e viscosidade apropriada para aplicação das tintas apresentaram pH abaixo de 6,0 e o uso da resina PVA como agente aglutinante. As tintas em que a goma de linhaça foi utilizada como agente aglutinante apresentaram RAU abaixo do limite mínimo de desempenho.

#### 4.1.2 Rendimento e estimativa do custo/litro

A tabela 6 apresenta os valores de rendimento e a estimativa de custo/litro das misturas de tinta 1 a 14, calculados com base nos valores de mercado encontrado para cada insumo na cidade de Guarulhos-SP apresentados no quadro 13 do APÊNDICE III.

Tabela 6 – Rendimento e custo/litro das misturas de tinta 1 a 14

Mistura	Rendimento (L/m <sup>2</sup> )	Custo Total (R\$/L)	TOTAL (18L)
1	4,1	12,21	219,95
2	2,4	1,89	34,12
3	3,05	3,53	63,69
4	3,55	15,61	281,11
5	2,55	10,14	182,57
6	3,4	4,79	86,23
7	6,2	4,22	76,02

8	1,75	22,63	407,48
9	2,45	22,38	402,86
10	2,2	4,52	81,34
11	1,9	15,99	287,94
12	3,2	5,39	97,17
13	3,2	1,36	24,53
14	4,45	15,56	280,2

Fonte: a autora

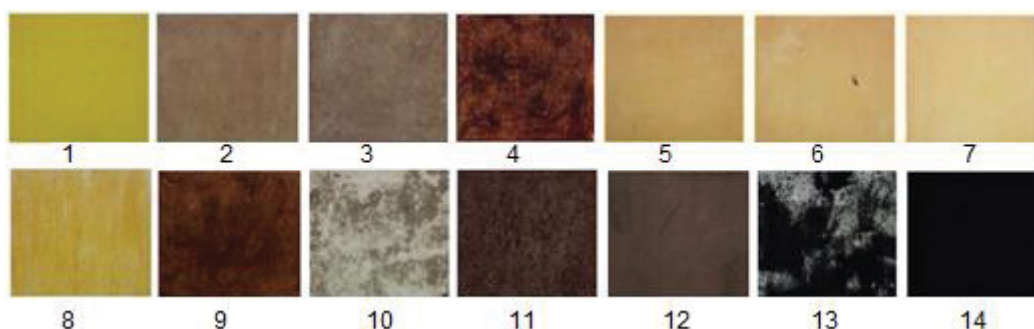
A partir dos resultados apresentados na tabela 6, percebe-se que as tintas elaboradas com goma de linhaça apresentaram custo/litro inferior às das tintas industrializadas. As tintas elaboradas com resina PVA apresentaram custo similar ou superior às tintas industrializadas.

O rendimento de apenas uma mistura de tinta foi superior ao da tinta industrializada, enquanto o restante das misturas apresentou rendimento similar ou inferior.

#### 4.1.3 Desempenho frente ao intemperismo natural

A figura 57 apresenta as misturas de tintas 1 a 14 após o ensaio de intemperismo natural.

Figura 57 – Tintas 1 a 14 após o ensaio de intemperismo natural



Fonte: a autora

A tabela 7 apresenta os valores de luminância  $L$  ( $\text{Cd}/\text{m}^2$ ) e refletância ( $\rho$ ) calculados nas misturas de tinta 1 a 14 antes e depois do ensaio de resistência ao intemperismo natural, a fim de comparação.

Tabela 7 – Resultados de luminância (L) e refletância ( $\rho$ ) das misturas de tinta 1 a 14 durante o ensaio de resistência ao intemperismo natural

Mistura	Luminância L (Cd/m <sup>2</sup> )			Refletância ( $\rho$ )		
	Recém pintadas	Após intemperismo natural	Variação (%)	Recém pintadas	Após intemperismo natural	Variação (%)
1	56,56	53,32	-3,24	0,89	0,84	-0,05
2	34,64	40,29	5,65	0,55	0,64	0,09
3	28,41	44,38	15,97	0,45	0,7	0,25
4	4,91	13,95	9,04	0,08	0,22	0,14
5	50,58	41,63	-8,95	0,8	0,66	-0,14
6	45,78	47,86	2,08	0,72	0,76	0,04
7	49,43	49,23	-0,2	0,78	0,78	0
8	33,37	50,11	16,74	0,53	0,79	0,26
9	12,14	9,15	-2,99	0,19	0,14	-0,05
10	23,19	28,66	5,47	0,37	0,45	0,08
11	11,81	13,37	1,56	0,19	0,21	0,02
12	13,62	21,54	7,92	0,22	0,34	0,12
13	2,66	4,92	2,26	0,04	0,08	0,04
14	1,83	1,79	-0,04	0,03	0,03	0

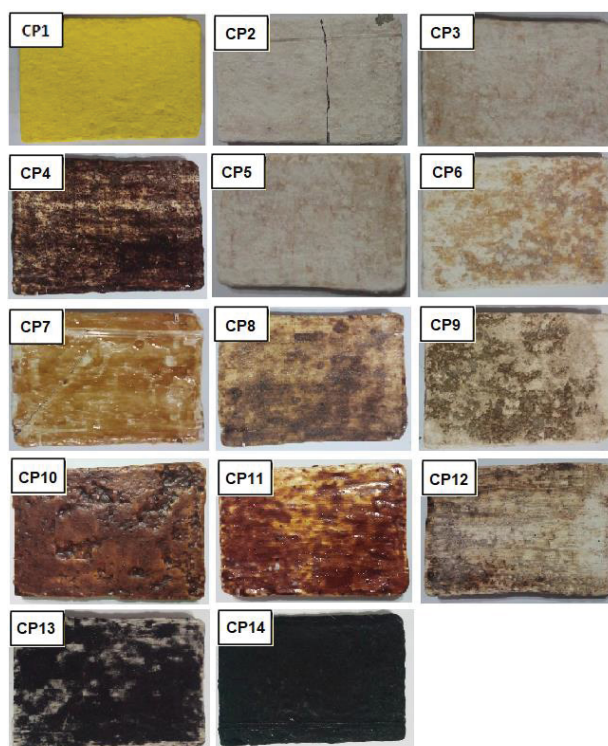
Fonte: a autora

A partir dos resultados apresentados na tabela 7, percebe-se que a tinta industrializada apresentou pouca variação entre as misturas recém aplicadas e as misturas submetidas ao ensaio de intemperismo natural. Entre as tintas elaboradas com pigmentos vegetais, 77% das misturas apresentaram pouca degradação, enquanto o restante apresentou degradação visível de descolamento da película do substrato e perda da tonalidade de cor. Entre as misturas que apresentaram resultados insatisfatórios, percebe-se a ausência do aditivo conservador de cor, o uso de água como solvente e goma de linhaça como agente aglutinante.

#### 4.1.4 Desempenho frente ao intemperismo acelerado

A figura 58 apresenta as misturas de tintas 1 a 14 após o ensaio de intemperismo acelerado.

Figura 58 – Tintas 1 a 14 após o ensaio de intemperismo acelerado



Fonte: a autora

A tabela 8 apresenta os valores de luminância  $L$  ( $\text{Cd}/\text{m}^2$ ) e refletância ( $\rho$ ) calculados nas misturas de tinta 1 a 14 antes e depois do ensaio de resistência ao intemperismo acelerado, a fim de comparação.

Tabela 8 – Resultados de luminância ( $L$ ) e refletância ( $\rho$ ) das misturas de tinta 1 a 14 durante o ensaio de resistência ao intemperismo acelerado

Mistura	Luminância $L$ ( $\text{Cd}/\text{m}^2$ )			Refletância ( $\rho$ )		
	Recém pintadas	Após intemperismo acelerado	Variação (%)	Recém pintadas	Após intemperismo acelerado	Variação (%)
1	56,56	46,68	-9,88	0,89	0,74	-0,15
2	25,79	42,57	16,78	0,41	0,67	0,26

3	23,38	43,55	20,17	0,37	0,69	0,32
4	3,78	8,38	4,6	0,06	0,13	0,07
5	42,98	38,61	-4,37	0,68	0,61	-0,07
6	36,58	46,07	9,49	0,58	0,73	0,15
7	36,7	52,79	16,09	0,58	0,83	0,25
8	38,73	13,26	-25,47	0,61	0,21	-0,4
9	11,29	15,32	4,03	0,18	0,24	0,06
10	10,57	20,01	9,44	0,17	0,32	0,15
11	6,36	6,58	0,22	0,1	0,1	0
12	10,43	29,51	19,08	0,16	0,47	0,31
13	1,99	2,08	0,09	0,03	0,03	0
14	2,68	2,24	-0,44	0,04	0,04	0

Fonte: a autora

A partir dos resultados apresentados pela tabela 7, percebe-se que a tinta industrializada apresentou pouca variação entre as misturas recém aplicadas e as misturas submetidas ao ensaio de intemperismo acelerado. Entre as misturas elaboradas com pigmentos vegetais, 77% apresentaram variações consideráveis de danificações na pintura frente ao intemperismo, enquanto o restante apresentou resultados satisfatórios de resistência, com poucas danificações da pintura no substrato.

#### 4.1.5 Discussões

As tintas elaboradas com pigmentos vegetais com base em informações coletadas em revisão bibliográfica e experiências pessoais de artistas e artesãos apresentaram resultados satisfatórios de desempenho quando aplicadas em ambiente interno de edificações. Em ambiente externo, sujeito às ações diretas da radiação solar e umidade, as tintas apresentaram baixa resistência.

Os aditivos conservadores de cor representaram um agente relevante, já que as misturas em que não foram adicionados apresentaram maior degradação com o tempo.

A resina PVA quando adicionada como agente aglutinante apresentou resultados satisfatórios nos ensaios de RAU, no entanto, foi o componente responsável por elevar o custo/litro das tintas e a viscosidade, influenciando no rendimento.

Nota-se a relevância em desenvolver receitas através de formulações baseadas em cálculos e métodos estatísticos relacionando a influência dos componentes com as características físicas das tintas, a fim de encontrar quantidades dentro dos limites de desempenho estipulados por norma técnica, visando a padronização dos processos e quantidades para facilitar a replicabilidade das tintas elaboradas com pigmentos vegetais e suas tonalidades de cores.

## 4.2 TINTAS COM PIGMENTO CURCUMINA

### 4.2.1 Viscosidade, pH e RAU

A tabela 9 apresenta os resultados das variáveis resposta analisadas em cada ponto experimental, bem como a densidade ( $\text{g/cm}^3$ ) de cada mistura e sua temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) no momento da medição da viscosidade cinemática ( $\nu$ ) e dinâmica ( $\mu$ ). Na tabela 9 estão destacados em negrito os valores considerados aceitáveis de viscosidade para boa aplicação da tinta no substrato (mínimo de 70 cp e máximo de 160 cp), os valores de pH dentro dos limites descritos conforme revisão bibliográfica (entre 4,5 e 5,5), e RAU acima de 100 ciclos de escovação considerado bom desempenho para tintas látex de categoria econômica segundo NBR 15079-1 (ABNT,2021).

Tabela 9 – Densidade, temperatura e variáveis resposta

Mistura	pH	Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )	Densidade ( $\text{g/cm}^3$ )	Viscosidade $\nu$ ( $\text{mm}^2/\text{s}$ )	Viscosidade $\mu$ (cp)	RAU (ciclos)
C1	12,2	24,4	0,82	<b>162,5</b>	<b>133,2</b>	<b>137</b>
C2	4,6	25	0,82	<b>193,7</b>	<b>158,83</b>	<b>217</b>
C3	4,4	25,4	0,78	74,42	58,04	54
C4	4,3	24,1	0,82	<b>103,8</b>	<b>85,11</b>	66
C5	4,2	25,3	0,81	64,71	52,42	56
C6	12	25,4	0,88	<b>90,32</b>	<b>79,48</b>	<b>220</b>
C7	12	25	0,88	<b>96,48</b>	<b>84,9</b>	<b>128</b>
C8	4,2	24,5	0,77	77,5	59,67	59
C9	12	25	0,92	<b>79,15</b>	<b>72,82</b>	<b>123</b>
C10	4,4	24,7	0,76	63,95	48,6	48
C11	<b>4,5</b>	25,2	0,78	77,8	60,69	60

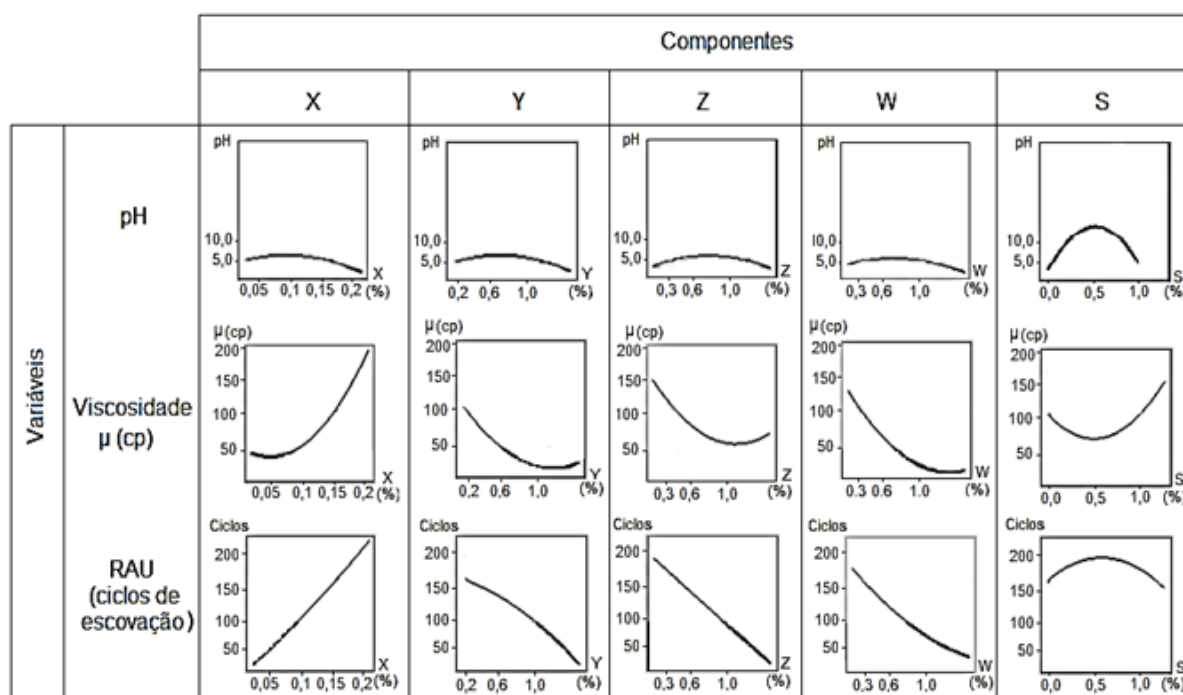
C12	12	24,5	0,86	<b>112,84</b>	<b>97,04</b>	<b>186</b>
C13	<b>4,5</b>	25,5	0,86	78,96	67,9	<b>114</b>
C14	<b>4,5</b>	25,3	0,84	<b>95,32</b>	<b>80,07</b>	<b>102</b>
C15	<b>4,7</b>	24,5	0,81	75,19	60,9	<b>104</b>
C16	11,9	25	0,81	86,08	69,73	<b>120</b>
C17	12	24	0,81	80,58	65,27	<b>113</b>
C18	12	25	0,82	76,73	62,92	<b>124</b>
C19	4,3	24	0,84	72,11	60,57	51
C20	11,7	25,2	0,88	76,92	67,7	<b>138</b>
C21	11,9	25	0,85	<b>99,83</b>	<b>84,85</b>	<b>163</b>
C22	4,4	24,3	0,85	77,23	65,64	77
C23	11,7	24,5	0,84	82,9	69,63	<b>121</b>
C24	<b>4,6</b>	24	0,84	75,69	63,58	<b>101</b>
C25	<b>4,7</b>	24	0,83	<b>89,74</b>	<b>74,49</b>	69
C26	11,8	24	0,8	72,8	58,24	<b>107</b>
C27	11,8	24	0,83	86,08	71,45	<b>118</b>
C28	11,7	25,3	0,81	77,69	62,93	<b>145</b>
C29	11,7	25	0,81	80,77	65,42	<b>270</b>
C30	4,4	24,5	0,8	74,53	59,62	<b>180</b>
C31	11,4	25,5	0,85	76,27	64,82	<b>152</b>
C32	12,1	25,5	0,84	82,23	69,08	<b>196</b>
C33	8,7	25,9	0,85	80,89	68,75	<b>136</b>
C34	10,7	24,3	0,82	69,8	57,23	<b>140</b>
C35	11,3	24,3	0,86	<b>82,04</b>	<b>70,55</b>	88
C36	11,1	24,5	0,82	69,61	57,08	<b>110</b>

Fonte: a autora

Os resultados apresentados na tabela 9 indicam que 33% das misturas apresentaram viscosidade dentro dos limites considerados ideais, 19% das misturas apresentaram-se dentro dos limites estipulados para pH, e 72% das misturas apresentaram RAU acima de 100 ciclos de escovação.

A figura 59 apresenta o conjunto de gráficos elaborados através do *software* Minitab 20.4, que indicam a influência de cada componente nas variáveis resposta.

Figura 59 – Conjunto de gráficos componente x variável resposta



Fonte: a autora

#### 4.2.2 Equações de regressão

No modelo de regressão, as variáveis independentes relacionam-se entre si e com a variável resposta (variável dependente). Portanto, foram interpretadas as influências diretas das variações dos componentes sobre as variáveis respostas com base em equações de regressão (tabela 10), considerando as interações significativas ( $p$ -valor  $< 0,05$ ), em que estão identificados: pigmento curcumina (x), solvente etanol (y), agente aglutinante resina PVA (z), aditivo conservador de cor *kakishibu* (w) e agente bactericida cal (s).

Tabela 10 - Equações de regressão para as variáveis respostas

Variável resposta	Equação de Regressão	R <sup>2</sup>
Viscosidade	$y = 152,57x + 57,56y + 84,86z + 52,58w + 130,57s - 147,2xy - 127,7xz - 132,3xw - 181,9xs - 93,4ys - 94,1zs$	93,28%
pH	$y = 4,14x + 4,35y + 4,36z + 4,24w + 10,63s + 22,16xs + 23,06ys + 23,69zs + 23,71ws$	87,34%
RAU	$y = 197,6x + 47,9y + 49,3z + 59,3w + 141,0s + 338,0ws$	60,40%

Fonte: a autora

A análise de regressão para o índice de viscosidade indica que, para obter viscosidade dentro dos limites especificados, são necessários níveis mais altos de X e S, e mais baixos de Y, Z e W. Entretanto, o fator X interage significativamente com os demais componentes, produzindo indiretamente um efeito negativo. Da mesma maneira, o componente S interage indiretamente com os componentes X, Y e Z, produzindo efeito negativo. Portanto, recomenda-se adotar níveis intermediários e complementares para os componentes X e S.

A análise de regressão para o pH indica que, para obter valor mais altos de pH, é necessário aumentar os níveis do fator S e reduzir os níveis dos fatores X, Y, Z e W. O componente S interage significativamente com os demais componentes, produzindo um efeito positivo através dessa interação. Portanto, a fim de controlar os efeitos produzidos para enquadrar os valores de pH dentro dos limites, recomenda-se adotar níveis menores do componente S.

A análise de regressão para a RAU indica que, para obter valores de resistência mais altos, se faz necessário elevar os níveis dos fatores X e S, e reduzir os níveis dos fatores Y, Z e W. O componente S interage significativamente com W, produzindo um efeito positivo de forma indireta. Portanto, recomenda-se adotar níveis mais altos do fator S para obter resultados elevados de RAU.

A fim de garantir a confiabilidade e rastreabilidade nos processos elaborados na presente etapa da pesquisa, no APÊNDICE IV estão apresentadas as tabelas com os dados gerados através do *software* Minitab 20.4 na elaboração da regressão para as misturas, relacionando cada uma das variáveis respostas com cada componente da tinta. As análises apresentam a

avaliação dos coeficientes de regressão estimados para cada variável resposta considerando os pseudocomponentes, o sumário do modelo, análise de variância considerando os pseudocomponentes, os coeficientes de regressão considerando a proporção entre todos os componentes, os índices ajustados e os diagnósticos das observações atípicas.

#### 4.2.3 Otimização das respostas

A análise de otimização tem como objetivo encontrar a mistura que melhor representa a otimização conjunta das variáveis respostas, adotando o mesmo peso para as três variáveis. Assim, a tabela 11 apresenta os parâmetros estabelecidos para gerar uma solução global.

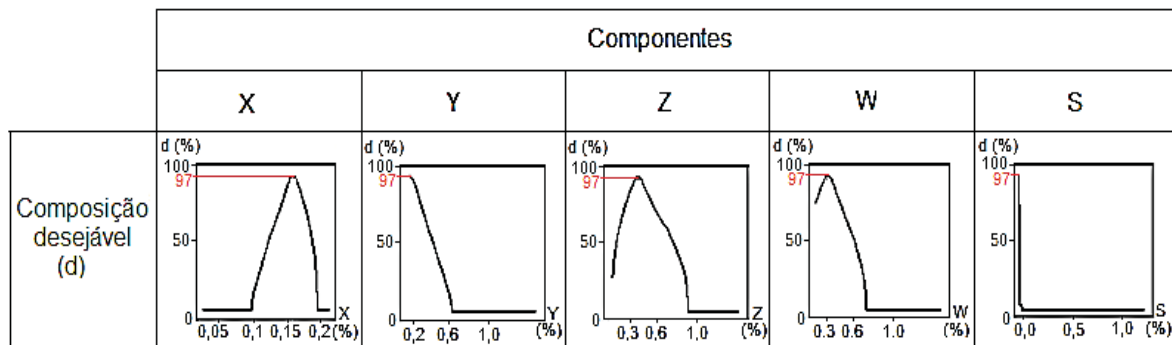
Tabela 11 - Parâmetros estabelecidos para otimização

Variáveis	Meta	Inferior	Alvo	Superior	Peso
Viscosidade	Alvo	70	100	160	1
pH	Alvo	4,5	5,0	5,5	1
RAU	Máximo	100	-	-	1

Fonte: a autora

Inseridos os parâmetros, os dados foram ajustados através do *software* Minitab 20.4 para enquadrar simultaneamente as três variáveis resposta através do método *Desirability* (d), encontrando o ajuste de modelo considerado ótimo (sendo d = 97%) para cada variável (figura 60), a fim de apresentar a composição ideal de cada componente na mistura, resultando em um produto que atenda aos limites de desempenho estipulados para uma tinta látex econômica.

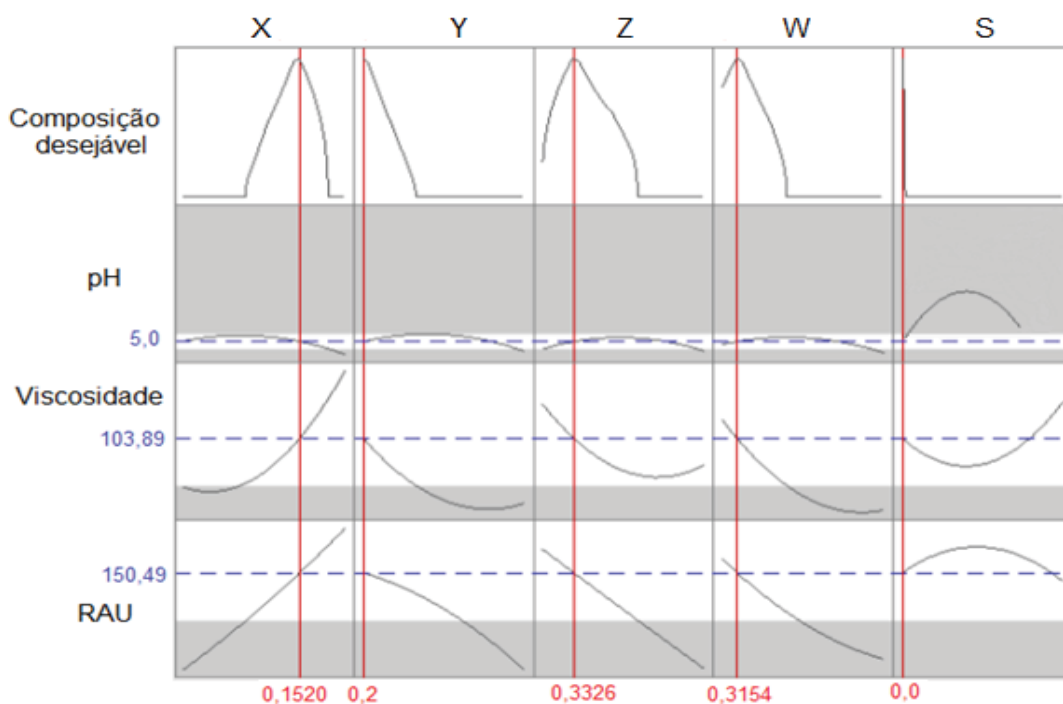
Figura 60 – Ajuste do modelo para cada componente



Fonte: a autora

Ajustados os modelos, foi elaborado o gráfico de otimização, responsável por enquadrar todos os resultados encontrados na composição desejável ( $d = 97\%$ ) e as variáveis resposta, apresentado na figura 61, em que as linhas verticais vermelhas nos gráficos representam as quantidades ideais de cada componente e as linhas azuis horizontais representam os valores ideais de cada variável resposta. As regiões cinzentas em cada gráfico indicam onde a resposta correspondente não é desejável para um bom desempenho no processo de otimização.

Figura 61 – Processo de otimização dos componentes x variáveis resposta



Fonte: a autora

A tabela 12 apresenta as respostas previstas e a solução global gerada através do *software* Minitab 20.4, em que estão identificados pigmento curcumina (x), solvente etanol (y), agente aglutinante resina PVA (z), aditivo conservador de cor *kakishibu* (w) e agente bactericida cal (s).

Tabela 12 - Respostas previstas e solução global

Variável resposta	Resposta prevista	Solução global
Viscosidade	103,89	$\hat{y} = 0,15x + 0,2y + 0,33z + 0,32w$
pH	5,0	
RAU	150,49	

Fonte: a autora

A solução global enquadrando as variáveis resposta nos limites especificados, visando a otimização e o melhor reajuste dos modelos. Assim, o pH assumiu o valor de 5,00, a viscosidade de 103,89 cp e a resistência à abrasão de 150,49 ciclos de escovação. Portanto, uma mistura que se enquadra simultaneamente nos limites especificados para todas as variáveis em questão é composta por, aproximadamente, 15% de pigmento (X), 20% de solvente (Y), 33% de aglutinante (Z), 32% de aditivo (W) e não contém agente bactericida (S).

#### 4.2.4 Rendimento e estimativa do custo/litro

A tabela 13 apresenta os valores de rendimento e a estimativa de custo/litro das misturas de tinta C1 a C36, calculados com base nos valores de mercado encontrado para cada insumo na cidade de Guarulhos-SP apresentados no quadro 13 do APÊNDICE III.

Tabela 13 – Rendimento e custo/litro das misturas C1 a C36

Mistura	Rendimento (L/m <sup>2</sup> )	Custo Total (R\$/L)
C1	2,15	1,15
C2	5,25	1,4
C3	1,75	1,25
C4	1,5	1,65

C5	1,6	1,2
C6	2,8	1,2
C7	2,75	1,4
C8	4,1	1,4
C9	3,4	1,2
C10	1,5	1,2
C11	2,65	1,45
C12	3,65	1,3
C13	3,55	1,3
C14	4	1,5
C15	3,2	1,35
C16	3,05	1,35
C17	2,75	1,2
C18	2,2	1,35
C19	2,4	1,35
C20	3,1	1,25
C21	3,95	1,4
C22	3,65	1,4
C23	3,85	1,25
C24	2,7	1,25
C25	2,9	1,45
C26	2,25	1,3
C27	1,8	1,35
C28	2,05	1,25
C29	3,15	1,35
C30	3,4	1,35
C31	1,95	1,3
C32	1,9	1,25
C33	3,35	1,35
C34	2	1,3
C35	2,1	1,5
C36	1,6	1,25

---

Fonte: a autora

A partir dos dados apresentados na tabela 13 é possível notar que todas as misturas geradas através do *software* Minitab 20.4 apresentaram custo/litro inferior às tintas industrializadas de categoria látex econômica e às tintas artesanais com pigmento curcumina elaboradas no capítulo 3.4 da presente tese. Ainda, 58% das misturas apresentaram maior rendimento quando comparadas às tintas industrializadas de categoria látex econômica e às tintas artesanais com pigmento curcumina elaboradas no capítulo 3.4.

#### 4.2.5 Discussões

Dentre as 36 misturas elaboradas no delineamento experimental, apenas uma alcançou os resultados dentro dos limites estipulados para as três variáveis em conjunto conforme as análises estatísticas. A solução global apresentou quantidades dos componentes similares às quantidades da mistura C2, que apresenta valores mínimos de solvente, aglutinante e aditivo, valor máximo de pigmento, e não consta o agente bactericida em sua composição.

A mistura C2 apresentou viscosidade apropriada para boa aplicabilidade da tinta (no caso das tintas com pigmento vegetal, entre 70 e 160 cp), pH entre 4,5 e 5,5, e resistência à abrasão acima de 100 ciclos de escovação, representando assim a mistura considerada ideal para a elaboração de tinta artesanal com pigmento curcumina. No entanto, mesmo apresentando menor rendimento em comparação com as demais misturas, a mistura C2 apresentou custo/litro inferior às tintas industrializadas de categoria látex econômica e às tintas artesanais com pigmento curcumina elaboradas no capítulo 3.4 da presente tese.

### 5. CONCLUSÕES

A presente pesquisa comprovou, através dos ensaios e análises estatísticas, que os pigmentos vegetais influenciam diretamente na viscosidade das tintas e na resistência às escovações.

Os insumos naturais utilizados como aditivos conservadores de cor proporcionaram maior resistência das misturas de tintas frente ao intemperismo natural, enquanto as misturas elaboradas com resina PVA proporcionaram maior resistência à abrasão em comparação às gomas vegetais, apesar de elevarem o custo/litro das misturas de tinta em que foram utilizadas.

As tintas analisadas na presente pesquisa apresentaram resultados insatisfatórios quando aplicadas em paredes externas de edificações, conforme os dados coletados em simulação de intemperismo acelerado. No entanto, os resultados satisfatórios dos ensaios de resistência ao intemperismo natural

comprovaram a viabilidade no uso das tintas elaboradas com pigmentos vegetais em ambientes internos.

Considerando que as pessoas passam a maior parte do tempo em ambientes fechados artificialmente climatizados, a presente pesquisa apresenta uma alternativa ecológica de pintura de paredes com o uso de insumos naturais que não agridem a saúde humana e o meio ambiente. Além disso, considerando que uma parcela da população não tem acesso às tintas industrializadas, os processos simples de elaboração artesanal utilizando insumos naturais locais apresentados na presente pesquisa visam oferecer uma solução econômica considerada uma tecnologia social, facilmente replicável e acessível.

Convém ressaltar a falta de normas técnicas para avaliação de tintas com insumos naturais. Tanto as tintas elaboradas com pigmentos minerais por Cardoso (2015) e as tintas elaboradas com pigmentos vegetais na presente pesquisa utilizaram como base as normas técnicas e requisitos de desempenho estipulados para avaliar tintas industrializadas, que diferem tanto nas características como na composição dos insumos em relação às tintas naturais. Portanto, a presente tese recomenda futuros estudos para a elaboração de normas técnicas e requisitos de desempenho próprio para tintas elaboradas com insumos naturais.

Através dos resultados satisfatórios nos ensaios de intemperismo natural e resistência à abrasão, a presente tese pretende alavancar futuras pesquisas na área das tintas imobiliárias elaboradas com pigmentos vegetais e insumos naturais, estimulando o interesse sobre as possibilidades de elaborar formulações de tintas com outros cromóforos, como antocianinas, betalaínas, bixinas, clorofila; explorar outras possibilidades de aditivos conservadores de cor; e incentivar a continuidade dos estudos sobre o uso do pigmento curcumina na elaboração de tintas imobiliárias através de ensaios de resistência à proliferação de fungos e bactérias, poder de cobertura da tinta úmida, poder de cobertura da tinta seca, entre outros, utilizando como base as formulações e características analisadas na presente pesquisa.

## REFERÊNCIAS

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

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: ABNT, 2019.

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: ABNT, 2004. 5 p.

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: ABNT, 2021.

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 / condensação de água por ensaio acelerado. 2015.

ABRAFATI - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS FABRICANTES DE TINTAS. **O setor de tintas no Brasil**. 2021. Disponível em: < <https://abrafati.com.br/setor-de-tintas/dados-do-setor/>>. Acesso em: julho, 2022.

ABRAFATI - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS FABRICANTES DE TINTAS. **Programa Setorial de Qualidade**: informe de tintas de qualidade. Tintas imobiliárias, 56<sup>a</sup> edição, junho de 2022. Disponível em:

<<https://tintadequalidade.com.br/wp-content/uploads/2022/07/Informe-Tintas-de-Qualidade-56.pdf> >. Acesso em: 28 de dezembro de 2022.

ACETO, M.; AGOSTINO, A.; FENOGLIO, G.; PICOLLO, M. **Non-invasive differentiation between natural and synthetic ultramarine blue pigments by means of 250–900 nm FORS analysis**. *Analytical Methods*, v. 5, p. 4184–4189. 2013.

ALVARENGA, D. **Curso de tintas a partir de pigmentos minerais**. Fundação IBI – Tecnologias Alternativas. Belo Horizonte, MG. 2006

ALVES, R. W. **Extração de corantes de urucum por processos adsorptivos utilizando argilas comerciais e Colloidal Gas Aphrons**. Tese de Doutorado. Programa de Pós- Graduação em Engenharia Química do Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2005.

ARAÚJO, M. A. **Produtos ecológicos para uma sociedade sustentável**. Disponível em: <[www.idhea.com.br/pdf/sociedade](http://www.idhea.com.br/pdf/sociedade)>. 2013. Acesso em: 24 de agosto de 2019.

ARAÚJO, J. M. A. **Química de alimentos**: Teoria e prática. 4.ed. Viçosa: UFV, 2008.

ASHMORE, M. R.; DIMITROULOPOULOU, C. **Personal exposure of children to air pollution**. *Atmospheric Environment*. 43: 128-141. 2009.

*ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. G154 – 1. Standard Practice for Operating Fluorescent Ultraviolet (UV) Lamp Apparatus for Exposure of Nonmetallic Materials*. 2016.

*ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. G7IG7M – 13: Standard Practice for Atmospheric Environmental Exposure Testing of Nonmetallic Materials, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2013.*

ATKINS, P; JONES, L. **Princípios de química**: questionando a vida moderna e o meio ambiente. 5ª ed. Bookman. Grupo a: conhecimento que transforma. Porto Alegre, 2011.

BARBOZA, D.; POHLMANN, A. R. **Tintas artesanais para uso na xilogravura**. In: Anais da 1ª Semana Integrada de Ensino Pesquisa e Extensão - SIEPE (XXIV CIC, XVII ENPOS, II CEC, I CEG), 2015, Pelotas. Anais do XXIV Congresso de Iniciação Científica. Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, 2015.

BARONE, G.; MAZZOLENI, P.; CECCHINI, A.; RUSSO, A. **In situ Raman and pXRF spectroscopic study on the wall paintings of Etruscan Tarquinia tombs**. Elsevier: Dyes and Pigments. 2018.

BELATI, A. V. P. **Brasilidade e identidade indígena no desenvolvimento de uma coleção de camisetas**. Trabalho de conclusão de curso apresentada ao Curso de Design. Instituto de Artes, Departamento de Design. Universidade de Brasília – UnB. Brasília, 2016.

BERMOND, J. **Apostila intuitiva de pigmentos naturais**. Arte da Terra, ed. 1. 2015. Página pessoal do artista disponível em: <<https://www.facebook.com/bermond.jhon>>. Acesso em: fevereiro de 2021.

BERNSTEIN, J. A.; ALEXIS, N.; BACCHUS, H.; BERNSTEIN, I. L.; FRITZ, P.; HORNER, E.; LI, N.; MASON, S.; NEL, A.; OULLETE, J.; REIJULA, K.; REPONEN, T.; SELTZER, J.; SMITH, A.; TARLO, S. M. **The health effects of nonindustrial indoor air pollution**. Journal of Allergy and Clinical Immunology. 121: 585-591. 2008.

BOBBIO, F. O.; BOBBIO, P. A. **Introdução à química de Alimentos**. 3ª edição, p.205-235, 2003.

BORBA, V. I. A.; CAMARGO, L. S. F. **Cianobactéria *Arthrospira (Spirulina platensis)***: biotecnologia e aplicações. Centro de Pós-graduação, Pesquisa e Extensão. Revista Oswaldo Cruz ed. 19. Set, 2019. Disponível em: <[http://revista.oswaldocruz.br/Content/pdf/Edicao\\_19\\_Vivian\\_Borba.pdf](http://revista.oswaldocruz.br/Content/pdf/Edicao_19_Vivian_Borba.pdf)>.

Acesso em: 21 de janeiro de 2021.

BRANGER, B.; CADUDAL, J. L.; DELOBEL, M.; OUOBA, H.; YAMEOGO, P.; OUEDRAOGO, D.; GUERIN, D.; VALEA, A.; ZOMBRE, C.; ANCEL, P. **Spirulina as a food supplement in case of infant malnutrition in Burkina-Faso**. Archives de pédiatrie, v. 10, p. 424-431, 2003.

BRASIL. Presidência da República. **Lei nº 10.831**, de 23 de dezembro de 2003. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, DF, 24 dez. 2003. Seção 1, p. 8. Disponível em: <<http://extranetagricultura.gov.br/sislegis-consulta/consultarLegislacao.do?operacao=visualizar&id=5114>>. Acesso em: 05 mar. 2020.

BRIBIÁN, I. Z.; CAPILLA, A. V.; USÓN, A. A. **Life cycle assessment of building materials**: comparative analysis of energy and environmental impacts and evaluation of the eco-efficiency improvement potencial. Building and Environment, v.46, p. 1133-1140, 2011.

BRIGAGÃO, C. **Dicionário de Ecologia**. Editora Topbooks. Rio de Janeiro. ed. 2. 1992.

CAMÕES, A.; EIRES, R.; JALALI, S. **Old materials and techniques to improve the durability of earth buildings**. University of Minho, Guimarães, Portugal. 2012.

CAMPBELL, T. V. **Índigo**: resgate do azul vegetal para novas aplicações no design. Dissertação de Mestrado em Design. Programa de Pós-Graduação em Design do Departamento de Artes & Design da PUC-Rio. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2013. 110 p.

CARDARELLI, C. R.; BENASSI, M. T.; MERCADANTE, A. Z. **Characterization of different annatto extracts based on antioxidant and colour properties.** LWT – Food Science Technology, n. 41, p. 1689-1693, 2008.

CARDOSO, F. P. **Desenvolvimento de processos de produção e avaliação do desempenho de tintas para a construção civil manufaturadas com pigmentos de solos.** Dissertação de Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2015.

CARDOSO, F. P. **Os efeitos das características de pigmentos obtidos de solos sobre o desempenho de pinturas para edificações não industriais.** Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2020.

CARDOSO, F. DE P.; ALVARENGA, R. DE C. S. S.; CARVALHO, A. F. DE; FONTES, M. P. F. **Processos de produção e avaliação de requisitos de desempenho de tintas para a construção civil com pigmentos de solos.** Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 16, n. 4, p. 167-183, out./dez. 2016.

CARDOSO, F. P.; CARVALHO, A. F.; FONTES, M. P. F. **Resistência à abrasão de tintas imobiliárias produzidas com pigmentos obtidos por dispersão mecânica de solos.** In: Congresso Luso-Brasileiro de Materiais de Construção Sustentáveis, 1, 2014, Guimarães. Anais do I CLB/MCS. Guimarães, Portugal: Universidade do Minho, 2014.

CARDOSO, F. P.; CARVALHO, A. F.; PIRES, F. J. **Os efeitos da desagregação mecânica dos solos na qualidade das tintas imobiliárias produzidas a base de pigmentos e cargas minerais.** 13° SIACOT Valparaíso – Chile: Material Universal, Realidades Locales. Agosto, 2013.

CARVALHO, A. F.; CARDOSO, F. P. **Cores da terra**: produção de tintas com pigmentos de solos. Cartilha elaborada pelo projeto Cores da Terra. Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa – MG. Viçosa, 2022.

CARVALHO, A. F.; CARDOSO, F. P.; HACKBARDT, G.; DUTRA, T. H. **Cores da terra**: fazendo tinta com terra!. Cartilha elaborada pelo projeto Cores da Terra. Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa – MG. Viçosa, 2009.

CARVALHO, P. R. N.; SILVA, M. G.; FABRI, E. G.; TAVARES, P. E. R.; MARTINS, A. L. M.; SPATTI, L. R. **Concentração de bixina e lipídios em sementes de urucum da coleção do IAC**. *Bragantia*, v. 69, n. 3, p. 519-524, 2010.

CARVALHO, P. R. R.; **A hora e a vez dos taninos**. *Food Ingredients Brasil*. nº 19. 2011.

CASTRO, C. D. **Estudo da influência das propriedades de diferentes cargas minerais no poder de cobertura de um filme de tinta**. Tese (Doutorado em Engenharia). Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalurgia e Materiais, Escola de Engenharia - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2009.

CENNINI, C. **Il libro dell'arte**: o trattato della pittura. Firenze/Italia: Felice Le Monnier Editore, 1859.

CHISTÉ, R. C.; BENASSI, M. T.; MERCADANTE, A. Z. **Effect of solvent type on the extractability of bioactive compounds, antioxidant capacity and colour properties of natural annatto extracts**. *International Journal of Food Science and Technology*, n. 46, p. 1863-1870, 2011.

CHUN-HYUN, K. **Preparation of natural dyes with persimmon**. South Korea, 2012.

CONSTANT, P. B. L.; STRINGHETA, P. C.; SANDI, D. **Corantes alimentícios**. B. CEEPA, v.20, n.2, p.203-220, 2002.

CORNELL, J.A. **Experiments with Mixtures**: Designs, Models and the Analysis of Mixture Data. 2 ed. New York: John Wiley & Sons, 1990. In: CARDOSO, F. P. Desenvolvimento de processos de produção e avaliação do desempenho de tintas para a construção civil manufaturadas com pigmentos de solos. Dissertação de Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2015.

DAGNINO, R. P. **Tecnologia social**: ferramenta para construir outra sociedade. Campinas: Unicamp, 2009.

DAMASCENO, S. M. B., SILVA, F. T. F.; FRANCISCO, A. C. **Sustentabilidade do processo de tingimento do tecido de algodão orgânico**. Anais do XXX Encontro Nacional de Engenharia de Produção. São Paulo, 2010.

DEMCZUK JR, B., RIBANI, R. H. **Atualidades sobre a química e a utilização do urucum (*Bixa orellana* L.)**. REBRAPA – Revista Brasileira de Pesquisa em Alimentos. 24 de Março de 2015. DOI: 10.14685/rebrapa. v. 6 i1. pg.144.

ECOCOSTS. **Banco de dados da Universidade de Delft**, Holanda. Disponível em <http://www.ecocostsvalue.com/EVR/model/theory/subject/5-data.html>, acesso em 21/04/2015.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Polyvinyl Alcohol**: chemical and technical assessment, first draft prepared by S. K. Saxena. In: JOINT FAO/WHO EXPERT COMMITTEE ON FOOD ADDITIVES, 61., 2004. Proceedings, 2004.

FARIA, F. C. **Produção de tintas naturais para construção civil**: testes de preparação, aplicação e avaliação do intemperismo acelerado. Dissertação de

mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil, UFPR. Curitiba, 2015.

FARIA, F. C; SCHMID, A. L. **Tintas naturais para construção civil**: elaboração e aplicação através de oficinas para alunos da Universidade Federal do Paraná. ENCAC-ELACAC. XIII Encontro Nacional e IX Encontro Latino-americano de Conforto no Ambiente Construído. 2015.

FERREIRA, E. L. **Corantes Naturais da Flora Brasileira**: guia prático de tingimento com plantas. Curitiba: Optagraf Editora e Gráfica Ltda, 1997.

FERREIRA, E. L. **Tingimento vegetal**: teoria e prática sobre tingimentos com corantes naturais. São Paulo, CPI-SP, 1ª edição, Abril de 2005.

FISPQ - FICHA DE INFORMAÇÕES E SEGURANÇA DE PRODUTOS QUÍMICOS. **Terebentina**. Dinâmica: química contemporânea Ltda. Relatório 11/02/2020. Disponível em: <<http://dinamicaquimica.com.br/freagentes/TEREBENTINA.pdf>>. Acesso em: julho de 2022.

FLORENCE, A. T.; ATTWOOD, D. **Princípios físico-químicos em farmácia**. São Paulo. EDUSP, 2003.

FRAGOSO, C. L. **Processamento químico e caracterização de um concentrado de glauconita visando a produção seletiva de K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>**. Tese de Doutorado. PUC-Rio. Rio de Janeiro, 2014.

FRANCIS, F. J. **Anthocyanins and betalains**: composition and applications. Cereal Foods World, v. 45, p. 208-213, 2000.

FREITAS, V. **O mundo colorido das antocianinas**. Revista Ciência Elemental. v.7. 2019.

FREITAS-DÖRR, B. C.; MACHADO, C. O.; PINHEIRO, A. C.; FERNANDES, A. B.; DÖRR, F. A.; PINTO, E.; LOPES-FERREIRA, M.; ABDELLAH, M.; SÁ, J.; RUSSO, L. C.; FORTI, F. L.; GONÇALVES, L. C. P.; BASTOS, E. L. **A metal-free blue chromophore derived from plant pigments**. *Science Advances*. Vol. 6, no. 14, 2020.

GARCIA-SEGURA, S.; DOSTA, S.; GUILMANY, J. M.; BRILLAS, E. **Solar photoelectrocatalytic degradation of Acid Orange 7 azo dye using a highly stable TiO<sub>2</sub> photoanode synthesized by atmospheric plasma spray**. *Applied Catalysis B: Environmental*, v. 132, p. 142-150, 2013.

GATTI, T.H., CASTRO, R.; OLIVEIRA, D. **Materiais em Arte**: Manual de Manufatura e Prática. Brasília: FAC, 2007.

GOMBRICH, E. H.; **História da Arte**. São Paulo: LTC. Editora, 2008.

GOMES, C. M.; REIS, J. P. dos; LUIZ, J. F. OLIVEIRA, P. N. de; HOTZA, D. **Defloculação de massas cerâmicas triaxiais obtidas a partir do delineamento de misturas**. *Cerâmica*, n. 51, p. 336-342, 2005.

GONÇALVES, L. C. P. **Betalainas**: das cores das beterrabas à fluorescência das flores. *Revista Virtual de Química*. 2014, v. 7, n.01, p. 292-309.

HEITOR, M. V. V. **A cor dos tapetes**: análise de materiais de tapetes persas dos séculos XVI e XVII. Dissertação de Mestrado em Conservação e Restauro. Faculdade de Ciências e Tecnologia. Universidade Nova de Lisboa. Lisboa, 2007.

HERBERGER, S., HEROLD, M., ULMER, H., BURDACK-FREITAG, A., MAYER, F. **Detection of human effluents by a MOS gas sensor in correlation to VOC quantification by GC/MS**. *Building and Environment*. 45: 2430-2439. 2010.

HRADIL, D.; GRYGAR, T.; HRADILOVÁ, J.; BEZDICKA, P. **Clay and iron oxide pigments in the history of painting**. *Applied Clay Science* n. 22, p. 223-236, 2003.

IBD – Instituto Biodinâmico. **Certificações**: diretrizes para o padrão de qualidade orgânico. 27<sup>a</sup> edição, novembro de 2018. Disponível em: <[https://www.ibd.com.br/wp-content/uploads/2019/09/8\\_1\\_2\\_Diretriz\\_IBD\\_Organico\\_27aEd\\_06112018\\_V.pdf](https://www.ibd.com.br/wp-content/uploads/2019/09/8_1_2_Diretriz_IBD_Organico_27aEd_06112018_V.pdf)>. Acesso em: agosto de 2021.

IBRAHIM, N. A., GOUDA, M., EL-GAMAL, A. R., MAHROUS, F. **A new approach for natural dyeing and functional finishing of cotton cellulose**. *Carbohydrate Polymers*, v. 82, n. 4, p. 1205–1211, nov. 2010.

INMETRO - INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. **Programa de Análise de Produtos**. Relatório sobre análise em tintas imobiliárias látex econômicas. Rio de Janeiro, 2008. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/produtos/tintasImobiliarias.pdf>>. Acesso em: 21 dez. 2020.

JAVEL, J. B.; BEAUVOIT, E. **Approche non invasive des peintures murales du prieuré Saint-Jean-l'Évangéliste de Trizay**. *ArcheoSciences*, v. 44-2, p. 189-203. Charente-Maritime, France. 2020.

JÚNIOR, W. J. P. S. **Determinação de propriedades superficiais da argila montmorilonita em suspensão aquosa de PVA com diferentes graus de hidrolise**. Florianópolis, SC, 2006. Relatório.

KIOKIAS, S.; GORDON, M. H. **Antioxidant properties of annatto carotenoids**. *Food Chemistry*, n. 83, p. 523-529, 2003.

KHOUNI, I.; MARROT, B.; MOULIN, P; BEN, AMAR, R. B. **Decolourization of the reconstituted textile effluent by different process treatments: enzymatic**

catalysis, coagulation/flocculation and nanofiltration processes. *Desalination*, v. 268, n. 1-3, p. 27–37, 2011.

KUPFERSCHMIDT, K. **Blue**: in search of nature's rarest color. *The Experiment*, 1ª ed., 99 pg. 2021.

KYUNG-SOO, K.; SEON-HO, K.; LEE, H. J. **Method for producing fermentation broth of persimmon tannin**. South Korea, 2009.

LA PASTINA, C. C. **Tintas Naturais**. Monografia apresentada para conclusão do Curso de Educação Artística com habilitação em Artes Plásticas da Faculdade de Artes do Paraná. Curitiba, 2001.

LEE, A. R.; YI, E. **Dyeing of cotton fabrics with persimmon extract powder-focused on dyeability and mechanical properties depending on color characteristics**. *Korean Journal of Human Ecology* 22, no. 5. 2013. 461-476.

LIMA, L.S. **Solvente**. *Revista de Ciência Elementar*. Faculdade de Ciências da Universidade do Porto. v 2. Porto, Portugal, 2014.

LOPES, M. M. S.; ALVARENGA, R. T. S. S.; PEDROTI, L. G.; CARDOSO, F. P.; MORAIS, C. S. S.; MENDES, B. C.; MEDEIROS, V. S. C. **Avaliação do desempenho de tintas para construção civil a base de resíduo de granito**. *Anais do 72º Congresso Anual da ABM*. vol. 72, nº. 1, 2017.

LOPES, T. J.; XAVIER, M. F.; QUADRI, M. G. N.; QUADRI, M. B. **Antocianinas: uma breve revisão das características estruturais e da estabilidade**. *Revista Brasileira: Agro ciência*, Pelotas, v. 13, n. 3, p. 291-297, 2007.

LUNA, S. V. S., OLIVEIRA JR, A. I. de, SILVA, C. R. S. **Tingimentos naturais na fibra de bananeira: uma proposta sustentável para o artesanato do cariri cearense**. *Ciência e Sustentabilidade*, Jazeiro do Norte, v. 3, n. 2, p. 46-63, jul/jdez 2017.

MAHALANOBISH, D; DEY, T. **Use of natural colours in Patachitras by the Potua**: a pilot study in the district of Midnapur, West Bengal. National Workshop and Seminar on “Vegetable dye and its application on textiles”, SilpaSadana, VisvaBharati, 2nd – 4th December, 2011.

MAPA - Ministério da Agricultura e do Abastecimento. **Instrução Normativa nº 7**. 17 de maio de 1999. Disponível em: <<http://www.planetaorganico.com.br/instnorm.htm>>. Acesso em: set 2020.

MARMION, D. M. **Handbook of US Colorants, food, drugs, cosmetics and medical devices**. 3. ed., John Wiley & Sons, 1991.

MARTINEZ, I. S. **Thermodynamic characterization of metal dissolution and inhibitor adsorption processes in the low carbon steel/mimosa tannin/sulfuric acid system**. Applied Surface Science. Vol. 199, pg. 83-89. 2002.

MATTEINI, M.; MOLES, A. **La química en la restauración**: los materiales del arte pictórico. 2ª ed. San Sebastián: Nerea, 2008.

McLEAN, R. A.; ANDERSON, V. L. **Extreme vertices design of mixture experiments**. Technometrics, v.8, p. 447-454, 1966. In: CARDOSO, F. P. Desenvolvimento de processos de produção e avaliação do desempenho de tintas para a construção civil manufaturadas com pigmentos de solos. Dissertação de Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2015.

MEIRELLES, S. L. **Química verde**: a indústria química e seus impactos na construção. Dissertação de mestrado em Tecnologias de processos químicos e bioquímicos. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2007.

MENDA, M. **Corantes e pigmentos**. Conselho Regional de Química - IV região. Junho de 2011. Disponível em: <[https://www.crq4.org.br/quimicaviva\\_corantespigmentos](https://www.crq4.org.br/quimicaviva_corantespigmentos)> Acesso em: Outubro de 2019.

MESQUITA, S. S.; TEIXEIRA, C. M. L. L.; SERVULO, E. F. C. **Carotenoides**: propriedades, aplicações e mercado. Revista virtual de Química. 2017, v.9 n.02, p.672-688. Abr. 2017.

MILANEZ, W. K.; **Incorporação de resíduo de galvanoplastia na produção de pigmentos inorgânicos**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química. Universidade Federal de Santa Catarina, 2003.

MINKE, G. **Manual de construcción em tierra**: la tierra como material de construcción y sus aplicaciones en la arquitectura actual. Uruguay, 1994.

NEIRA, D. S. M.; CARVALHO, M. Q. **O uso do café como recurso natural para o tingimento têxtil**. Universidade Federal de Goiás. 13° Colóquio de Moda. Universidade Paulista Júlio de Mesquita Filho - UNESP. Bauru, 2017.

OLIVEIRA, C. N. **O paradigma da sustentabilidade na seleção de materiais e componentes para edificação**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 2009.

OLIVEIRA, J. S. **Caracterização, extração e purificação por cromatografia de compostos de urucum (*Bixa orellana* L.)**. Tese de Doutorado em Engenharia Química. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005. 192 pág.

OMS – ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE SAÚDE (*World Health Organization - WHO*). **Handbook on indoor radon**: a public health perspective. 2009. Disponível em:

<[http://whqlibdoc.who.int/publications/2009/9789241547673\\_eng.pdf](http://whqlibdoc.who.int/publications/2009/9789241547673_eng.pdf)>. Acesso em: março de 2020.

PAIVA, E. J. **Otimização de manufatura com múltiplas respostas baseadas em índices de capacidade**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2008.

PASTOUREAU, M. **Azul: história de un color**. Espasa Libros, 1ª ed. Madri, 2010.

PATEL, T. **Paintmakers are running out of the color blue**. 2021. Disponível em: <<https://www.bloomberg.com/news/articles/2021-10-20/the-color-blue-has-joined-the-growing-list-of-material-shortages#xj4y7vzkg>>. Acesso em outubro de 2021.

PERCIVALDI, E. **La vita segreta del medioevo**: tutto quello che volevate saperesul millennio più buio della storia. Tradução de João B. Kreuch e Leonardo A.R.T. dos Santos. Editora Vozes, 1ª ed., 585 páginas. Petrópolis, RJ, 2018.

PEREIRA, N. L. C. **Proposta de ação profissional-módulo de ensino: a história da ciência e a experimentação no ensino de química orgânica**. Dissertação de Mestrado em Ensino de Ciências. Universidade de Brasília-DF. 2008.

PERES, R. S. **Propriedades anticorrosivas de camadas de conversão à base de taninos como pré-tratamento para o aço carbono 1020**. Dissertação de mestrado em Ciência dos Materiais da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. Porto Alegre, 2010.

PICCOLI, H. H. **Determinação do comportamento tintorial de corantes naturais em substrato de algodão**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Engenharia Química. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2008.

PINHEIRO, N. A.; A **Química dos pigmentos**. 2017. Disponível em: <<http://gpquae.iqm.unicamp.br/textos/T10.pdf> > Acesso em: 14 de Março de 2020.

PINTO, A. C. **Corantes naturais e cultura indígena**. Sociedade Brasileira de Química. 2008. Disponível em: <<http://www.memoriasdaquimica.ccs.ufrj.br/historia.php>>. Acesso em: 20 Out. 2019.

PISQ - PROGRAMA INTERNACIONAL DE SEGURANÇA QUÍMICA. **Substâncias químicas perigosas à saúde e ao ambiente**. Organização Mundial da Saúde, Programa Internacional de Segurança Química; tradução: Janaína Conrado Lyra da Fonseca, Mary Rosa Rodrigues de Marchi, Jassara Conrado Lyra da Fonseca. São Paulo: Cultura Acadêmica, 2008.

PROENÇA, G. **História da Arte**. Editora Ática – São Paulo. 2009.

PRUSTY, A. K., NAYAK, A., DAS, T., DAS, N. B. **Colourimetric analysis and antimicrobial study of natural dyes and dyed silk**. Journal of Cleaner Production, v. 18, p. 1750–1756, nov. 2010.

RANGEL-YAGUI, C. O.; DANESI, E. D. G.; CARVALHO, J. C. M.; SATO, S. **Chlorothyll production from *Spirulina platensis***: cultivation with urea addition by fed-batch process. Bioresource Technology. V.92, p. 133- 141, 2004.

RAJ, S.; CHOUDHURI, P. K. **“Bagru”**: a traditional printing technique of Rajasthan. National Workshop and Seminar on “Vegetable dye and its application on textiles”, SilpaSadana, VisvaBharati, 2011.

RIBEIRO, E. P.; SERAVALLI, E. A. G. **Química de Alimentos**. 2ª ed. São Paulo: Editora Edgard Blucher, LTDA, 2007.

RÍO, M. S.; DOMÉNECH, A.; DOMÉNECH-CARBÓ, M. T.; PASCUAL, M. L. V. A.; SUÁREZ, M.; GARCÍA-ROMERO, E. **The maya blue pigment**. *Developments in Clay Science*, v.3, p. 453-481, 2011.

ROCHA, A. N.; KAIRALLA, R. B.; FERRACIOLI, A. C.; FILHO, C. A. Aditivos. In: FAZENDA, J. M. R. (coord.). **Tintas e vernizes: ciência e tecnologia**. ABRAFATI – Associação Brasileira dos Fabricantes de Tintas. Editora Edgard Blucher. 3 ed. São Paulo. 2009.

RUBENSAM, G. **Pigmentos policíclicos**. *Periódico Tchê-Química*. Vol. 1, n. 1 (jan. 2004). Porto Alegre, 2004.

SAMANTA, A. K.; KONAR, A. **Dyeing of textiles with natural dyes**. *Natural Dyes*. Rijeka: Intech, 2011. p. 29–57.

SANTOS, J. C. **Avaliação da qualidade do ar interior em jardim-de-infância**. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Segurança e Higiene Ocupacionais. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Porto. 2010.

SANTOS, M. C. F. **Aplicação de pigmento preto de carvão vegetal em polietileno de baixa densidade e influência da radiação ionizante**. Dissertação de Mestrado em Ciências Nucleares. Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2013.

SARGI, S. C.; SILVA, B. C.; SANTOS, H. M. C.; MONTANHER, P. F.; BOEING, J. F.; SANTOS JÚNIOR, O. O.; SOUZA, N. E.; VISENTAINER, J. V. **Antioxidant capacity and chemical composition in seeds rich in omega-3: chia, flax, and perilla**. *Journal of Food Science and Technology*, v.33, n°3. Campinas, 2013.

SAXENA, S.; RAJA. M. S. A. **Natural dyes: sources, chemistry, application and sustainability issues**. 2014. Disponível em: <[www.sustainabilityforschools.org/assets/chemistryguide-for-teachers.pdf](http://www.sustainabilityforschools.org/assets/chemistryguide-for-teachers.pdf)>. Acesso em: 20 de maio de 2020.

SCHERER, F. A. S. **A representação social do Guará (*Endocimus ruber*) na percepção e nas falas da população de Guaratuba – PR.** Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Saúde e Meio Ambiente da Universidade da Região de Joinville (UNIVILLE). Joinville, 2013.

SEDYKH, E. M.; LYABUSHEVA, O.; TAMBIEV, A; BANNYKH, L. **Determination of the elemental composition of cyanobacteria cells and cell fractions by atomic emission and atomic absorption spectrometry.** Journal of Analytical Chemistry, v. 60, n. 1, p. 29-33, Jan. 2005

SILVA, J.; UEMOTO, K. L. **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.

SILVA, M. G.; SILVA, A. B.; GIACOMINI, F.; ARZANI, V. C., FERREIRA, F. L., RUGGERI, T. **Tingimento de têxteis com o corante natural extraído dos excrementos do bicho-da-seda.** 4º Congresso Científico de Têxtil e Moda: Inovar para Crescer. Blumenau – SC. 2016.

SIMÓN, G. V., HERNÁNDEZ, R. M. S., GONZÁLEZ, M. T. R. **Análisis preliminar de antocianinas en fruto de icaco.** Revista Fitotecnia Mexicana. v. 25, p. 261-264, 2002.

SOON-JA, P. **Comparative study on the manufacturing process of persimmon juice, persimmon dyeing method, and transfiguration of persimmon-dyed items in Korea and Japan.** The Korean Journal of Community Living Science 22, no. 1. 2011: 77-94.

STERLING, T. D.; COLLETT, C.; RUMEL, D. **A epidemiologia dos edifícios doentes.** Revista Saúde pública. São Paulo, ed. 25, 1991. p. 56-63.

STRINGHETA P. C., SILVA P. I. **Pigmentos de urucum: extração, reações químicas, usos e aplicações**, Viçosa: Suprema, 2008.

SUBRAMANIAN, M. A.; LI, J. **YInMn azul - 200 anos em construção: novos pigmentos inorgânicos intensos baseados em cromóforos em coordenação bipiramidal trigonal**. *Materials Today Advances*, v. 16, dez. 2022.

TAVARES, S. F. **Metodologia de análise do ciclo de vida energético de edificações residenciais brasileiras**. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 2006.

TSUWATÉ, V. T.; LEÃO, M. F. **Descrição do corante e das diversas utilizações do urucum pelo povo xavante**. UNIVATES. *Revista Destaques Acadêmicos*, Lajeado, v. 9, n. 4, 2017.

UEMOTO, K. L. **Pintura a base de cal**. Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT. Associação Brasileira dos Produtores de Cal – ABPC. São Paulo. 1993.

UEMOTO, K.; IKEMATSU, P.; AGOPYAN, V. **Impacto ambiental das tintas imobiliárias**. *Coletânea Habitare: construção e meio ambiente*. v. 7. p. 58-95. 2006.

UPADHYAY, R; CHOUDHARY, M. S. **Tree barks as a source of natural dyes from the forests of Madhya Pradesh**. *Global Journal of Bio-Science and Biotechnology*. Department of Botany, Government P. G. College, Pipariya district Hoshangabad. 2014.

VALDUGA, E. **Bioprodução de compostos voláteis e carotenoides por sporidiobolus salmonicolor CBS 2636**. 2005. 200p. Tese de Doutorado em Engenharia Química. Departamento de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos (EQA), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

VANUCHI, V. C. F. **Corantes naturais da cultura indígena no ensino de química**. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências: Química da Vida e Saúde. Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). Santa Maria – RS. 2019.

VERONA, C. C. **Estudo do impacto da variabilidade de resinas alquídicas nas propriedades de tintas**. Dissertação de Mestrado em Engenharia com ênfase em qualidade e desenvolvimento de produto e processo da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2004.

VIDAL, L. **Grafismo indígena estudo de antropologia estética**. 2<sup>a</sup> ed. Studio Nobel FAPESP. Editora da Universidade de São Paulo- SP, 2000.

VIEIRA, A. F. C.; DAL BELLO, L. H. A. **Experimentos com mistura para otimização de processos**: uma aplicação com respostas não normais. Pesquisa Operacional, v. 26, n. 3, set/dez. 2006.

VOLP, A. C. P.; RENHE, I. R. T.; STRINGUETA, P. C. **Pigmentos naturais bioativos**. Alimentos e Nutrição, Araraquara, v.20, n.1, p.157-166, jan./mar., 2009.

WANG, J.; WAN, W. **Application of desirability function based on neural network for optimizing biohydrogen production process**. International Journal of Hydrogen Energy. v. 34. p. 1253 – 1259. 2009.

WANG, S.; ANG, H. M.; TADE, M. O. **Volatic organic compounds in indoor environment and photocatalytic oxidation**: state of the art. Environment Internacional. 33: 694-705. 2007.

WECOBIS - Sistema de informações ecológicas sobre materiais de construção. **Dispersionsklebstoff** (cola de dispersão). Disponível em: <<http://www.wecobis.de/bauproduktgruppen/klebstoffe/dispersionsklebstoffe.html>> acesso em abril de 2015.

WISNIAK, J. **Dyes**: from antiquity to synthesis. Indian journal of history of science. Ben-Gurion University of the Negev. January, 2004.

WONG, L.; BOMIN, S.; XIAOWEI,W.; RAVA, A; AGNEW, N. **Salt-induced flaking of wall paintings at the Mogao Grottoes, China**. Proceedings of 4<sup>o</sup> International Conference on Salt Weathering of Buildings and Stone Sculptures. University of Applied Sciences Potsdam, Germany, pg. 20-22. 2017.

YAMAK, H. B. **Emulsion Polymerization**: effects of polymerization variables on the properties of vinyl acetate based emulsion polymers. 2013. Disponível em: <<http://www.intechopen.com/books/polymer-science>>. Acesso em: 15 jan. 2021.

YOSHIOKA, S.; TOYAMA, H.; KISHIMOTO, N.; FUJITA, T. **Inhibition of cariogenic factors of mutans streptococci by persimmon tannin**. Department of Agricultural Chemistry, Faculty of Agriculture, Kinki University. Japan, 2005.

ZHAO, B.; WU, J. **Particle deposition in indoor environments**: analysis of influencing factors. Journal of Hazardous Materials.147: 439–448. 2007.

ZILLI, M. C. **Manual construindo arte**: um apoio para o desenvolvimento de sua atividade. Projeto comunitário realizado pela PUC-PR. v. 1. ed. 1. 2008.

## APÊNDICE I

### EXPERIÊNCIA: PINTURA ARTÍSTICA EM PAREDE INTERNA NA CIDADE DE GUARULHOS-SP

A partir das informações coletadas sobre as experiências pessoais de artistas, artesãos, pintores e pesquisadores, foi elaborada uma experiência pessoal a fim de testar as condições práticas de preparo e aplicação das tintas com pigmentos vegetais em parede interna de uma edificação localizada no município de Guarulhos-SP.

Em todas as misturas foram verificadas as características qualitativas relacionadas à aplicabilidade no substrato, consistência, homogeneidade na dispersão dos pigmentos; posteriormente, foi realizada uma inspeção visual para avaliar a variação de cor da película de tinta enquanto úmida e após a secagem na parede e avaliadas suas características físicas como pH, viscosidade, densidade, RAU, rendimento e elaborada uma estimativa de custo/litro conforme os procedimentos descritos no capítulo 3. Ainda, foi avaliado o comportamento dessas tintas frente ao intemperismo natural conforme os procedimentos descritos no capítulo 3.10.

#### 1. Elaboração das tintas

A elaboração das tintas consistiu em etapas de extração dos pigmentos, preparo dos aglutinantes e aditivos, e quantificações dos insumos conforme os processos descritos no capítulo 3 da presente tese, totalizando em 20 misturas de tintas elaboradas com insumos naturais (figura 62), identificadas nesta etapa da pesquisa como TN1 a TN20. A tabela 14 apresenta os dados quantitativos (volume) de cada insumo utilizado nas 20 misturas, em que estão identificados: pigmentos curcumina (C), sementes de urucum (SU), spirulina (S), cacau em pó (CA), urucum em pó (UP), carvão vegetal (CV); os solventes etanol (E) e água (A); os agentes aglutinantes goma de linhaça (G) e cola branca PVA (CB); os aditivos conservadores de cor alúmen de potássio (AP) e *kakishibu* (K) e os agentes bactericidas cal de pintura (CP) e vinagre branco (V).

Figura 62 – Tintas elaboradas para a pintura artística em Guarulhos-SP



Fonte: a autora

Tabela 14 – Quantidade dos insumos nas tintas TN1 a TN20

	Pigmento		Solvente		Aglutinante		Aditivo		Bactericida	
	Insumo	Quant. (%)	Insumo	Quant. (%)	Insumo	Quant. (%)	Insumo	Quant. (%)	Insumo	Quant. (%)
TN1	C	0,02	E	0,38	G	0,56	K	0,04	--	0
TN2	C	0,31	E	0,01	G	0,61	K	0,02	CP	0,05
TN3	C	0,02	A	0,38	G	0,56	AP	0,04	--	0
TN4	C	0,06	A	0,06	G	0,58	AP	0,1	CP	0,2
TN5	SU	0,22	E	0,11	G	0,45	AP	0,11	CP	0,11
TN6	SU	0,16	E	0,18	G	0,29	K	0,08	CP	0,29
TN7	SU	0,15	E	0,12	G	0,61	--	0	CP	0,12
TN8	S	0,04	E	0,32	G	0,64	--	0	--	0
TN9	S	0,04	E	0,48	CB	0,48	--	0	--	0
TN10	S	0,16	E	0,35	G	0,4	K	0,09	--	0
TN11	S	0,04	A	0,46	G	0,46	--	0	V	0,04
TN12	CA	0,04	A	0,48	CB	0,48	--	0	--	0
TN13	CA	0,17	A	0,5	G	0,25	AP	0,08	--	0
TN14	UP	0,36	E	0,21	G	0,36	K	0,07	--	0
TN15	UP	0,2	A	0,2	CB	0,5	K	0,1	--	0
TN16	C	0,22	E	0,11	G	0,56	K	0,11	--	0
TN17	C	0,16	A	0,41	CB	0,35	AP	0,08	--	0
TN18	SU	0,14	E	0,27	CB	0,54	AP	0,05	--	0
TN19	CA	0,05	E	0,43	G	0,43	K	0,09	--	0
TN20	CV	0,1	A	0,45	G	0,45	--	0	--	0

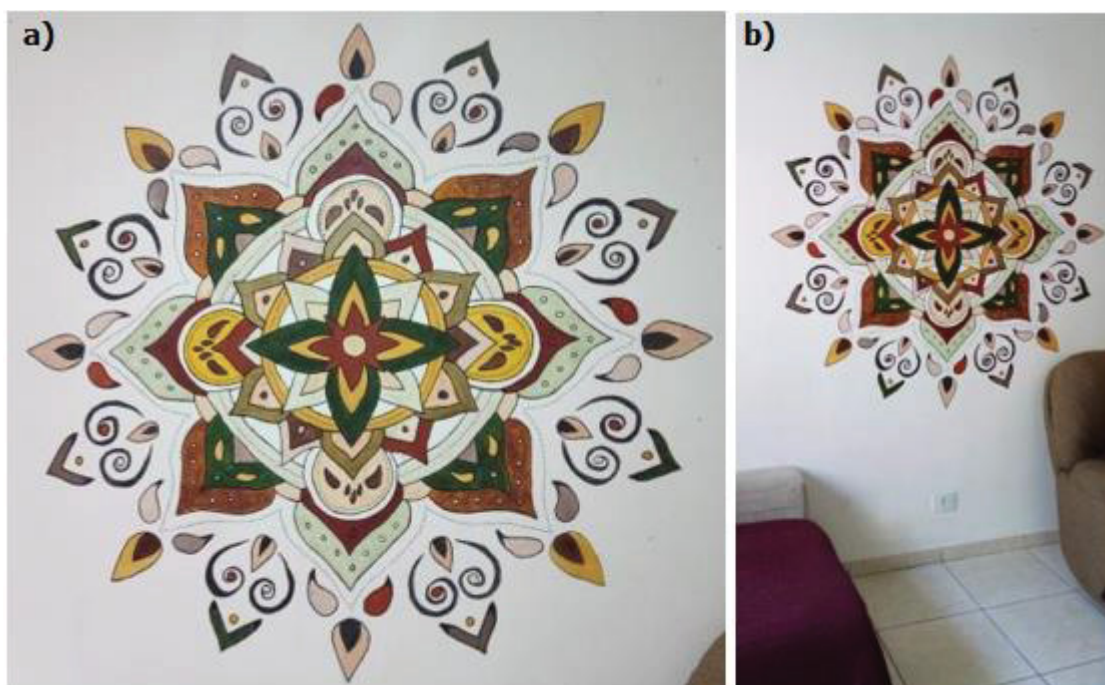
Fonte: a autora

As misturas de tintas foram elaboradas em pequenas quantidades (300 ml a 500 ml) para facilitar as alterações nos insumos quando necessário. Em cada etapa de adição de sólidos ou líquidos, foi verificada a variação da consistência das misturas, utilizando como base a consistência das tintas com pigmentos de solos e argilas elaboradas por Faria (2015) e Cardoso (2015).

## 2. Aplicação das misturas de tinta na parede

A fim de verificar as tonalidades de cor e avaliar a aplicabilidade das misturas de tintas, foi elaborada a pintura artística de uma mandala de 1,60 m por 1,60 m (figura 63-a) em uma parede interna de alvenaria previamente pintada com tinta branca industrializada (figura 63-b), cuja inspiração baseou-se nas obras que representam o muralismo contemporâneo.

Figura 63 – Mandala pintada com as tintas vegetais (a) em parede interna de uma edificação (b) em Guarulhos-SP



Fonte: a autora

Na mandala foram aplicadas as tintas TN1 a TN20, identificadas na figura 64. A escolha da mandala como ilustração para a presente experiência foi motivada pela intenção de evidenciar a gama de tonalidades obtidas através de pigmentos vegetais.

As tintas TN1 a TN20 foram aplicadas na parede em 3 demãos, com intervalo de 4 horas entre cada aplicação conforme sugerem os profissionais da área para garantir a secagem total do solvente em cada aplicação.

Figura 64 – Identificação das tintas naturais na mandala

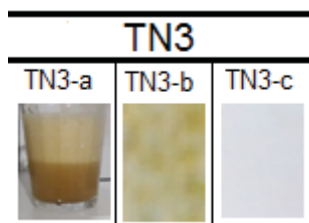


Fonte: a autora

### 3. Inspeção visual

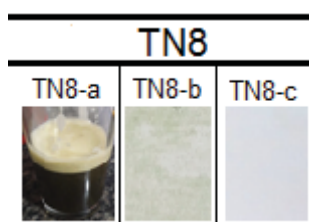
As misturas elaboradas para as tintas TN3 e TN8 resultaram em um líquido espumoso, sem consistência de tinta. Durante a aplicação, não houve aderência do pigmento no substrato, e a coloração característica perdeu-se gradativamente até a completa ausência, voltando a parede à coloração branca inicial, como mostram os quadros 6 e 7, respectivamente, em que as imagens identificadas como TN3-a e TN8-a apresentam a mistura de tinta com a camada de espuma na superfície; as imagens TN3-b e TN8-b apresentam a tinta aplicada enquanto úmida; e as imagens TN3-c e TN8-c apresentam a mesma área pintada após a secagem. Conclui-se que as misturas TN3 e TN8 apresentaram-se como não satisfatórias nesta etapa da pesquisa.

Quadro 6 – TN3



Fonte: a autora

Quadro 7 – TN8



Fonte: a autora

O quadro 8 apresenta as cores das tintas elaboradas TN1 a TN20 (exceto TN3 e TN8) após a aplicação das três demãos e a secagem completa na parede. As misturas dos insumos apresentaram resultados satisfatórios.

Quadro 8 – Cores das tintas TN1 a TN20 após a secagem na parede



Fonte: a autora

Durante a aplicação das misturas, foi possível notar a variação de cor de algumas misturas no processo secagem. O quadro 9 apresenta a variação de cor das misturas TN1, TN12, TN13 e TN16, em que se identificam as aplicações

enquanto úmidas e após a secagem. Para as demais misturas não houve variação significativa das cores durante esse processo.



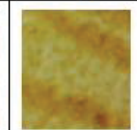


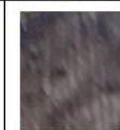
Quadro 9 – Cores das tintas úmidas e após a secagem

TN1		TN12		TN13		TN16	
Úmido	Seco	Úmido	Seco	Úmido	Seco	Úmido	Seco
							

Fonte: a autora

Na etapa de elaboração artesanal das tintas é possível observar a dissolução do pigmento no solvente, sendo o aglutinante responsável por unir as partículas do pigmento de forma homogênea. Após atingir a consistência considerada satisfatória, as misturas TN2, TN4, TN5, TN7 e TN12 não apresentaram homogeneidade durante a primeira demão na parede, como apresentado no quadro 10. A homogeneidade considerada satisfatória destas misturas foi obtida ao final, após a terceira demão. Para fins comparativos, no quadro 10 também está a mistura TN6, que apresentou homogeneidade na primeira demão.

Quadro 10 – Aplicação da primeira demão de tinta das misturas TN2, TN4, TN5, TN6, TN7 e TN12

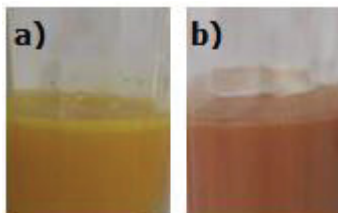
TN2	TN4	TN5	TN6	TN7	TN12
					

Fonte: a autora

A cal de pintura é comumente utilizada em tintas naturais minerais como pigmento de coloração branca. Na presente etapa da pesquisa foi utilizada a cal de pintura como aditivo bactericida, adicionada gradativamente em pequenas quantidades durante a dissolução nos solventes nas misturas TN2, TN4 e TN7. A mistura TN1 foi elaborada sem adição da cal (figura 65-a), e a mistura TN2 foi adicionada a cal de pintura, resultando na mudança na coloração amarela típica

do açafão-da-terra para tonalidade cor-de-rosa (figura 65-b), comprovando a alteração do pigmento de curcumina em pH alcalino conforme mencionado por Araújo (2008).

Figura 65 – Diferença de cor entre TN1 e TN2



Fonte: a autora

Na mistura TN7, elaborada com pigmentos de urucum, houve a floculação dos pigmentos após 2 horas de decantação da tinta (figura 66) devido à adição da cal de pintura. A consistência inicial foi alcançada após refazer o processo de agitação com o misturador elétrico.

Figura 66 – Floculação do pigmento bixina em TN7



Fonte: a autora

Os quadros 11 e 12 apresentam os dados qualitativos coletados durante a inspeção visual das tintas durante os processos de elaboração das tintas, secagem no substrato e aparência final.

Quadro 11 – Características visuais das misturas TN1 a TN11

<b>Amostra</b>	<b>Consistência</b>	<b>Aplicabilidade 1ª Demão</b>	<b>Aparência da película úmida</b>	<b>Aparência final após secagem</b>
<b>TN1</b>	líquida	boa cobertura e dispersão de pigmentos	homogênea, de cor amarela	homogênea, porém a cor mudou para cor-de-rosa
<b>TN2</b>	pastosa	dispersão ruim dos pigmentos	falta de homogeneidade na pintura, coloração cor-de-rosa claro	clareamento da coloração cor-de-rosa
<b>TN3</b>	líquida e espumosa	boa cobertura e rendimento	cor verde claro homogênea ausência de homogeneidade na pintura, cor rosa escuro	desaparecimento total da cor
<b>TN4</b>	pastosa	dispersão ruim dos pigmentos	homogênea, de cor amarelo claro	esclarecimento da coloração cor-de-rosa
<b>TN5</b>	líquida	boa cobertura e dispersão de pigmentos	homogênea, de cor amarelo claro	clareamento da cor amarela
<b>TN6</b>	líquida	boa cobertura e dispersão de pigmentos	homogênea, de cor amarelo claro	não houve mudança na coloração
<b>TN7</b>	líquida	dispersão ruim dos pigmentos	ausência de homogeneidade na pintura, cor amarelo escuro	não houve mudança na coloração
<b>TN8</b>	líquida e espumosa	boa cobertura e rendimento	cor verde claro homogênea	desaparecimento total da cor
<b>TN9</b>	pastosa	dispersão ruim dos pigmentos	ausência de homogeneidade na pintura, cor verde claro	esclarecimento da cor, resultando em tonalidade marrom
<b>TN10</b>	pastosa	boa cobertura e dispersão de pigmentos	homogênea, de cor verde escuro	clareamento da cor verde
<b>TN11</b>	líquida, com cheiro forte	boa cobertura e dispersão de pigmentos	homogênea, de cor verde claro	não houve mudança na coloração

Fonte: a autora

Quadro 12 – Características visuais das misturas TN12 a TN20

<b>Amostra</b>	<b>Consistência</b>	<b>Aplicabilidade 1ª Demão</b>	<b>Aparência da película úmida</b>	<b>Aparência final após secagem</b>
<b>TN12</b>	pastosa	dispersão ruim dos pigmentos	ausência de homogeneidade na pintura, cor marrom claro	escurecimento da cor
<b>TN13</b>	pastosa	boa cobertura e dispersão de pigmentos	homogênea, de cor marrom claro	escurecimento da cor, resultando em tonalidade acinzentada
<b>TN14</b>	pastosa	boa cobertura e dispersão de pigmentos	homogênea, de cor vermelho escuro	não houve mudança na coloração
<b>TN15</b>	pastosa	boa cobertura e dispersão de pigmentos	homogênea, de cor vermelho escuro	não houve mudança na coloração
<b>TN16</b>	líquida	dispersão ruim dos pigmentos	ausência de homogeneidade na pintura, cor marrom claro	escurecimento da cor, resultando em coloração vermelha
<b>TN17</b>	pastosa	dispersão ruim dos pigmentos	ausência de homogeneidade na pintura, cor amarelo escuro	escurecimento da cor
<b>TN18</b>	pastosa	boa cobertura e dispersão de pigmentos	homogênea, de cor amarelo claro	não houve mudança na coloração
<b>TN19</b>	líquida	boa cobertura e dispersão de pigmentos	homogênea, de cor marrom claro	escurecimento da cor, resultando em coloração acinzentada
<b>TN20</b>	pastosa	boa cobertura e dispersão de pigmentos	homogênea, de coloração preta	não houve mudança na coloração

Fonte: a autora

#### 4. Avaliação das características físicas

A tabela 15 apresenta as características de pH, temperatura da mistura no momento em que foi realizado o ensaio de viscosidade, a densidade, a viscosidade cinemática ( $\nu$ ), viscosidade dinâmica ( $\mu$ ), a quantidade de ciclos de escovação (RAU), o rendimento e o custo/litro das misturas de tinta TN1 a TN20 (com exceção das tintas TN3 e TN8).

Tabela 15 – Resultados das características físicas das tintas TN1 a TN20

Mistura	pH	Temperatura (°C)	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	Viscosidade (mm <sup>2</sup> /s)	Viscosidade $\mu$ (cp)	RAU (ciclos)	Rendimento (L/m <sup>2</sup> )	Custo Total (R\$/L)
TN1	5,3	24,1	0,89	62,48	55,61	40	2	3,05
TN2	11,7	25,8	0,91	298,41	271,55	47	2,4	1,89
TN4	9,1	26	1,02	167,51	170,86	25	3,05	3,53
TN5	8,1	25,9	0,77	72,34	55,7	17	2,55	10,14
TN6	12	24,9	0,98	89,16	87,38	24	3,4	4,79
TN7	12	25,9	0,86	59,25	50,95	23	6,2	4,22
TN9	6,3	25,1	0,87	82,85	72,08	60	1,6	22,36
TN10	8,8	25,8	0,76	727,03	552,54	22	2,35	12,56
TN11	6,7	25,8	0,72	572,22	412	18	1,6	3,54
TN12	4,7	24	0,9	91,82	82,64	142	1,9	15,99
TN13	3,3	25,7	0,85	238,73	202,92	56	3,2	5,39
TN14	5,4	24	1,04	521,71	542,58	24	5,4	8,37
TN15	3,7	25	0,99	484,59	479,75	160	2,45	22,38
TN16	5,3	25,2	0,89	521,71	464,32	70	4	5,41
TN17	3,1	25,7	0,9	560	504,19	233	3,55	15,61
TN18	4	25,8	0,89	112,03	99,71	103	1,75	22,63
TN19	3,6	25,6	0,9	155,96	140,36	37	2,25	4,19
TN20	6,3	25,3	0,85	76,26	64,82	20	3,2	1,36

Fonte: a autora

#### 5. Avaliação da resistência ao intemperismo natural

A tabela 16 apresenta os valores de luminância L (Cd/m<sup>2</sup>) e refletância  $\rho$  calculados nas misturas de tinta TN1 a T20 (com exceção das tintas TN3 e TN8) antes e depois do ensaio de resistência ao intemperismo natural, a fim de comparação.

Tabela 16 - Resultados de luminância ( $L$ ) e refletância ( $\rho$ ) das misturas de tinta TN1 a TN20 durante o ensaio de resistência ao intemperismo natural

Mistura	Luminância "L" (Cd/m <sup>2</sup> )		Refletância ( $\rho$ )	
	Recém pintadas	Após intemperismo natural	Recém pintadas	Após intemperismo natural
TN1	35,54	53,32	0,56	0,84
TN2	34,64	40,29	0,55	0,64
TN4	28,41	44,38	0,45	0,70
TN5	50,58	41,63	0,80	0,66
TN6	45,78	47,86	0,72	0,76
TN7	49,43	49,23	0,78	0,78
TN9	32,47	46,90	0,51	0,74
TN10	6,55	47,14	0,10	0,74
TN11	25,11	35,99	0,40	0,57
TN12	11,81	13,37	0,19	0,21
TN13	13,62	21,54	0,22	0,34
TN14	8,65	8,42	0,14	0,13
TN15	12,14	9,15	0,19	0,14
TN16	18,70	16,13	0,30	0,25
TN17	4,91	13,95	0,08	0,22
TN18	33,37	50,11	0,53	0,79
TN19	19,70	22,99	0,31	0,36
TN20	2,66	4,92	0,04	0,08

Fonte: a autora

## 6. Conclusão

Através dos resultados verificados na experiência da pintura artística é possível concluir que as misturas que apresentaram resultados satisfatórios quando avaliadas a variação de cor durante o processo de secagem total da tinta na parede, a consistência das misturas e a aplicabilidade foram as misturas TN1, TN5, TN6, TN10, TN11, TN12, TN13, TN15, TN17, TN18 e TN20.

Ao avaliar as características das misturas de tintas, percebe-se que 55% das misturas apresentaram resultados abaixo dos limites de viscosidade e RAU, enquanto 10 % apresentaram resultados acima dos limites de viscosidade e RAU; 70% das misturas apresentaram viscosidade inferior aos limites; enquanto

25% das misturas apresentaram viscosidade acima dos limites; 75% das misturas apresentaram RAU abaixo de 100 ciclos de escovação, enquanto 25% das misturas apresentaram RAU acima de 100 ciclos de escovação.

Ao avaliar o custo/litro das misturas de tintas, percebe-se que 15% das misturas apresentaram maior custo/litro em comparação às tintas industrializadas, enquanto 25% das misturas apresentaram custo/litro similar e 60% apresentaram custo/litro inferior às tintas industrializadas.

Ao avaliar o rendimento das misturas de tinta, percebe-se que 80% das misturas apresentaram maior rendimento em comparação às tintas industrializadas, enquanto 10% apresentaram rendimento similar, e 10% apresentaram rendimento inferior.

## APÊNDICE II

### EXPERIÊNCIA: PINTURA DE PAREDE EXTERNA COM TINTAS NATURAIS EM GUARULHOS-SP

No mês de julho de 2022 foi realizado *workshop* de tintas naturais na cidade de Guarulhos-SP, em que os participantes aprenderam a elaborar tintas com pigmentos extraídos da raiz do açafreão-da-terra, sementes de urucum, cacau 100%, argilas branca, amarela e cor-de-rosa e cal de pintura para aplicar em parede externa de uma residência na cidade. Como solventes foram utilizados água e etanol (álcool etílico 70° INPM), e resina de poliacetato de vinila (PVA) da marca Cascorez como agente aglutinante.

A parede externa escolhida para o *workshop* foi previamente lixada e preparada (figura 67) para receber as tintas elaboradas pelos participantes da oficina, pois encontrava-se com a pintura deteriorada.

Figura 67 – Preparação da parede externa no *workshop* em Guarulhos - SP



Fonte: a autora

Para a extração do pigmento bixina presente na casca das sementes de urucum foi necessária a imersão destas em etanol (álcool etílico 70° INPM), na proporção de 1:1,5 durante o período de 72 horas, conforme as informações coletadas em revisão bibliográfica. Posteriormente, os participantes passaram a imersão em peneira a fim de separar as sementes do líquido com o pigmento bixina (figura 68-a). O pigmento antocianina de coloração marrom do cacau foi obtido através da imersão do pó em água a 87°C na proporção de 1:2 até a diluição total resultando em um líquido homogêneo (figura 68-b).

Figura 68 – Preparo das sementes de urucum (a) e da tinta de cacau (b)



Fonte: a autora

Todos os pigmentos foram adquiridos em comércio de produtos naturais. Os demais pigmentos utilizados na oficina foram adicionados à mistura com o restante dos componentes (figura 69-a) e, após a adição de todos os insumos, as misturas foram homogeneizadas com o auxílio de um misturador elétrico de 3.000 rpm por cerca de 3 minutos (figura 69-b).

Figura 69 - Elaboração da tinta de argila amarela (a) e preparo da tinta de cúrcuma com misturador elétrico (b)



Fonte: a autora

A tabela 17 apresenta as quantidades (volume) de cada insumo utilizado na oficina para a elaboração das 6 misturas de tintas, identificadas nesta etapa da pesquisa como TOG1 a TOG6.

Tabela 17 - Insumos utilizados na oficina em Guarulhos - SP

Mistura	Pigmento		Solvente		Aglutinante		Base	
	Insumo	Quant. (%)	Insumo	Quant. (%)	Insumo	Quant. (%)	Insumo	Quant. (%)
TOG1	P1	0,21	E	0,37	CB	0,17	A	0,25
TOG2	P2	0,36	A	0,52	CB	0,12	--	0
TOG3	P3	0,28	E	0,24	CB	0,15	CP	0,33
TOG4	P4	0,19	A	0,43	CB	0,17	A	0,21
TOG5	P4	0,16	A	0,52	CB	0,13	CP	0,19
TOG6	P5	0,13	E	0,39	CB	0,21	CP	0,27

Fonte: a autora

Através da elaboração das misturas com pigmento de raiz de açafreão-em-pó, os participantes da oficina perceberam a variação da coloração amarela para cor-de-rosa do pigmento, comprovando a alteração do pigmento de curcumina em pH alcalino conforme mencionado por Araújo (2008) em revisão bibliográfica.

Os participantes aplicaram as misturas de tintas na parede em faixas verticais de 30 cm de largura (figura 70-a) a fim de evidenciar a diferença de cores obtidas com as misturas dos componentes (figura 70-b). Foram aplicadas 3 demãos de tinta em cada faixa vertical utilizando pincéis, brochas e rolos de diferentes tamanhos para o acabamento final.

Figura 70 - Aplicação das tintas na parede externa (a) e parede externa com a pintura finalizada (b)



Fonte: a autora

A partir dos procedimentos e métodos de medição descritos no capítulo 3 da presente pesquisa, foram avaliadas as características das tintas elaboradas na oficina como pH, viscosidade, rendimento e custo/litro calculado conforme o

quadro 13 do APÊNDICE III. A tabela 18 apresenta os resultados encontrados para cada mistura de tinta.

Tabela 18 – Características das tintas elaboradas em Guarulhos– SP

Mistura	pH	Viscosidade (cp)	Rendimento (L/m <sup>2</sup> )	Custo Total (R\$/L)
TOG1	5.6	420	4,2	3,12
TOG2	4.8	321	4,3	4,23
TOG3	10.6	572	3,8	3,53
TOG4	6.2	478	4,1	3,43
TOG5	11.7	434	4,4	3,66
TOG6	11.9	498	4,3	3,47

Fonte: a autora

Após o término da etapa de elaboração das tintas, os participantes foram convidados a avaliar as diferentes colorações obtidas, a textura e o cheiro de cada mistura, a fim ressaltar a diferença entre estas e as tintas imobiliárias industrializadas. Os participantes notaram que o forte odor característico das substâncias químicas presentes nas tintas imobiliárias convencionais prejudica a saúde dos usuários das edificações, e impossibilita até mesmo o contato direto entre as tintas e a pele, diferente das tintas elaboradas com insumos naturais.

### APÊNDICE III

Quadro 13 – Valor (R\$)/kg dos materiais utilizados na elaboração das tintas

<b>Insumos</b>	<b>Valor (R\$)/Kg ou L</b>
Sementes de Urucum	16
Açafrão em pó	17,5
Raiz de açafrão	40
Spirulina em pó	63
Urucum em pó	11,6
Álcool 70%	5,8
Cola branca PVA (Cascorez)	19,6
Cacau em pó	16
Sementes de linhaça dourada	16,1
Semente de linhaça marrom	8,6
Alúmen de potássio	18,55
Vinagre branco	2,7
Cal de pintura	1,2
Carvão vegetal	3,8

Fonte: a autora

## APÊNDICE IV

Resumo do experimento para as variáveis resposta pH, viscosidade e RAU

Tabela 19 – Resumo do experimento

Componentes	5
Variáveis do processo	0
Pontos do experimento	36
Grau do experimento	4
Total da mistura	1

Fonte: a autora

Tabela 20 – Parâmetros para otimização de resposta

Variável	Meta	Inferior	Alvo	Superior	Peso	Importar
pH	alvo	4,5	5	5,5	1	1
Viscosidade	alvo	70	100	160	1	1
RAU	máximo	100	120	120	1	1

Fonte: a autora

Tabela 21 – Solução global (S.G.)

Componentes	S.G.
X	0,15197
Y	0,20000
Z	0,33263
W	0,31540
S	0,00000

Fonte: a autora

Tabela 22 – Respostas previstas

	pH	Viscosidade	RAU
Respostas previstas	5,077000	103,883000	150,488000
Conveniência	0,985414	0,935285	1,000000
Conveniência composta		0,973168	

Fonte: a autora

Tabela 23 – Número de limites para cada dimensão

Tipo de ponto	1	2	3	4	0
Dimensão	0	1	2	3	4
Número	5	10	10	5	1

Fonte: a autora

Tabela 24 – Número de pontos de experimento para cada tipo

Tipo de ponto	1	2	3	4	5	0	-1
Distinto	5	10	10	5	0	1	5
Réplicas	1	1	1	1	0	1	1
Número total	5	10	10	5	0	1	5

Fonte: a autora

Regressão para as misturas: pH versus pigmento (X), solvente (Y), aglutinante (Z), aditivo (W) e bactericida (S)

Tabela 25 - Coeficientes de regressão estimados para pH

Termo	Coef	EP de Coef	Valor-T	Valor-P	VIF
X	4,14	1,59	*	*	3,07
Y	4,35	1,59	*	*	3,07
Z	4,36	1,59	*	*	3,07
W	4,24	1,59	*	*	3,07
S	10,63	1,59	*	*	3,07
X-Y	3,98	6,56	0,61	0,551	1,87
X-Z	3,79	6,56	0,58	0,569	1,87
X-W	3,66	6,56	0,56	0,582	1,87
X-S	22,16	6,56	3,38	0,003	1,87
Y-Z	4,1	6,56	0,62	0,539	1,87
Y-W	3,93	6,56	0,6	0,556	1,87
Y-S	23,06	6,56	3,52	0,002	1,87
Z-W	3,3	6,56	0,5	0,62	1,87
Z-S	23,69	6,56	3,61	0,002	1,87
W-S	23,71	6,56	3,62	0,002	1,87

Fonte: a autora

Tabela 26 – Sumário do modelo

S	1,66544
R2	87,34%
R2(aj)	78,90%
PRESQ	506,355
R2(pred)	0,00%

Fonte: a autora

Tabela 27 - Análise de variância para pH (pseudocomponentes)

Fonte	GL	SQ Seq.	SQ (Aj.)	QM (Aj.)	Valor F	Valor-P
Regressão	14	401,915	401,915	28,7082	10,35	0
Linear	4	284,015	34,987	8,7468	3,15	0,035
Quadrático	10	117,899	117,899	11,7899	4,25	0,003
X-Y	1	0,208	1,021	1,021	0,37	0,551
X-W	1	0,187	0,928	0,928	0,33	0,569
X-Z	1	0,182	0,865	0,8651	0,31	0,582
X-S	1	21,969	31,68	31,68	11,42	0,003
Y-Z	1	0,181	1,082	1,0817	0,39	0,539
Y-W	1	0,164	0,995	0,9949	0,36	0,556
Y-S	1	26,781	34,293	34,2929	12,36	0,002
Z-W	1	0,018	0,701	0,7009	0,25	0,62
Z-S	1	31,959	36,195	36,1954	13,05	0,002
W-S	1	36,25	36,25	36,2495	13,07	0,002
Erro de resíduos	21	58,248	58,248	2,7737		
Total	35	460,162				

Fonte: a autora

Tabela 28 - Coeficientes de regressão estimados para pH (proporções de componentes)

Termo	Coeficiente
X	-71,548
Y	-52,804
Z	-31,803
W	-31,2
S	-603,027
X-Y	137,674
X-W	131,254
X-Z	126,73
X-S	766,881
Y-Z	141,707
Y-W	135,899
Y-S	797,881
Z-W	114,068

Z-S	819,714
W-S	820,326
<hr/>	
Fonte: a autora	

Tabela 29 – Índices ajustados e diagnósticos para observações atípicas

Obs	OrdemPad	pH	Ajuste	EP do Ajustado	Resid	Resid Pad
16	36	11,1	7,78	0,56	3,32	2,12 R
27	35	11,3	7,85	0,56	3,45	2,2 R
29	1	12,2	10,63	1,59	1,57	3,23 R

Em que R: resíduo grande

Fonte: a autora

Regressão para as misturas: viscosidade versus pigmento (X), solvente (Y), aglutinante (Z), aditivo (W) e bactericida (S)

Tabela 30 - Coeficientes de regressão estimados para viscosidade

Termo	Coef	EP de Coef	Valor-T	Valor-P	VIF
X	152,57	6,73	*	*	3,07
Y	57,56	6,73	*	*	3,07
Z	84,86	6,73	*	*	3,07
W	52,58	6,73	*	*	3,07
S	130,57	6,73	*	*	3,07
X-Y	-147,2	27,7	-5,31	0	1,87
X-Z	-127,7	27,7	-4,61	0	1,87
X-W	-132,3	27,7	-4,77	0	1,87
X-S	-181,9	27,7	-6,57	0	1,87
Y-Z	-27	27,7	-0,97	0,341	1,87
Y-W	-2,3	27,7	-0,08	0,935	1,87
Y-S	-93,4	27,7	-3,37	0,003	1,87
Z-W	-25,9	27,7	0,93	0,361	1,87
Z-S	-94,1	27,7	-3,4	0,003	1,87
W-S	-56,4	27,7	-2,03	0,055	1,87

Fonte: a autora

Tabela 31 – Sumário do modelo

S	7,03605
R2	93,28%
R2(aj)	88,80%
PRESQ	8870,26
R2(pred)	42,66%

Fonte: a autora

Tabela 32 - Análise de variância para viscosidade (pseudocomponentes)

Fonte	GL	SQ			Valor F	Valor-P
		Seq.	SQ (Aj.)	QM (Aj.)		
Regressão	14	14430,1	14430,1	1030,72	20,82	0
Linear	4	8706	8520,6	2130,15	43,03	0
Quadrático	10	5724,2	5724,2	572,42	11,56	0
X-Y	1	946,3	1397,5	1397,49	28,23	0
X-W	1	715,7	1052,5	1052,47	21,26	0
X-Z	1	954,1	1128,1	1128,15	22,79	0
X-S	1	1864	2135	2134,95	43,13	0
Y-Z	1	17,1	47	46,96	0,95	0,34
Y-W	1	2,2	0,3	0,34	0,01	0,93
Y-S	1	469,6	563	562,96	11,37	0
Z-W	1	18,9	43,1	43,11	0,87	0,36
Z-S	1	531,3	571	570,98	11,53	0
W-S	1	204,9	204,9	204,95	4,14	0,05
Erro de resíduos	21	1039,6	1039,6	49,51		
Total	35	15469,8				

Fonte: a autora

Tabela 33 - Coeficientes de regressão estimados para viscosidade (proporções de componentes)

Termo	Coeficiente
X	4025,15
Y	205,18
Z	496,92
W	140,76
S	2575,35
X-Y	-5093,43
X-W	-4420,19
X-Z	-4576,34
X-S	-6295,49
Y-Z	-933,69
Y-W	-78,91
Y-S	-3232,77
Z-W	-894,58
Z-S	-3255,7
W-S	-1950,55

Fonte: a autora

Tabela 34 – Índices ajustados e diagnósticos para observações atípicas

Obs	OrdemPad	Viscosidade	Ajuste	EP do Ajustado	Resid	Resid Pad
2	2	158,83	152,57	6,73	6,26	3,05 R
13	32	69,08	82,92	2,37	-13,84	-2,09 R
35	33	68,75	85,76	2,37	-17,01	-2,57 R

Em que R: resíduo grande

Fonte: a autora

Regressão para as misturas: RAU versus pigmento (X), solvente (Y), aglutinante (Z), aditivo (W) e bactericida (S)

Tabela 35 - Coeficientes de regressão estimados para RAU

Termo	Coef	EP de Coef	Valor-T	Valor-P	VIF
X	197,6	40,6	*	*	3,07
Y	47,9	40,6	*	*	3,07
Z	49,3	40,6	*	*	3,07
W	59,3	40,6	*	*	3,07
S	141	40,6	*	*	3,07
X-Y	24	167	0,14	0,889	1,87
X-Z	-9	167	-0,05	0,958	1,87
X-W	-70	167	-0,42	0,679	1,87
X-S	75	167	0,45	0,659	1,87
Y-Z	144	167	0,86	0,399	1,87
Y-W	23	167	0,14	0,89	1,87
Y-S	159	167	0,95	0,352	1,87
Z-W	-18	167	-0,11	0,917	1,87
Z-S	196	167	1,17	0,254	1,87
W-S	338	167	2,02	0,056	1,87

Fonte: a autora

Tabela 36 – Sumário do modelo (RAU)

S	42,4947
R2	60,40%
R2(aj)	34,00%
PRESQ	173458
R2(pred)	0,00%

Fonte: a autora

Tabela 37 - Análise de variância para RAU (pseudocomponentes)

Fonte	GL	SQ			Valor F	Valor-P
		Seq.	SQ (Aj.)	QM (Aj.)		
Regressão	14	57835,1	57835,1	4131,08	2,29	0,042
Linear	4	45529,2	19608,9	4902,23	2,71	0,058
Quadrático	10	12305,9	12305,9	1230,59	0,68	0,73
X-Y	1	20,6	35,8	35,81	0,02	0,889
X-W	1	15,7	5,2	5,24	0	0,958
X-Z	1	453,8	318,5	318,55	0,18	0,679
X-S	1	94	360,7	360,71	0,2	0,659
Y-Z	1	1156,8	1339,6	1339,64	0,74	0,399
Y-W	1	0	35,6	35,55	0,02	0,89
Y-S	1	1047,9	1635,9	1635,91	0,91	0,352
Z-W	1	155,2	20,1	20,06	0,01	0,917
Z-S	1	1984,7	2479,8	2479,85	1,37	0,254
W-S	1	7377,3	7377,3	7377,27	4,09	0,056
Erro de resíduos	21	37921,8	37921,8	1805,8		
Total	35	95757				

Fonte: a autora

Tabela 38 - Coeficientes de regressão estimados para RAU (proporções de componentes)

Termo	Coeficiente
X	1812,7
Y	-1492,2
Z	-524,5
W	432,8
S	-5906,6
X-Y	815,3
X-W	-312
X-Z	-2431,8
X-S	2587,7
Y-Z	4986,9
Y-W	812,4
Y-S	5510,8
Z-W	-610,3
Z-S	6785
W-S	11702,6

Fonte: a autora

## ANEXO

### GLOSSÁRIO

No presente glossário constam as definições dos termos físicos e químicos específicos citados na revisão bibliográfica relacionados à composição química dos pigmentos orgânicos e inorgânicos e aos processos físicos de interação entre os elementos e elaboração das tintas com insumos naturais.

**Agentes emulsificantes** (ou surfactantes): são substâncias adicionadas às emulsões para aumentar sua estabilidade cinética, tornando-as estáveis e homogêneas. Tais substâncias atuam sobre a tensão superficial dos líquidos, apresentando duas regiões distintas em sua estrutura química: região hidrofílica (aniônica, catiônica ou não-iônica) e hidrofóbica (cadeias hidrocarbônicas saturadas ou insaturadas, anéis aromáticos ou heterocíclicos) (FLORENCE e ATTWOOD, 2003).

**Alúmen de potássio-  $KAl(SO_4)_2$** : sulfato duplo de alumínio e potássio. A “pedra hume”, comumente utilizada como mordente em tingimento de tecidos ou agente floculante em clarificação de líquidos turvos, possui o alúmen de potássio como seu principal constituinte, apesar de conter outros alúmens, como o alúmen de sódio (FRAGOSO, 2014).

**Cromóforos do grupo azo**: o grupo de cromóforos mais utilizado pelas indústrias têxtil, alimentícia e cosmética para corantes reativos, ácidos e dispersos, caracterizado por um ou mais grupos ligados a um átomo de carbono (STOLZ, 2001). Representam 70% do total de pigmentos produzidos, classificados pela presença de uma dupla ligação entre nitrogênios no meio da molécula (-N=N-) (GARCIA-SEGURA *et al.*, 2013).

**Cromóforos do grupo policíclicos**: são pigmentos com estrutura composta por anéis aromáticos benzênicos ou heterocíclicos conjugados ou condensados. Possuem estrutura de maior complexidade em comparação com os cromóforos

do grupo azo, por este motivo apresentam maior dificuldade técnica de obtenção e custo elevado. Suas propriedades químicas garantem alta solidez, sendo frequentemente utilizados em tintas de alta qualidade e desempenho (RUBENSAM, 2004).

**Poder de cobertura seca (PCS):** é a capacidade de uma película de tinta de ocultar o substrato após a sua secagem. As medidas de PCS são feitas por refletância sobre fundos preto e branco. Estudos elaborados no Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia em comprovaram que, quanto maior a diluição dos pigmentos na mistura, maior a distribuição homogênea da película de tinta no substrato. Com isso, segundo o Instituto, após a evaporação da água, os pigmentos serão capazes de cobrir a superfície deixando o mínimo de espaços vazios, o que dificulta a penetração da luz, resultando em menor reflexão da cor no substrato e maior razão de contraste, ou seja, maior poder de cobertura seca (INMETRO, 2008). O método para determinação do PCS é determinado pela ABNT NBR 14943 (2018).

**Poder de cobertura úmida (PCU):** é a capacidade de uma película de ocultar o substrato enquanto úmida. Suas características são similares às do PCS, diferenciando-se apenas no fato do PCU avaliar as misturas com a presença de água. As medidas de PCU são feitas por refletância sobre fundos preto e branco, porém, segundo os estudos elaborados pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia em 2008, em meio úmido os pigmentos ainda encontram-se separados por filmes de água, permitindo que a luz penetre entre as partículas alcançando o substrato, com isso há maior facilidade na reflexão da cor, resultando em menor razão de contraste, ou seja, menor poder de cobertura úmida (INMETRO, 2008). O método para determinação do PCU é determinado pela ABNT NBR 14942 (2019).

**Poder tintorial:** é a capacidade de tingimento de um corante ou pigmento, cujo objetivo é alcançar forte intensidade de tom com a menor quantidade de corante ou pigmento possível. O poder tintorial é um fator importante na fabricação de corantes e na preparação de fórmulas de cores, pois implica diretamente nos

custos finais dos produtos devido à quantidade de pigmento que será adicionado à mistura para alcançar um forte poder tintorial. Para saber o poder de tingimento de um corante recomenda-se comparar o corante padrão com as misturas nas mesmas condições de aplicação. Na elaboração de tintas, por exemplo, essa comparação é feita em uma mistura com o pigmento branco de dióxido de titânio ( $\text{TiO}_2$ ) e o pigmento colorido, em que o pigmento branco é comum para o padrão e para as misturas. Neste caso, o poder de tingimento será determinado pelo quanto o pigmento colorido tinge o pigmento branco  $\text{TiO}_2$  e a diferença de força será calculada pela quantidade necessário a adicionar ou retirar do pigmento colorido da mistura, na mistura com o pigmento branco para que se obtenha a mesma intensidade de cor entre o padrão e a mistura. Essas comparações são realizadas através da utilização de espectrofotômetros e *softwares* de controle de cores a fim de diminuir o número de tentativas para chegar aos resultados precisos de poder tintorial (CONSTANT *et al.*, 2002).

**Processo de aglutinação:** é o processo físico-químico em que a substância aglutinante proporciona a coesão homogênea entre as partículas do pigmento com a finalidade de formar uma camada fina que seja aderente à superfície do substrato em que a mistura está sendo aplicada. Após a aplicação, ocorre a secagem do aglutinante transformando esta camada fina em uma película com propriedades de dureza e flexibilidade responsáveis por conservar a aplicação no substrato por determinado tempo. A transparência e a ausência de cor são propriedades fundamentais para que uma substância possa ser utilizada como aglutinante, para evitar alterações das propriedades óticas do pigmento. Dada a sua transparência, o aglutinante possui um índice de refração próprio que, dependendo do índice de refração dos diferentes pigmentos, irá influenciar o resultado final da pintura e a sua cor. O aglutinante possui propriedades químicas de elevada estabilidade para resistir à luz e aos agentes químicos e atmosféricos, como a sua propriedade hidrofóbica, por exemplo, que garante maior estabilidade da camada na tinta em contato com a água durante o envelhecimento da pintura (MATTEINI e MOLES, 2008).

**Processo de isomerização:** reação em que um composto se converte em um de seus isômeros (um de dois ou mais compostos que contêm o mesmo número dos mesmos átomos em arranjos diferentes). A isomerização *cis-trans*, por exemplo, é a conversão de um isômero *cis* em um isômero *trans*. O processo de isomerização é usado para promover a alteração da forma de uma molécula sem remover ou adicionar nada na molécula original (ATKINS e JONES, 2011).

**Rendimento prático:** é a quantidade total de tinta utilizada para pintar uma determinada área, variando em função do método de aplicação, diluição, geometria da estrutura, rugosidade, cor, absorção da superfície e espessura da camada de tinta depositada. O rendimento teórico é expresso em metros quadrados acabados por embalagem (ABNT NBR 14942, 2019).

**Rendimento teórico:** é a área acabada pintada conforme instruções do fabricante da tinta, que apresente a razão de contraste mínima de 97,5%. O rendimento teórico é expresso em metros quadrados acabados por embalagem (ABNT NBR 14942, 2019).

**Solventes polares e apolares:** a permissividade elétrica relativa é uma medida da polaridade de um solvente, definida como o quociente entre a intensidade do campo elétrico no vazio e no solvente. Os solventes que apresentam um valor de permissividade relativa inferior a 15 classificam-se como apolares. Se as moléculas de solvente forem polares, ou seja, se o momento dipolar de cada molécula não for nulo, o solvente é caracterizado como polar (exemplos: água, etanol e ácido acético). Em um solvente apolar, as moléculas possuem momento dipolar nulo ou próximo de zero (exemplos: hexano, benzeno e clorofórmio). Tal característica permite identificar a capacidade de um solvente em dissolver um determinado soluto. Solventes polares dissolvem preferencialmente solutos polares, enquanto solventes apolares dissolvem preferencialmente solutos apolares (LIMA, 2014).

**Suspensão coloidal:** dispersão de pequenas partículas com diâmetros entre 1 nm e 1 µm em um gás, líquido ou sólido (ATKINS e JONES, 2011).

**Teor de sólidos:** especifica a quantidade de substâncias não voláteis em um determinado líquido. Apresenta-se como uma variável contínua que representa o percentual de massa seca sobre a massa total, determinada pela evaporação do solvente da mistura através da exposição ao calor em estufa (VERONA, 2004).

**Teor de viscosidade:** propriedade física que caracteriza a resistência de um fluido ao escoamento, isto é, ao transporte microscópico de quantidade de movimento por difusão molecular. Quanto maior a viscosidade, menor será a velocidade com que o fluido se movimenta. O equilíbrio da viscosidade está diretamente relacionado à quantidade de solvente em uma mistura de tinta, considerando-se as características morfológicas e físico-químicas de cada pigmento (CARDOSO *et al.*, 2016).