

Avaliação das características e resistência à abrasão de tintas imobiliárias formulados com pigmento de *Curcuma Longa L.*

Evaluation of characteristics and abrasion resistance of paints formulated with Curcuma Longa L. pigment for buildings

Fernanda Cardoso de Faria 

Aloísio Leoni Schmid 

Isabela Pagani Heringer de Miranda 

Resumo

O presente estudo buscou formular tintas artesanais para pinturas de murais cujos pigmentos sejam oriundos de plantas, considerando a necessidade de aditivos e técnicas capazes de garantir um bom desempenho para paredes internas de edificações. A falta de receitas e publicações sobre a proporção de cada componente para a obtenção de uma tinta com bom desempenho motivou a elaboração da presente pesquisa, em que foram desenvolvidas formulações através de delineamento experimental de misturas para obter suspensões homogêneas que estejam em conformidade com os limites de desempenho definidos pela NBR 15079-1:2021. O desempenho das misturas frente ao ensaio de resistência à abrasão (RAU) foi avaliado de acordo com as variações das proporções dos componentes das misturas e as variáveis de pH e viscosidade. Os resultados indicam que os índices mais elevados de RAU foram alcançados ao elevar os níveis de pigmento e bactericida, ao passo que altos índices de pH apresentaram viscosidade elevada e bom desempenho frente à RAU, e vice-versa. Através do presente estudo, conclui-se que é possível elaborar tintas com pigmentos de *Curcuma Longa L.* e insumos naturais com desempenho satisfatório para aplicação e elaboração de pinturas murais em paredes internas de edificações.

Palavras-chave: Tintas imobiliárias. Resistência à abrasão. Pigmento vegetal.

Abstract

This study handles the possibility of formulating artisanal paints for wall paintings whose pigments come from plants, considering the need for additives and techniques capable of guaranteeing a good performance for internal walls of buildings. The lack of recipes and publications on the proportion of each component to obtain a paint with good performance motivated the preparation of the present research, in which formulations were developed through experimental design of mixtures to obtain homogeneous suspensions that comply with the limits stipulated by NBR 15079-1:2021. The performance of the mixtures in the Abrasion Resistance Test was evaluated according to the variations in the proportions of the components of the mixtures, and the pH and viscosity variable. The results indicate that the highest levels of abrasion resistance were achieved by raising the levels of pigment and bactericide, while high pH indices showed high viscosity and good performance against abrasion resistance, and vice versa. Through this study, it is concluded that it is possible to elaborate paints with Curcuma Longa L. pigments and natural inputs with satisfactory performance for the application and elaboration of mural paintings on internal walls of buildings.

Keywords: Paints buildings. Abrasion resistance. Vegetable pigment.

¹Fernanda Cardoso de Faria

¹Universidade Federal do Paraná
Curitiba - PR - Brasil

²Aloísio Leoni Schmid

²Universidade Federal do Paraná
Curitiba - PR - Brasil

³Isabela Pagani Heringer de
Miranda

³Universidade Federal de Alfenas
Alfenas - MG - Brasil

Recebido em 20/05/22

Aceito em 27/07/23

Introdução

A pintura mural caracteriza-se como uma arte poética que possibilita uma abordagem artístico-social cuja visibilidade é acessível a todos os níveis da população. Essa proposta tem o objetivo de disseminar o conhecimento e práticas artísticas como forma de vivenciar a cultura local (Sául *et al.*, 2019). Atualmente, coletivos de artistas e pintores buscam inovações para suas expressões em pinturas murais, como a elaboração artesanal de suas próprias tintas no local e o uso de elementos naturais, de fácil acesso e baixo custo para a obtenção de diferentes cores, como o uso de terras e argilas, por exemplo. Neste contexto, surge o questionamento sobre a possibilidade de elaborar tintas com elementos naturais para a aplicação em paredes internas cujos pigmentos sejam oriundos de vegetais, como a raiz de *Curcuma Longa L.*, popularmente conhecida como açafrão-da-terra ou cúrcuma, facilmente encontrado como condimento para alimentos.

Devido à instabilidade da curcumina, cromóforo de aparência amarelada presente na raiz da cúrcuma, diferentes áreas do conhecimento têm pesquisado aditivos para diminuir sua velocidade de degradação a fim de otimizar o uso do açafrão-da-terra como pigmento, como a indústria têxtil, cujas pesquisas têm apresentado resultados satisfatórios ao utilizar mordentes ricos em taninos para a conservação de cor.

Assim, os objetivos deste trabalho são: elaborar tintas para paredes internas de edificações com pigmento de raiz de *Curcuma Longa L.* e aditivo conservador de cor rico em taninos, a partir de formulações e métodos estatísticos de delineamento experimental de misturas; avaliar as características das soluções encontradas; traçar as relações entre essas características e seu desempenho frente à resistência à abrasão (RAU), de acordo com os limites estabelecidos pela ABNT para tintas látex da categoria econômica; e, através dos resultados, desenvolver possíveis receitas/fórmulas de tinta ecológica e econômica com pigmento vegetal que se enquadre na realidade da autoprodução.

Revisão bibliográfica

Há registros do uso do potencial “tintório” da raiz do açafrão-da-terra desde a antiguidade, como corante de alimentos ou no tingimento de tecidos, como os mantos dos monges budistas na Índia (Monteleone, 2016). Além do uso nas indústrias têxtil e alimentícia, o açafrão-da-terra também é utilizado no processamento de couro, pintura de artesanato e na elaboração de medicamentos devido às suas propriedades anti-inflamatórias e antibacterianas (Saxena; Raja, 2014).

Na área rural do leste indiano há comunidades que utilizam a raiz do açafrão-da-terra, entre outros pigmentos vegetais, na elaboração de tintas para pintura de paredes internas e externas de edificações, conhecida popularmente como “Patachitra”, cuja conservação é garantida através do uso de gomas naturais elaboradas com sementes do fruto *bael* (*Aegle marmelos*) e água (Mahalanobish; Dey, 2011).

O principal componente cromóforo extraído da raiz do açafrão-da-terra é a curcumina, cuja coloração amarelada pode chegar a tons alaranjados (Volp; Renhe; Stringueta, 2009). Segundo Araújo (2008), a raiz do açafrão-da-terra contém cerca de 2,5 a 8,1% de curcumina, que pode ser extraída através de solventes como a acetona, metanol, etanol e diclorometano. No entanto, a curcumina é insolúvel em água, possui alta estabilidade térmica, não se altera com variações de pH até que se atinja a alcalinidade, e apresenta baixa estabilidade à luz devido à presença de ligações duplas conjugadas que reagem com o oxigênio (Araújo, 2008).

A fim de conservar a coloração característica da curcumina, pesquisadores de diferentes áreas do conhecimento têm publicado resultados satisfatórios no uso de aditivos de origem natural. Silva *et al.* (2016), por exemplo, registraram um bom desempenho de aditivos como alúmen de potássio (popularmente conhecido como pedra hume), tanino e sulfato ferroso em experimento de tingimento de fibras de algodão e lã com pigmentos vegetais. Damasceno, Silva e Francisco (2010) apresentam resultados satisfatórios em experiências utilizando cinzas vegetais, alúmen de potássio, tártaro, urina, ferrugem e vinagre como conservadores de cor. Gardner (1998) relata as características de aditivos como sulfato ferroso, sulfato de cobre, taninos, alumínio e latão. Neira e Carvalho (2017) comprovaram a eficácia dos mordentes de sal, vinagre, ferro, cobre e cinzas vegetais no tingimento de algodão com pigmentos de pó de café.

Entre todas as substâncias citadas como aditivo conservador de cor nos estudos utilizados como embasamento teórico para o presente trabalho, os taninos têm apresentado resultados satisfatórios em contato com o pigmento curcumina. Segundo Ribeiro e Seravalli (2008), os taninos são compostos fenólicos, hidrossolúveis, com íons férricos, formando soluções de coloração preto-azulada. Conforme Peres (2010) os taninos estão associados aos mecanismos de defesa dos vegetais, frequentemente encontrados em grandes quantidades em cascas, caule, raízes

e sementes de famílias de plantas como o pinheiro (*Pinus longaevea*) e acácia (*Acacia cyanophylla*), de elevado poder antioxidante, classificados como condensáveis ou hidrolisáveis.

O estudo de taninos é um campo de pesquisa promissor devido à sua capacidade em inibir corrosões orgânicas. Indústrias de diversos setores têm estudado o uso de taninos por representarem uma substância de fácil acessibilidade, baixo custo e ecologicamente viável (Martinez, 2002).

O caqui verde, por exemplo, é um fruto rico em taninos que podem ser utilizados para diversas finalidades, como na elaboração do kakishibu, um fermentado do suco do caqui verde adstringente (*Diospyros kaki Thunb*), comumente utilizado na Ásia oriental como uma técnica milenar para tingimento de tecidos, papéis e para impermeabilização de madeira (Yoshioka *et al.*, 2005). Kyung-Soo, Seon-Ho e Lee (2009) afirmam que a estabilidade do kakishibu dispersa uniformemente os taninos durante os processos de fermentação e envelhecimento, resultando em uma superfície lisa quando utilizados como corantes na elaboração de tintas.

Neste trabalho utilizamos como referências as experiências de pesquisadores de diferentes áreas do conhecimento, artesãos e artistas plásticos que publicaram bons resultados sobre as técnicas para a extração e conservação do pigmento curcumina, elaboração do kakishibu, além dos processos de produção de tintas imobiliárias adotados pela indústria. Os dados coletados serviram como base para elaborar o método estatístico de modelagem de misturas.

Materiais e métodos

Seleção dos componentes e extração do pigmento

Como um dos objetivos da presente pesquisa é desenvolver uma tecnologia de baixo custo para pinturas murais em paredes internas com resultados satisfatórios de desempenho, para a seleção dos componentes consideramos a facilidade no acesso, simplicidade e segurança no processo de autoprodução.

No estudo a raiz do açafraão-da-terra passou por processos de secagem e trituração para a obtenção de um pó (Figura 1a), posteriormente diluído em álcool etílico 70° INPM na proporção de 1:10 para a extração do pigmento curcumina (Figura 1b). O etanol foi utilizado como solvente na extração do pigmento nas misturas elaboradas durante a etapa das formulações, cuja escolha foi motivada pelos resultados satisfatórios na extração do pigmento conforme revisão bibliográfica, também por sua baixa toxicidade, baixo custo e facilidade de acesso.

Para garantir a aderência da tinta em superfícies de alvenaria foram adicionadas quantidades de resina de poliacetato de vinila (PVA), conferindo a essas misturas a classificação de tintas látex PVA. Esta resina é comumente utilizado na elaboração de tintas artesanais como agente aglutinante. Apesar de ser um polímero de origem industrial, não apresenta elevada toxicidade, tem baixo teor de compostos orgânicos voláteis (COVs) e, além disso, é um produto solúvel em água, de fácil acesso e baixo custo. Uemoto e Silva (2005) indicam que a quantidade de resina compõe cerca de 4,3 a 13% em massa de uma tinta látex, ou seja, a quantidade de PVA em cada amostra elaborada seguiu os limites estipulados para esta classificação. O PVA utilizado neste estudo é da marca Cascorez, categoria universal, pH de 4,3 e viscosidade de 7.100 cp (centipóises) a 25 °C.

Como aditivo foi utilizado o “kakishibu” (fermentado de caquis verdes adstringentes rico em taninos) elaborado pela artesã gaúcha Marion Rupp, que passou por fermentação durante 24 meses (Figura 2a), apresentando pH de 3,4 e viscosidade de 0,92 cp a 25 °C no momento em que foi adicionado às misturas de tinta (Figura 2b).

Figura 1 - Raiz de açafraão-da-terra em pó e diluído em etanol, respectivamente

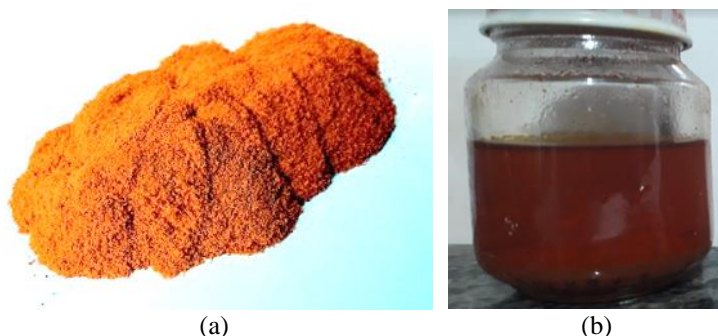


Figura 2 - Caquis verdes imersos em água e kakishibu pronto para o uso, respectivamente



Como agente bactericida foi utilizada a cal de pintura pois, devido à sua alcalinidade, atua como agente bactericida e fungicida, além de impedir a formação de manchas evitando danos nos revestimentos e proporcionando economia de tinta (Coelho; Torgal; Jalali, 2009). A cal é comumente utilizada em construções de terra crua com outros insumos naturais para conferir a resistência à ação da água (Camões; Eires; Jalali, 2012), e na pintura de paredes internas de casas coloniais brasileiras (Alvarenga, 2006).

Experimento de mistura

Visto que as tintas são emulsões resultantes da mistura de diferentes componentes, no caso das tintas artesanais elaboradas através da autoprodução, há a necessidade de uma receita a fim de gerar uma mistura de boa “qualidade”, ou seja, que apresente bom desempenho, viscosidade apropriada e resistência satisfatória. Segundo Vieira e Dal Bello (2006), quando não há uma receita com as proporções adequadas, são elaborados experimentos em que são avaliados os resultados das misturas de diferentes quantidades de cada componente, analisando-se as características de cada combinação.

A etapa do delineamento experimental utilizando o método estatístico de modelagem de misturas tem como principais objetivos: verificar como as características do produto final são afetadas pela variação das proporções dos componentes; definir as proporções adequadas para obter misturas com viscosidade e pH que se enquadrem nos limites pré-estabelecidos conforme revisão bibliográfica; e 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).

Segundo Vieira e Dal Bello (2006), em experimentos que envolvem misturas, as mudanças na formulação com o objetivo de alterar as propriedades de uma determinada mistura geram novas proporções observadas as restrições previamente estabelecidas, em que a soma das proporções de todos os componentes é igual a 1. Assim, a partir dos resultados do experimento, segundo os autores, é elaborada uma análise para estabelecer a relação entre a variável resposta e as variáveis que representam as proporções de cada componente através dos modelos polinomiais.

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 a viscosidade, o pH e a RAU das misturas como variáveis-resposta no delineamento experimental, em que os componentes das misturas foram o pigmento (X), solvente (Y), aglutinante (Z), aditivo (W) e bactericida (S).

Segundo McLean e Anderson (1966¹ *apud* Cardoso, 2015), o delineamento em vértices extremos é um procedimento utilizado para conduzir experimentos de mistura quando os componentes impõem restrições quanto às suas proporções, ou seja, limites inferior e/ou superior. Para a presente pesquisa, devido às restrições com base nos limites de cada componente (Tabela 1), nesta etapa foi utilizado o experimento de vértices extremos de grau 4 através do software Minitab 20.4.

A Tabela 2 apresenta as misturas geradas pelo software Minitab 20.4 a partir dos limites inferior e superior de cada componente, totalizando 36 pontos experimentais.

No delineamento experimental de mistura, a equação de regressão mostra o resultado da variável resposta a cada unidade incrementada das variáveis independentes que, no caso da elaboração artesanal das tintas, são os componentes da mistura.

¹MCLEAN, R. A.; ANDERSON, V. L. Extreme vertices design of mixture experiments. *Technometrics*, v. 8, p. 447-454, 1966.

Tabela 1 - Limites inferior e superior de cada componente

Componente	Proporção (%)		Pseudocomponente	
	Inferior	Superior	Inferior	Superior
X	0,03	0,20	0,00	1,00
Y	0,20	0,37	0,00	1,00
Z	0,30	0,47	0,00	1,00
W	0,30	0,47	0,00	1,00
S	0,00	0,17	0,00	1,00

Tabela 2 - Misturas geradas pelo software Minitab 20.4

Mistura	X	Y	Z	W	S
1	0,03	0,20	0,30	0,30	0,17
2	0,20	0,20	0,30	0,30	0,00
3	0,03	0,37	0,30	0,30	0,00
4	0,03	0,20	0,47	0,30	0,00
5	0,03	0,20	0,30	0,47	0,00
6	0,03	0,20	0,30	0,39	0,09
7	0,03	0,20	0,39	0,30	0,09
8	0,03	0,20	0,39	0,39	0,00
9	0,03	0,29	0,30	0,30	0,09
10	0,03	0,29	0,30	0,39	0,00
11	0,03	0,29	0,39	0,30	0,00
12	0,12	0,20	0,30	0,30	0,09
13	0,12	0,20	0,30	0,39	0,00
14	0,12	0,20	0,39	0,30	0,00
15	0,12	0,29	0,30	0,30	0,00
16	0,03	0,20	0,36	0,36	0,06
17	0,03	0,26	0,30	0,36	0,06
18	0,03	0,26	0,36	0,30	0,06
19	0,03	0,26	0,36	0,36	0,00
20	0,09	0,20	0,30	0,36	0,06
21	0,09	0,20	0,36	0,30	0,06
22	0,09	0,20	0,36	0,36	0,00
23	0,09	0,26	0,30	0,30	0,06
24	0,09	0,26	0,30	0,36	0,00
25	0,09	0,26	0,36	0,30	0,00
26	0,03	0,24	0,34	0,34	0,04
27	0,07	0,20	0,34	0,34	0,04
28	0,07	0,24	0,30	0,34	0,04
29	0,07	0,24	0,34	0,30	0,04
30	0,07	0,24	0,34	0,34	0,00
31	0,06	0,23	0,33	0,33	0,03
32	0,05	0,22	0,32	0,32	0,10
33	0,13	0,22	0,32	0,32	0,02
34	0,05	0,30	0,32	0,32	0,02
35	0,05	0,22	0,40	0,32	0,02
36	0,05	0,22	0,32	0,40	0,02

Segundo Cardoso *et al.* (2016), nos experimentos de mistura apenas os fatores variáveis compõem as equações de regressão a serem geradas. Portanto, na presente pesquisa foram interpretadas as influências diretas das variações dos componentes X, Y, Z, W e S sobre as respostas com base em equações de regressão, avaliando as respostas de viscosidade, pH e os resultados do ensaio de resistência à abrasão (RAU).

Análise estatística

A elaboração das tintas com pigmento curcumina seguiu as formulações elaboradas através de análises estatísticas realizadas considerando o experimento de vértices extremos de grau quatro, pois existem restrições no experimento com os limites inferiores e superiores dos componentes (restrição de componentes). O delineamento experimental analisou o efeito de cinco componentes na mistura com a perda de um grau de liberdade na análise e, após a obtenção das proporções indicadas de cada componente para os 36 pontos experimentais, foram ajustados modelos quadráticos com os efeitos principais e interações duplas. Os experimentos de mistura consideram que a proporção de cada componente depende da proporção dos demais componentes, portanto, espera-se que haja multicolinearidade.

O “p-valor” é a probabilidade de se obter uma estatística de teste igual ou mais extrema que aquela observada em uma amostra, sob a hipótese nula. No estudo o efeito de cada componente e as interações duplas entre eles foi testado, 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 $p\text{-valor} < 0,05$. Nesse sentido, optou-se por trabalhar com os pseudocomponentes e analisar a significância dos termos ($p\text{-valor} < 0,05$).

O coeficiente de determinação (R^2) expressa a variabilidade dos dados explicada pelo modelo, 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.

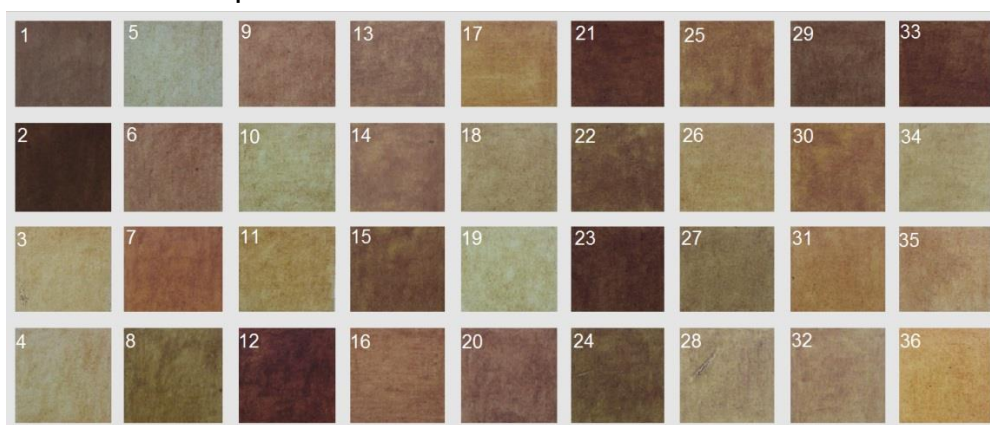
Produção das misturas

A produção de cada amostra de tinta seguiu os procedimentos listados abaixo:

- foram pesadas as quantidades de pigmento e solvente para a diluição, conforme as formulações elaboradas pelo software Minitab 20.4;
- foi adicionada a quantidade pesada de aglutinante à mistura de pigmento e solvente;
- posteriormente foram adicionados aditivo e agente bactericida;
- as formulações foram homogeneizadas com um misturador elétrico para tintas PVA com haste sextavada a 3.000 rpm por 3 minutos;
- as amostras foram transferidas para recipiente com capacidade de 500 ml para realizar as medições de viscosidade e pH; e
- após as medições, foi feita a aplicação em substratos para os ensaios de resistência à abrasão.

A Figura 3 apresenta as 36 amostras de tinta aplicadas em corpos-de-pova de 10 cm x 10 cm em uma parede interna de um imóvel, previamente pintada com tinta industrializada de cor branca.

Figura 3 - Amostras de tinta aplicadas no substrato



Viscosidade

A viscosidade de uma tinta é um fator importante para avaliar sua aplicabilidade no substrato. Segundo Lopes *et al.* (2017), a elevada viscosidade proporciona aderência no substrato, e a viscosidade baixa proporciona boa aplicabilidade. Para os autores, o bom rendimento na aplicação de uma tinta deve considerar a viscosidade e a quantidade de demãos necessárias para cobrir totalmente o substrato. Ensaio laboratoriais elaborados pelos autores comprovaram que a viscosidade cinemática ideal para as tintas analisadas correspondeu ao tempo de escoamento no viscosímetro copo Ford de 12 ± 1 segundos. Segundo Verona (2004), o viscosímetro do tipo Copo Ford avalia a fluidez da amostra através do tempo de escoamento de determinada quantidade pelo orifício do copo.

Cardoso *et al.* (2016) afirmam que o equilíbrio da viscosidade relaciona-se diretamente com a quantidade de solvente. Ao avaliar a viscosidade das tintas elaboradas com pigmento de solos, os autores concluíram que o limite máximo considerado aceitável para boa aplicabilidade da tinta é de 400 cp. Cardoso (2015), ao analisar as formulações geradas para tintas elaboradas com pigmento de solos, observou a necessidade de elevar os níveis de solvente para diminuir a viscosidade de suas amostras.

Na presente etapa da pesquisa, a viscosidade final de cada amostra foi alcançada através da variação da quantidade de solventes adicionados às misturas, a fim de alcançar uma consistência similar às de tintas convencionais e das tintas elaboradas com terras e argilas por Faria (2015) e Cardoso (2015). Portanto, a viscosidade de cada amostra foi medida com viscosímetro Copo Ford (marca Quimis, modelo Q280) com orifício de número 4 (diâmetro 4,115 mm), conforme o método NBR 5849 (ABNT, 2015). Foram realizadas três medidas em cada amostra com temperatura de $25 \text{ }^\circ\text{C} \pm 1$, sendo adotado o resultado obtido através da média das três medidas.

pH

Segundo Yamak (2013), o pH considerado ideal para emulsões que utilizam resina de PVA está compreendido entre 4,5 e 5,5, enquanto o pH considerado ideal para emulsões que utilizam PVA e etanol está compreendido entre 5,0 e 6,5 (FAO, 2004), denominado “PVOH” por Cardoso *et al.* (2016), que adotaram o limite máximo de 5,5 para suas amostras de tintas elaboradas com pigmento de solos.

Cardoso (2015), ao analisar as formulações geradas para suas amostras de tinta com pigmento de solos, concluiu que pHs elevados comprometem a ação da resina PVA. Segundo Silva Júnior (2006), o aumento do pH aumenta a solubilidade das resinas poliméricas.

Sendo assim, na etapa experimental da pesquisa consideramos reformular as misturas avaliando o pH da interação final entre todos os componentes. O pH cada amostra foi medido com pHmetro digital da marca Digimed (modelo DM-23).

RAU

Segundo NBR 15079-1 (ABNT, 2021), as tintas látex de classificação econômica apresentam limite mínimo de 100 ciclos de escovação no ensaio de resistência à abrasão (RAU), cujos procedimentos são descritos pela NBR 15078 (ABNT, 2004).

O estudo elaborado por Cardoso (2015) comprovou que, para obter RAU acima de 100 ciclos, é necessário elevar os níveis de água e álcool, e reduzir os níveis de PVA nas 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 amostras conforme NBR 15078 (ABNT, 2004), a fim de analisar as interações entre os componentes e as variáveis em questão.

Resultados

Viscosidade, pH e RAU

Diferente das tintas com pigmento de solos elaboradas por Cardoso (2015), cuja viscosidade dinâmica (μ) considerada aceitável para boa aplicabilidade da tinta é de 400 cp (no máximo), as tintas elaboradas com pigmento vegetal de curcumina apresentaram viscosidade dinâmica (μ) considerada aceitável entre 70 cp

(mínimo) e 160 cp (máximo). Ou seja, as amostras em que a viscosidade ultrapassou os 160 cp apresentaram misturas pouco viscosas, que prejudicaram a aplicabilidade no substrato. Em contrapartida, as amostras com viscosidade abaixo de 70 cp apresentaram misturas mais líquidas, apresentando respingos durante a aplicação e baixa aderência no substrato.

A Tabela 3 apresenta os valores de viscosidade, pH e RAU para cada mistura, em que estão destacados em negrito os valores encontrados dentro dos limites considerados aceitáveis.

A Figura 4 apresenta os gráficos gerados pelo software Minitab 20.4, que mostram como o teor (volume) de cada componente afeta diretamente as variáveis-resposta.

Equações de Regressão

As equações de regressão para as variáveis-resposta viscosidade, pH e RAU estão apresentadas na Tabela 4, considerando as interações significativas (p -valor $<0,05$).

Tabela 3 - Viscosidade, pH e RAU

Mistura	Viscosidade μ μ (cp)	pH	RAU
1	133,2	12,2	137
2	158,83	4,6	217
3	58,04	4,4	54
4	85,11	4,3	66
5	52,42	4,2	56
6	79,48	12	220
7	84,9	12	128
8	59,67	4,2	59
9	72,82	12	123
10	48,6	4,4	48
11	60,69	4,5	60
12	97,04	12	186
13	67,9	4,5	114
14	80,07	4,5	102
15	60,9	4,7	104
16	69,73	11,9	120
17	65,27	12	113
18	62,92	12	124
19	60,57	4,3	51
20	67,7	11,7	138
21	84,85	11,9	163
22	65,64	4,4	77
23	69,63	11,7	121
24	63,58	4,6	101
25	74,49	4,7	69
26	58,24	11,8	107
27	71,45	11,8	118
28	62,93	11,7	145
29	65,42	11,7	270
30	59,62	4,4	180
31	64,82	11,4	152
32	69,08	12,1	196
33	68,75	8,7	136
34	57,23	10,7	140
35	70,55	11,3	88
36	57,08	11,1	110

Figura 4 - Conjunto de gráficos componentes x variáveis-resposta

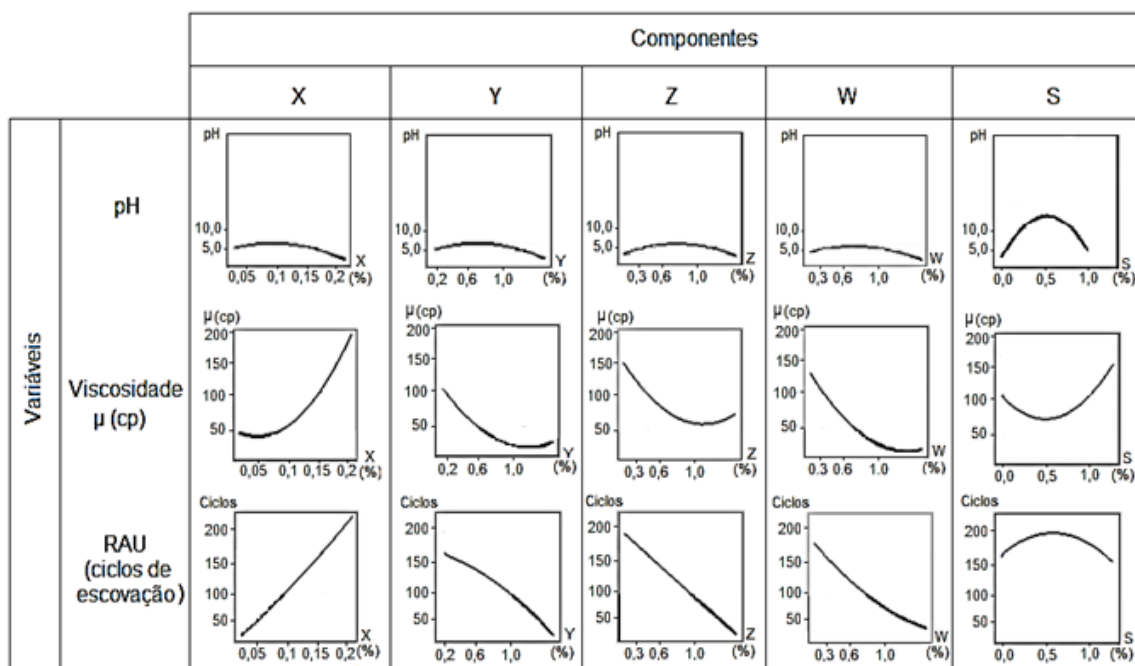


Tabela 4 - Equações de regressão para as variáveis-resposta

Variável resposta	Equação de Regressão	R ²
Viscosidade	$\hat{y} = 152,57X + 57,56Y + 84,86Z + 52,58W + 130,57S - 147,2XY - 127,7XZ - 132,3XW - 181,9XS - 93,4YS - 94,1ZS$	93,28%
pH	$\hat{y} = 4,14X + 4,35Y + 4,36Z + 4,24W + 10,63S + 22,16XS + 23,06YS + 23,69ZS + 23,71WS$	87,34%
RAU	$\hat{y} = 197,6X + 47,9Y + 49,3Z + 59,3W + 141,0S + 338,0WS$	60,40%

Nota: Fatores X: pigmento; Y: solvente; Z: aglutinante; W: aditivo; e S: bactericida.

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.

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 desta 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 números de ciclos de abrasão elevados, é 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 indiretamente um efeito positivo. Portanto, recomenda-se adotar níveis mais altos do fator S para obter resultados elevados de RAU.

Segundo os resultados das análises das variáveis-resposta, 33% das misturas elaboradas com pigmento de *Curcuma Longa L.* apresentaram viscosidade entre 70 e 160 cp, 19% das misturas apresentaram pH entre 4,5 e 5,5, e 72% das misturas apresentaram $RAU \geq 100$ ciclos de escovação.

Processo de otimização

A fim de encontrar a mistura que melhor representa a otimização conjunta das variáveis-resposta, o presente estudo considerou elaborar uma análise de otimização de resposta adotando o mesmo peso para as três

variáveis analisadas através do software Minitab 20.4. Assim, a Tabela 5 apresenta os parâmetros estabelecidos para gerar uma solução global.

Inseridos os parâmetros, o software Minitab 20.4 ajustou os dados para enquadrar simultaneamente as três variáveis-resposta através do método *Desirability* (d), comumente utilizado para determinar as melhores condições de ajuste de processo, otimizando simultaneamente as múltiplas respostas (Wang; Wan, 2009). Segundo Paiva (2008), o valor de “d” 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, segundo o autor, quanto mais próximo de 1 (100%), mais próximas as respostas originais estarão de seus respectivos limites de especificação.

Após avaliar os dados e os parâmetros inseridos, o software Minitab 20.4 encontrou um ajuste de modelo considerado ótimo (d=97%) para cada variável (Figura 5), 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.

Assim, o software Minitab 20.4 gerou um modelo chamado “gráfico de otimização”, que encaixa todos os gráficos relacionando o resultado encontrado considerado como composição desejável (97%) e as variáveis-resposta, a fim de apresentar quantidades consideradas ideais de cada componente (Figura 6). No modelo, as linhas verticais vermelhas nos gráficos representam as quantidades ideais de cada componente, enquanto 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.

A Tabela 6 apresenta as respostas previstas e a solução global gerada pelo software Minitab 20.4.

A solução global enquadrou as variáveis-resposta nos limites especificados, visando a otimização e o melhor reajuste dos modelos. Portanto, 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. Dessa forma, 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).

Dentre as 36 amostras elaboradas no delineamento experimental, apenas uma alcançou os resultados dentro dos limites estipulados para as três variáveis analisadas. Trata-se da amostra de número 2, que 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 amostra considerada ideal para a elaboração de tinta artesanal com pigmento de *Curcuma Longa L*. Tal amostra, apesar de não utilizar o agente bactericida em sua composição, apresenta valores mínimos de solvente, aglutinante e aditivo, e valor máximo de pigmento. A solução global gerada pelo software Minitab 20.4 apresentou quantidades dos componentes similares às quantidades da mistura de número 2, comprovando a validade do delineamento experimental.

Tabela 5 - 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

Figura 5 - Ajuste do modelo para cada componente

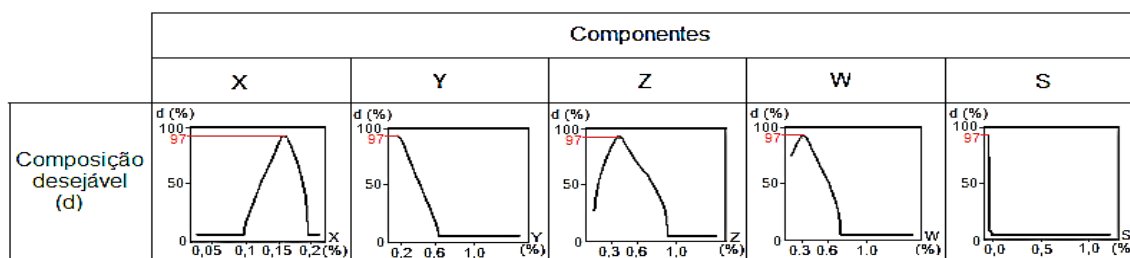


Figura 6 - Processo de otimização das variáveis-resposta

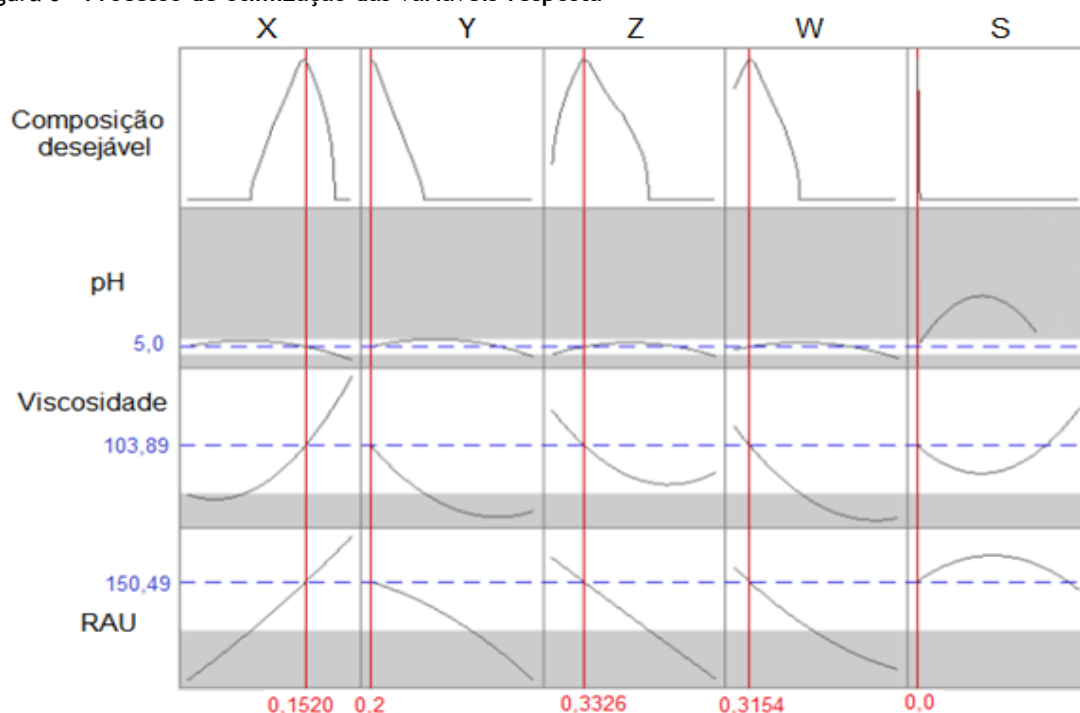


Tabela 6 - Respostas previstas e Solução Global

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	

Nota: Fatores x: pigmento; y: solvente; z: aglutinante; w: aditivo; e s: bactericida.

Conclusões

Conclui-se que o pigmento representa um fator relevante não somente no cumprimento de suas funções comuns na composição de uma tinta (proporcionar a coloração e proteger o aglutinante), mas também é capaz de influenciar a viscosidade e a capacidade da tinta em resistir às escovações ou ao atrito quando aplicada em paredes internas.

A adição do kakishibu nas misturas como aditivo conservador de cor elevou a viscosidade das amostras e reduziu o pH devido à sua elevada acidez, gerando resultados satisfatórios de RAU, já que o pH elevado compromete a ação da resina PVA conforme os dados coletados em revisão bibliográfica.

Componentes como solvente, aglutinante e aditivo apresentaram resultados insatisfatórios quando utilizados em proporções mínimas e máximas, indicando a necessidade de encontrar proporções intermediárias para atingir o equilíbrio na mistura, alcançar viscosidade apropriada, resistência à abrasão acima de 100 ciclos de escovação, e para evitar gastos desnecessários com PVA, considerado o componente com o custo mais elevado em uma tinta artesanal.

Através dos resultados, o presente estudo pretende alavancar futuras pesquisas na área das tintas imobiliárias elaboradas com pigmento de curcumina e aditivo kakishibu, apresentando os resultados iniciais de avaliação das características básicas de amostras e viabilizando a aplicação artística das tintas em paredes internas através de pinturas murais. Ainda, pretende-se estimular o interesse sobre as possibilidades de elaborar tintas imobiliárias com outros tipos de cromóforos, como antocianinas, betalaínas, bixinas, bem como incentivar a continuidade dos estudos sobre o uso da *Curcuma Longa L.* na elaboração de tintas imobiliárias através de outros tipos de ensaios, como de resistência à proliferação de fungos e bactérias, poder de cobertura da tinta úmida (PCU) e seca (PCS), entre outros, utilizando como base os dados e resultados apresentados no presente estudo.

Referências

- ALVARENGA, D. **Curso de tintas a partir de pigmentos minerais**. Belo Horizonte: Fundação IBI – Tecnologias Alternativas, 2006.
- ARAÚJO, J. M. A. **Química de alimentos: teoria e prática**. 4. ed. Viçosa: UFV, 2008.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15078**: tintas para construção civil: método para avaliação de desempenho de tintas para edificações não industriais: determinação da resistência à abrasão úmida sem pasta abrasiva. Rio de Janeiro, 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15079-1**: tintas para construção civil: requisitos mínimos de desempenho: parte 1: tinta látex fosca nas cores claras. Rio de Janeiro, 2021.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5849**: tintas: determinação de viscosidade pelo copo Ford. Rio de Janeiro, 2015.
- CAMÕES, A.; EIRES, R.; JALALI, S. Old materials and techniques to improve the durability of earth buildings. **Key Engineering Materials Journal**, Guimarães, v. 634, 2012.
- CARDOSO, F. de P. *et al.* Processos de produção e avaliação de requisitos de desempenho de tintas para a construção civil com pigmentos de solos. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 16, n. 4, p. 167-183, out./dez. 2016.
- CARDOSO, F. P. **Desenvolvimento de processos de produção e avaliação do desempenho de tintas para a construção civil manufaturadas com pigmentos de solos**. Viçosa, 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2015.
- COELHO, A. Z. G.; TORGAL, F. P.; JALALI, S. **A cal na construção**. Guimarães: Editora TecMinho, 2009.
- DAMASCENO, S. M. B., SILVA, F. T. F. da, FRANCISCO, A. C. de. Sustentabilidade do processo de tingimento do tecido de algodão orgânico. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 30. São Paulo, 2010. **Anais [...]** São Paulo, 2010.
- FARIA, F. C. **Produção de tintas naturais para construção civil: testes de preparação, aplicação e avaliação do intemperismo acelerado**. Curitiba, 2015. 118 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015.
- 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., Roma, 2004. **Proceedings [...]** Roma, 2004.
- GARDNER, W. M. **The natural dye sections of wool dyeing**: part II. Philadelphia: Posselt Publisher, 1998.
- KYUNG-SOO, K.; SEON-HO, K.; LEE, H. J. **Method for producing fermentation broth of persimmon tannin**. Seoul: Seoul National University, 2009.
- LOPES, M. M. S. *et al.* Avaliação do desempenho de tintas para construção civil a base de resíduo de granito. In: CONGRESSO ANUAL DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE METALURGIA, MATERIAIS E MINERAÇÃO, 72., São Paulo, 2017. **Anais [...]** São Paulo, 2017.
- MAHALANOBISH, D.; DEY, T. Use of natural colours in patachitras by the potua: a pilot study in the district of Midnapur, West Bengal. In: NATIONAL WORKSHOP AND SEMINAR ON “VEGETABLE DYE AND ITS APPLICATION ON TEXTILES”, West Bengal, 2011. **Proceedings [...]** West Bengal, 2011.
- 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**, v. 199, p. 83-89, 2002.
- MONTELEONE, J. **A moda, as cores e a representação feminina no Segundo Reinado (Rio de Janeiro, 1840-1889)**. 2016. Disponível em: http://www.dezenovevinte.net/arte%20decorativa/jm_moda.htm. Acesso em: 23 agosto 2020.
- NEIRA, D. S. M.; CARVALHO, M. Q. O uso do café como recurso natural para o tingimento têxtil. In: COLÓQUIO DE MODA, 13., Bauru, 2017. **Anais [...]** Bauru, 2017.

PAIVA, E. J. **Otimização de manufatura com múltiplas respostas baseadas em índices de capacidade.** Itajubá, 2008. Dissertação (Mestrado em Ciências e Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2008.

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

RIBEIRO, E. P.; SERAVALLI, E. A. G. **Química de alimentos.** 2. ed. São Paulo: Editora Edgard Blucher, 2008.

SÁUL, T. S. *et al.* Muralismo: arte, cultura e pós-humanismo. **Revista Educação, Artes e Inclusão**, v. 15, n. 2, jun. 2019.

SAXENA, S.; RAJA, M. S. A. **Natural dyes: sources, chemistry, application and sustainability issues.** 2014. Disponível em: <https://www.sustainabilityforschools.org/>. Acesso em: 20 maio 2020.

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

SILVA, M. G. da *et al.* Tingimento de têxteis com o corante natural extraído dos excrementos do bicho-da-seda. In: CONGRESSO CIENTÍFICO TÊXTIL E MODA: INOVAR PARA CRESCER, 4., Blumenau, 2016. **Anais [...]** Blumenau, 2016.

UEMOTO, K. L.; SILVA, J. **Caracterização de tintas látex para construção civil: diagnóstico do mercado do estado de São Paulo.** São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2005. Boletim Técnico.

VERONA, C. C. **Estudo do impacto da variabilidade de resinas alquídicas nas propriedades de tintas.** Dissertação (Mestrado profissionalizante em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

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, n. 3, p. 1253-1259, Feb. 2009.

YAMAK, H. B. **Emulsion Polymerization: effects of polymerization variables on the properties of vinyl acetate based emulsion polymers.** 2013. Disponível em: <https://www.intechopen.com/books/2384>. Acesso em: 13 maio 2022.

YOSHIOKA, S. *et al.* Inhibition of cariogenic factors of mutans streptococci by persimmon tannin. **Biocontrol Science**, v. 10, n. 4. p. 163-167, 2005.

Agradecimentos

Agradecemos à CAPES pelo financiamento desta pesquisa e aos artistas, pintores e artesãos Marcela Pagani, Emily Freitas, Jhon Bermond, coletivo Terra Coletiva, e Marion Rupp pelas informações referentes aos processos de extração de pigmentos e elaboração das tintas artesanais.

Fernanda Cardoso de Faria

Conceitualização, Curadoria de Dados, Recebimento de financiamento, Pesquisa, Metodologia, Administração do projeto, Redação do manuscrito original, Validação de dados e experimentos.

Departamento de Engenharia Civil | Universidade Federal do Paraná | Av. Cel. Francisco H. dos Santos, 100, Jardim das Américas | Curitiba - PR - Brasil | CEP 81530-000 | Tel.: (11) 94032-3604 | E-mail: ferr.cardoso@hotmail.com

Aloísio Leoni Schmid

Análise de dados, Metodologia, Supervisão, Design da apresentação de dados, Redação - revisão e edição.

Departamento de Engenharia Civil | Universidade Federal do Paraná | Tel.: (41) 9614-4261 | E-mail: aloisio.schmid@gmail.com

Isabela Pagani Heringer de Miranda

Análise de dados, Metodologia, Desenvolvimento, implementação e teste de software, Validação de dados e experimentos.

Departamento de Estatística | Universidade Federal de Alfenas | Rua Gabriel Monteiro da Silva, 700, Centro | Alfenas - MG - Brasil | CEP 37130-001 | Tel.: (35) 3701-9600 | E-mail: isabela.miranda@tjrr.jus.br

Editores: **Sérgio Francisco Santos e Marcelo Henrique Farias de Medeiros**

Editoras de seção: **Ercília Hitomi Hirota e Juliana Parise Baldauf**

Ambiente Construído

Revista da Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído

Av. Osvaldo Aranha, 99 - 3º andar, Centro

Porto Alegre - RS - Brasil

CEP 90035-190

Telefone: +55 (51) 3308-4084

www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido

www.scielo.br/ac

E-mail: ambienteconstruido@ufrgs.br



This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License.