

RESISTÊNCIA À ABRASÃO E PODER DE COBERTURA DE PINTURAS PRODUZIDAS COM PIGMENTOS OBTIDOS DE SOLOS

Fernando de Paula Cardoso¹, Leonardo Gonçalves Pedroti², Anôr Fiorini de Carvalho³, Milene Gil Duarte Casal⁴, Kai Loh⁵

¹Rede Ibero-americana PROTERRA, Brasil, fernandodepaulacardoso@gmail.com

²Departamento de Engenharia Civil, UFV – Universidade Federal de Viçosa; MG, Brasil, lpedroti.ufv@gmail.com

³Departamento de Solos, UFV – Universidade Federal de Viçosa; MG, Brasil, afiorini@ufv.br

⁴Laboratório Hercules – Universidade de Évora; Portugal, milenegil@uevora.pt

⁵Escola Politécnica – Universidade de São Paulo; SP, Brasil, kai.loh@usp.br

Palavras-chave: tintas látex, pigmentos inorgânicos naturais, desempenho

Resumo

As tintas látex produzidas artesanalmente com pigmentos obtidos de solos são cada vez mais difundidas no Brasil, apesar da carência de estudos científicos relacionados ao assunto. Nestas tintas, as características dos pigmentos interferem diretamente sobre o desempenho das pinturas, situação que representa um limite à apropriação da técnica pela população. O objetivo deste estudo é, portanto, analisar os efeitos das composições granulométrica e mineralógica de diferentes pigmentos obtidos de solos sobre a resistência à abrasão e o poder de cobertura deste tipo de pintura. Para tanto, foram preparadas amostras de tinta com diferentes tipos de pigmento e proporções de ligante. Estas tintas foram aplicadas em substratos especiais e as pinturas correspondentes foram caracterizadas quanto à rugosidade, à espessura e à microestrutura de suas superfícies. Em seguida, foi avaliado o desempenho quanto ao poder de cobertura e a resistência à abrasão. Os resultados alcançados demonstraram que pigmentos com elevadas proporções de silte ou pseudosilte resultaram em pinturas com elevadas resistências à abrasão e poderes de cobertura, sendo tais resultados também influenciados pelas propriedades ópticas dos pigmentos e o teor de pigmentos das tintas.

1 INTRODUÇÃO

As tintas látex produzidas artesanalmente com pigmentos obtidos de solos, poliacetato de vinila (PVAc) e água, são cada vez mais difundidas no Brasil, apesar da carência de estudos científicos relacionados ao assunto. Cardoso et al. (2016a) realizaram um estudo inicial com o objetivo de desenvolver um processo de produção e avaliar a resistência à abrasão e o poder de cobertura deste tipo de tinta; Faria e Schmid (2017) avaliaram a resistência à radiação UV, e condensação de água por ensaio acelerado; e Lopes *et al.* (2019) e Tressmann *et al.* (2020) avaliaram a resistência à abrasão e o poder de cobertura destas tintas produzidas com adições de resíduo de corte de granito e mármore, respectivamente.

Apesar da carência de estudos, cabe ressaltar a atuação do projeto Cores da Terra, sediado no Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa (UFV), que desde 2005 promove ações de pesquisa e difusão de técnicas de produção e aplicação de tintas formuladas com pigmentos obtidos de solos.

A criação do projeto foi inspirada na técnica tradicional de pintura conhecida como barreado, que consistia da aplicação da tabatinga (palavra de origem indígena tupi 'towa'tinga', que significa barro branco ou barro esbranquiçado) nas paredes das edificações com o uso de um pano úmido.

Diferente das tintas industrializadas, a aderência da tabatinga é promovida apenas pelas características superficiais das partículas das argilas e pela porosidade e rugosidade do substrato, insuficientes para garantir a resistência aos efeitos do intemperismo e outros agentes, demandando, portanto, manutenções frequentes.

Uma das possíveis soluções para este problema seria transformar o barreado em uma tinta propriamente dita, por meio da adição de materiais ligantes, como a cola de amido, popularmente conhecida como “grude”, ou o poliacetato de vinila (PVAc), a cola branca.

Estas soluções passaram a ser difundidas por meio de cursos e distribuição de cartilhas em atividades promovidas pela UFV e outras instituições.

A intensa difusão favoreceu o diálogo com os usuários, que passaram a contribuir com o desenvolvimento da técnica por meio de relatos de suas experiências. Muitos deles afirmaram, por exemplo, que com o “grude” era observado o mesmo problema apresentado pelo barreado. Muitos preferiam o PVAc, que garantia maior aderência, mas, por outro lado, era inacessível a uma parte da população devido ao seu custo. Outros já se referiam à rápida decantação dos pigmentos.

Tais situações motivaram a busca pelo conhecimento dos processos industriais de produção de tintas, que se deu por meio do estudo da literatura especializada, do contato com pesquisadores e fabricantes, e do acesso aos métodos de avaliação do desempenho recomendados tanto pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) quanto pela American Society for Testing and Materials (ASTM).

Esta nova abordagem foi adotada no ano de 2008, por meio da realização da primeira pesquisa científica conduzida pela equipe do projeto, com financiamento da Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG). Os resultados desta pesquisa mostraram que era possível definir dosagens com baixos teores de PVAc a partir da análise comparativa do desempenho das pinturas. Além disso, mostraram que a decantação dos pigmentos estava relacionada à existência de aglomerados de partículas e, além disso, de partículas indesejáveis, que deveriam ser eliminadas para melhorar a estabilidade das suspensões.

O conhecimento adquirido motivou a realização de uma segunda pesquisa (Cardoso *et al.*, 2016a), por meio da qual foram solucionados os principais problemas relacionados ao processo de produção das tintas e ao desempenho das pinturas.

Por meio desta pesquisa também se constatou que, para formulações idênticas, as características dos pigmentos interferem diretamente sobre o desempenho das pinturas. Tal situação se apresenta como um limite à apropriação da técnica pela população, considerando que uma mesma formulação pode acarretar diferentes desempenhos em função do tipo de pigmento empregado.

Portanto, o objetivo do presente estudo é analisar os efeitos das composições granulométrica e mineralógica de diferentes pigmentos obtidos de solos sobre a resistência à abrasão e o poder de cobertura de pinturas látex econômicas para edificações não industriais.

2 AS PROPRIEDADES DAS TINTAS LÁTEX PARA A CONSTRUÇÃO CIVIL

Silva e Uemoto (2005), em um diagnóstico realizado sobre cinco categorias de tintas látex, apresentam os valores mínimos e máximos dos principais requisitos de desempenho apresentados por tais produtos (tabela 1).

Tabela 1 - Valores mínimos e máximos de algumas propriedades de cada classe de tinta látex (adaptado de Silva e Uemoto, 2005, p.15)

Propriedade	Classe de tinta látex				
	Vinil acrílica	Látex PVA	Acrílica fosca	Acrílica acetinada	Acrílica semibrilho
Teor de ligante) (% (%, massa)	2,7 a 8,0	4,3 a 13,0	5,1 a 14,0	15,9 a 18,8	12,3 a 21,5
Teor de pigmentos (% (%, massa)	34,1 a 46,5	30,4 a 45,9	32,1 a 41,1	19,8 a 29,7	16,1 a 28,6
Resistência à abrasão úmida (ciclos)	6 a >1000	21 a >1000	>1000		
Poder de cobertura da tinta seca (m ² /L)	1,0 a 5,8	2,2 a 7,1	4,0 a 7,0	4,2 a 6,3	4,2 a 8,3

Os pigmentos são comercializados por massa, mas a propriedade de difundir a luz é garantida por seu volume (Braun, 1995). A relação de volume entre pigmento e ligante em uma pintura é descrita pela concentração volumétrica de pigmento (PVC), que é expressa em porcentagem conforme a equação 1.

$$PVC = \left(\frac{\text{Volume de pigmento}}{\text{Volume de pigmento} + \text{Volume de ligante}} \right) \times 100 \quad \text{Eq.1}$$

Quanto à PVC, as tintas látex comerciais com acabamento fosco empregadas na pintura de paredes são formuladas com PVC de aproximadamente 45%, conforme Learner *et al.* (2007); ou, conforme Waters (1997), PVC de 72% para as tintas látex de cor branca com acabamento fosco e de 35% para aquelas com acabamento semibrilho.

Resistência à abrasão e poder de cobertura

A NBR 15079 (2011) estabelece os requisitos e critérios mínimos para os três níveis de desempenho das tintas látex nas cores claras (econômica, standard fosca, premium fosca), quando utilizadas como acabamento em paredes, muros ou fachadas de edificações não industriais.

Dentre os métodos de ensaio determinados pela norma, aqueles especificados pelas NBRs 14942 e 15078 são os de interesse do presente trabalho: a NBR14942 (2012) apresenta o método para avaliação do poder de cobertura da pintura, que consiste do cálculo da área máxima aplicada, em metros quadrados por unidade de volume, que apresente razão de contraste de 98,5%; e a NBR15078 (2004) apresenta o método para a avaliação da resistência à abrasão úmida sem pasta abrasiva, que é a capacidade que uma pintura possui de resistir ao desgaste mecânico provocado por escovação realizada pela máquina de lavabilidade.

Os fatores determinantes do poder de cobertura são, conforme Schaeffer (1995), o tamanho das partículas dos pigmentos, o estado de sua dispersão e sua concentração (PVC). Ao diminuir o tamanho, o número de partículas e superfícies para reflexão e refração da luz aumenta, assim como a capacidade de dispersão da luz de um determinado volume de pigmento, existindo, portanto, um tamanho ótimo relacionado ao comprimento de onda da luz, no qual a máxima eficiência de espalhamento é obtida (Schaeffer, 1995). O comprimento de onda do espectro visível varia de aproximadamente 0,4 a 0,7 μm , com pico de luminosidade a 0,55 μm . A dispersão máxima da luz ocorre quando as partículas têm um tamanho de aproximadamente metade do comprimento de onda da luz e há uma grande diferença no índice de refração entre elas e o meio (Faulkner; Schwart, 2009). Conforme

Abel (1999), o tamanho é normalmente expresso como um diâmetro médio das partículas primárias predominantes. No entanto, partículas de pigmentos não são geralmente esféricas e, portanto, podem ter diferentes dimensões em função de suas formas, dependendo das medidas de comprimento, largura e altura, o que resulta em uma série de suposições e simplificações, que enquadram os pigmentos, em geral, entre 0,1 a 5 μm . Já os pigmentos empregados como extensores (os pigmentos conhecidos como extensores ou cargas têm, principalmente, a função de aumentar o poder de cobertura das tintas), predominantemente de origem inorgânica, podem alcançar até 50 μm . À medida que o tamanho das partículas aumenta, sua capacidade de dispersar a luz aumenta até um máximo e em seguida começa a diminuir. Esta capacidade de espalhar a luz é proporcional ao poder de cobertura do pigmento, ou seja, o poder de cobertura também atinge um máximo e diminui à medida que o tamanho da partícula aumenta (Abel, 1999). A opacidade resulta da dispersão da luz em uma interface entre substâncias com diferentes índices de refração (por exemplo, a interface entre ar e polímero, ou ar e pigmento). Tal dispersão e, logo, a opacidade, pode ser alcançada se a película for rugosa ou contiver grande número de espaços vazios (microporos), ou seja, se estiver formulada na concentração volumétrica crítica de pigmento (CPVC) (Stward *et al.*, 2000).

Considerando-se o fator tamanho, apenas a fração argila, que contém partículas de diâmetro menor ou igual a 2 μm , apresentaria opacidade suficiente para ocultar o substrato. Por outro lado, as partículas de silte, que possuem diâmetro entre 2 e 50 μm , podem atuar como extensores, promovendo o aumento do poder de cobertura.

Quanto à resistência à abrasão, este requisito não é uma propriedade única ou isolada de um material, mas sim relacionada a outras características físicas, como dureza, resistência à tração, coesão e elasticidade. Além disso, para manter sua função protetora ou decorativa, a espessura de um revestimento pode ser um fator importante (Morse, 1995), assim como a presença de partículas inertes entre os pigmentos (Mills, 1995).

A resistência à abrasão aumenta à medida que se aumenta a proporção de ligante. Tal efeito é explicado pelo recobrimento mais eficiente dos pigmentos promovido pela maior proporção de ligante. Por outro lado, ao aumentar a proporção de ligante, o poder de cobertura tende a diminuir devido à redução da PVC, que deixa os pigmentos mais dispersos no meio, prejudicando assim a ocultação do substrato (McGonigle; Ciullo, 1996).

Além disso, a polimerização do acetato de vinila ocorre em pHs entre 4 e 6. Fora desse limite, a polimerização é comprometida, limitando assim a capacidade do ligante de recobrir e proteger os pigmentos, afetando a resistência à abrasão (Standeven, 2011; Yamak, 2013).

3 MÉTODOS

3.1 Definição dos solos

Os critérios adotados para definir os solos empregados neste estudo foram a cor e as naturezas mineralógica e textural. Quanto à cor, embora os solos apresentem uma grande variedade cromática, buscou-se representar essa diversidade por meio de amostras com maiores ocorrências na região sudeste do território brasileiro. Quando às propriedades mineralógicas, foram escolhidos solos de dois grandes grupos: com mineralogias oxidada e caulinitica. E, quanto às propriedades texturais, foram escolhidos solos argilosos e siltosos. As classes dos solos (Embrapa, 2018) definidos, bem como as características relevantes para este estudo foram:

Gleissolo Melânico Tb Distrófico (GMD): mineralogia da fração argila essencialmente caulinitica; partículas com forma laminar, que facilitam o ajuste face-a-face onde as forças de Van der Waals e eletrostáticas se manifestam e aumentam a estabilidade dos agregados.

Argissolo Amarelo Distrocoeso (AAC): mineralogia da fração argila essencialmente caulinitica; baixo teor dos agentes cimentantes (óxidos), o que torna os agregados muito suscetíveis à desagregação.

Argissolo Amarelo Distrófico (AAD): mineralogia da fração argila essencialmente caulinitica; apesar de apresentar óxidos, este solo é considerado jovem e, portanto, a cimentação não estabilizou os agregados, facilitando assim a dispersão das partículas.

Latossolo Amarelo Distrófico (LAD): mineralogia da fração argila essencialmente caulinitica e, em menor escala, gibbsítica; agregados de partículas com matriz agregante estável.

Latossolo Vermelho Distrófico (LVD): material composto predominantemente por silte; as micas remanescentes das rochas de origem ainda conservam parte de suas estruturas e o tamanho das partículas permitem até mesmo serem reconhecidas a olho nu.

Latossolo Vermelho Distrófico Húmico (LVH): mineralogia da fração argila essencialmente oxidica; parte da argila dos agregados está tão estável que passa a se comportar como silte funcional (pseudosilte).

Latossolo Vermelho Acriférico Típico (LVA): mineralogia da fração argila essencialmente oxidica; parte da argila dos agregados está tão estável que passa a se comportar como silte funcional (pseudosilte).

3.2 Preparação dos pigmentos

A preparação dos pigmentos consistiu na remoção das partículas indesejáveis à produção de tintas, tais como a areia grossa e materiais orgânicos e na concentração das partículas desejáveis, tais como a argila e o silte. O processo (figura 1) foi realizado mecanicamente em meio líquido, por meio de procedimentos simples, reproduzíveis em escala não-industrial.

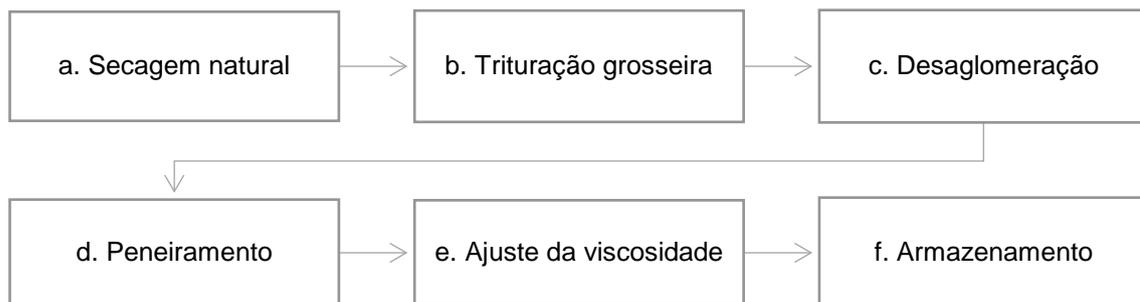


Figura 1 – Processo de preparação dos pigmentos

a. Secagem natural:

Após a coleta, os solos foram espalhados em superfície plana e expostos ao sol pelo prazo de 7 dias.

b. Trituração grosseira:

Após a secagem natural, os agregados foram triturados manualmente até serem reduzidos a fragmentos com diâmetro aproximado inferior a 5mm.

c. Desaglomeração

O material peneirado foi vertido em volumes de 30 litros por vez em recipientes com 60 litros de água; em seguida, o material foi desaglomerado mecanicamente pelo prazo aproximado de 45 minutos. A desaglomeração das partículas se fez por meio de discos cowles (dois discos com diâmetro de 140 mm e distância entre discos de 200 mm), fixos em haste metálica acoplada a um motor com potência de 1/3 CV, capaz de reproduzir 1500 rpm. O procedimento foi encerrado quando o vórtice criado pelo material em plena agitação se manteve estável (efeito de doughnut), indicando que a máxima desaglomeração foi alcançada.

d. Peneiramento

O material diluído foi peneirado em trama com aberturas de 0,177 mm (80 mesh ASTM). A escolha dessa trama é justificada por dois argumentos: retirar a fração areia grossa do

pigmento, que é prejudicial à estabilidade das suspensões devido à sua rápida decantação; e utilizar uma trama com aberturas encontradas em materiais disponíveis, amplamente comercializados e facilmente acessíveis à população apta a adotar processos de autoprodução de tintas, tais como tecidos, meias de nylon ou telas de silk-screen.

e. Ajuste da viscosidade

Os pigmentos diluídos foram mantidos em recipientes com capacidade de 90 litros por 24 horas. Após a decantação dos pigmentos, a água em excesso foi retirada por sifonamento e, sem seguida, realizada a homogeneização com o uso de misturador helicoidal acoplado em furadeira pelo prazo de 10 minutos. A viscosidade foi medida por meio de viscosímetro copo Ford (este tipo de viscosímetro pode ser reproduzido pelo usuário com materiais simples), equipado com orifício nº4 (4 mm de diâmetro), sendo considerada aceitável quando o tempo de passagem pelo orifício estava compreendido entre 12 e 14 segundos. Nos casos em que a viscosidade não correspondia ao especificado, foram realizados ajustes até se alcançar a viscosidade ideal.

f. Armazenamento

Após o ajuste da viscosidade, o material foi mantido nos respectivos recipientes devidamente lacrados.

Os pigmentos foram identificados de acordo com as classes dos solos dos quais foram obtidos.

3.3 Caracterização dos pigmentos

3.3.1 Composição granulométrica, densidade de partículas e superfície específica

As frações argila, silte e areia dos pigmentos foram quantificadas conforme o método da pipeta (Embrapa, 2017). Neste método, a dispersão das partículas é realizada quimicamente por meio da adição do NaOH, considerando que solos tropicais são altamente flocculados. A elevação do pH promovida pelo NaOH cria cargas negativas que são responsáveis pela dispersão das partículas primárias. Sem isso, os teores de silte e argila seriam, respectivamente, superestimados e subestimados. A densidade de partículas é a densidade relacionada ao volume efetivamente ocupado por matéria sólida, desconsiderando a porosidade, e foi calculada pelo método do picnômetro, conforme Embrapa (2017). E a superfície específica foi determinada conforme o método de adsorção de BET, por meio do equipamento da marca Quantachrome, modelo Nova 2200e, que se baseia no fenômeno de adsorção física de gases no exterior e superfícies internas de um material poroso.

3.3.2 Composição mineralógica

As análises foram realizadas por meio de difratômetro X'Pert PRO, com radiação de Co (CoK α) na faixa de 4 a 60 °2 θ , em intervalos de 0,01 °2 θ a 1 passo s⁻¹, com tensão de 40 kV e corrente de 30 mA. A preparação das amostras foi realizada de acordo com o método especificado pela Embrapa (2017) por meio de montagem orientada de amostras dos pigmentos.

3.3.3 Colorimetria

A medição das cores foi realizada por meio de espectrômetro de fluorescência de raios-x da marca Bruker, modelo Tracer III/IV SD. Para tornar o método de medição da cor reprodutível e representativo, as amostras foram secas na estufa a 100 °C até atingirem uma massa constante e armazenadas em seguida em ambiente seco. Em seguida, as amostras foram inseridas em cilindro de metal com cerca de 1 mm de profundidade e comprimidas com auxílio de uma prensa hidráulica, sendo obtidas superfícies planas comparáveis com uma área de, aproximadamente, 1 cm².

3.4 Formulação das tintas

As tintas foram produzidas com os pigmentos GMD, AAC, AAD, LAD, LVD, LVH e LVA; emulsão de poliacetato de vinila (PVAc) da marca Cascorez, categoria Universal, como ligante; e água como diluente. As proporções de ligante adotadas foram de 20, 40 e 60 % em massa seca (a emulsão de PVAc da marca Cascorez apresenta teor de sólidos de aproximadamente 50 %) calculadas em relação à massa de pigmento presente em cada suspensão. Estas proporções foram definidas de acordo com pesquisa realizada anteriormente (Cardoso et al., 2016a), sem recorrer, portanto, ao ensaio da absorção de óleo (ASTM D1483–12, 2016) para o cálculo da PVC (concentração volumétrica de pigmento) pois, devido à heterogeneidade dos pigmentos, as tentativas de cálculo produziram resultados extremamente discrepantes. No entanto, as PVCs foram calculadas a posteriori conforme a equação 1.

As proporções de diluente variaram em função das características dos pigmentos e das formulações das tintas, não sendo possível, portanto, defini-las a priori sendo estas proporções determinadas pela viscosidade.

As identificações das amostras formuladas (tabela 2) referem-se aos pigmentos (GMD, AAC, AAD, LAD, LVD, LVH e LVA) e às proporções de ligante (20, 40 e 60%).

Tabela 2 - Formulação final das tintas, concentração volumétrica de pigmento e pH

Tinta	Teor de (%)			PVC (%)	pH
	pigmento	ligante	diluente		
GMD20	26,70	5,34	67,96	67,74	4
GMD40	25,35	10,14	64,51	51,22	4
GMD60	24,13	14,48	61,40	41,18	4,05
AAC20	16,59	3,32	80,09	67,48	4,1
AAC40	16,06	6,42	77,52	50,92	4,07
AAC60	15,56	9,33	75,11	40,89	4,05
AAD20	21,23	4,25	74,53	68,81	4,67
AAD40	20,36	8,15	71,49	52,45	4,49
AAD60	19,57	11,74	68,69	42,37	5,09
LAD20	23,47	4,69	71,83	68,01	4,76
LAD40	22,42	8,97	68,61	51,52	4,66
LAD60	20,08	12,05	67,88	41,47	4,73
LVD20	32,11	6,42	61,47	68,81	4,52
LVD40	30,17	12,07	57,76	52,45	4,4
LVD60	28,45	17,07	54,48	42,37	4,19
LVH20	29,06	5,81	65,13	68,54	4,59
LVH40	27,46	10,98	61,55	52,14	4,35
LVH60	24,55	14,73	60,72	42,07	4,19
LVA20	25,69	5,14	69,18	67,22	5,01
LVA40	23,59	9,44	66,97	50,63	4,75
LVA60	21,37	12,82	65,81	40,60	4,64

3.5 Produção das tintas

O processo de produção constou das etapas apresentadas na figura 2.

a. Cálculo do teor de pigmentos (Embrapa, 2017)

Foram retiradas três alíquotas de cada dispersão após homogeneização com misturador helicoidal acoplado em furadeira pelo prazo de 10 minutos; em seguida, as alíquotas foram pesadas, levadas à estufa à 105°C por 24 horas e novamente pesadas.

b. Preparação das dispersões

Cada dispersão foi novamente homogeneizada com o uso de misturador helicoidal acoplado em furadeira pelo prazo de 10 minutos; em seguida, foi retirada de cada dispersão uma

amostra de aproximadamente 800 ml, que foi submetida à nova agitação com o disco cowles acoplado em agitador de bancada à 1500 rpm pelo tempo de 15 minutos.

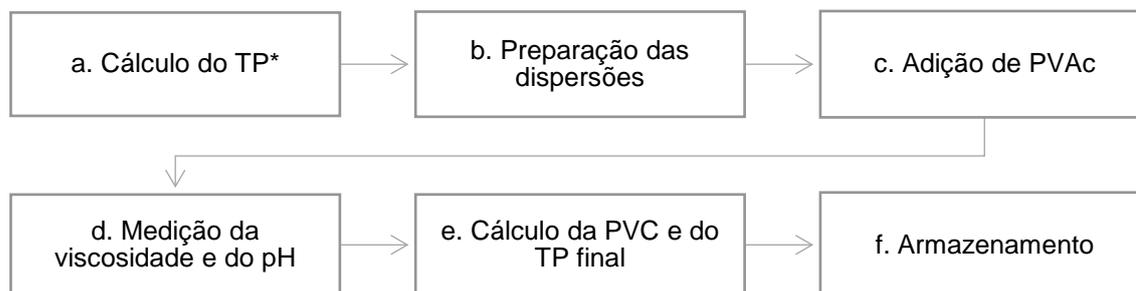


Figura 2 - Processo de produção das tintas.
Legenda: TP (Teor de Pigmento); PVC (Concentração Volumétrica de Pigmento)

c. Adição de PVAc

As respectivas dosagens de PVAc foram calculadas em função da massa de pigmentos presente em cada dispersão e adicionadas gradualmente, com o agitador de bancada equipado com o disco cowles em pleno funcionamento, a 500 rpm, pelo tempo de 15 minutos.

d. Medição da viscosidade e do pH

A medição da viscosidade foi realizada com viscosímetro copo Ford, equipado com orifício nº4, sendo a viscosidade considerada aceitável quando o tempo de passagem pelo orifício estava compreendido entre 14 e 16 segundos. A viscosidade ideal foi definida por meio de testes preliminares, nos quais foi avaliada a aplicabilidade das tintas por meio de rolos e pincéis, sendo considerada adequada aquela que resultava em tintas com cobertura homogênea sem escorrimentos excessivos ou a formação pinturas muito espessas. O pH foi medido com pHmetro da marca Digimed modelo DM-23 para fins de interpretação dos resultados obtidos das análises de desempenho das tintas.

e. Concentração volumétrica de pigmento (PVC)

Foi calculada com base nas formulações finais das tintas, conforme equação 1.

f. Armazenamento

As tintas foram armazenadas em recipientes com volume de 500 ml para envio ao laboratório responsável pela avaliação do desempenho conforme a NBR 15079 (2011).

3.6 Aplicação das tintas

Para avaliar o poder de cobertura, as tintas foram aplicadas por meio de um rolo de nylon sobre cartelas padronizadas, efetuando-se a medida das intensidades de luz refletidas até alcançar a razão de contraste de 98,5%, dependendo, para tanto, da aplicação de várias demãos se necessário, conforme NBR 14942 (2012). E, para avaliar a resistência à abrasão, as tintas foram aplicadas por meio de extensor no sentido longitudinal da placa de PVC com tempo de extensão de 3 a 5 segundos, conforme NBR 15078 (2004).

3.7 Caracterização das pinturas

A tinta é o material fluido composto por pigmento, ligante e diluente. Após a aplicação, seus componentes voláteis evaporam, restando uma camada composta por pigmento e ligante, chamada doravante de pintura. A rugosidade, a espessura e as microestrutura das superfícies das pinturas produzidas foram analisadas por meio de Fotografias macro (FM), Microscopia óptica (MO) e Microscopia eletrônica de varredura (MEV).

3.7.1 Rugosidade da superfície

As rugosidades foram obtidas das pinturas aplicadas sobre cartela Leneta 12H (NBR 14942, 2012). Elas foram iluminadas com luz rasante e fotografadas por meio de câmera da marca Nikon, modelo D5200, equipada com lente macro de 60 mm da marca Nikon, fixada em suporte rígido com regulagem de altura.

3.7.2 Espessura

As espessuras foram obtidas dos cortes estratigráficos das pinturas aplicadas sobre cartela Leneta 12H (NBR 14942, 2012) por meio de MO da marca Leica, modelo M205C, equipado com câmera e software para medição dos elementos de interesse. As medidas foram feitas em três diferentes pontos de cada amostra.

3.7.3 Análise das superfícies das pinturas por MO e MEV

As superfícies de sete pinturas selecionadas, sendo uma produzida com cada pigmento, aplicadas sobre cartela Leneta 12H (NBR 14942, 2012), foram analisadas por meio de MO da marca Leica, modelo M205C, equipado com câmera e software para processamento de imagens; e por MEV da marca Hitachi, modelo 3700N. A seleção se baseou nos extremos de desempenho apresentados quanto aos requisitos resistência à abrasão e poder de cobertura.

3.8 Avaliação da resistência à abrasão e do poder de cobertura das pinturas

A avaliação do desempenho foi realizada apenas quanto aos requisitos resistência à abrasão úmida sem pasta abrasiva (RAU) e o poder de cobertura da tinta seca (PCS), conforme as NBRs 15078 e 14942, respectivamente. Optou-se por excluir a avaliação quanto ao requisito poder de cobertura de tinta úmida (NBR 14943, 2018), considerado desnecessário para o presente estudo. Cabe ressaltar que a NBR15079 (2011) estabelece que os ensaios se destinam à avaliação do desempenho de tintas com cores claras (fator L, do sistema CIE $L^*a^*b^*$, ≥ 87). No entanto, apenas aquelas produzidas com o pigmento GMD atendem a esta condição. Portanto, na ausência de normas específicas para a avaliação do desempenho de tintas látex nas cores escuras, optou-se por usar os mesmos métodos indicados para as cores claras.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Resistência à abrasão e poder de cobertura

Para que o desempenho seja considerado satisfatório (NBR 15078, 2004), os requisitos devem ser atendidos simultaneamente, ou seja, a pintura deve apresentar PCS igual ou superior a 4 m²/L e RAU igual ou superior a 100 ciclos (figura 3).

Apenas pinturas produzidas com os pigmentos LVD, LVH e LVA atenderam simultaneamente aos dois requisitos, o que demonstra a aptidão dos pigmentos em questão, assim como a inaptidão dos pigmentos GMD, AAC, AAD e LAD, cujas pinturas ora não atenderam a nenhum dos requisitos, ora atenderam à apenas um deles. Além disso, as pinturas produzidas com os pigmentos LVD, LVH e LVA foram as que exigiram menores números de demãos (figura 4) para alcançar a razão de contraste estabelecida pela NBR 15079 (2011).

Naturalmente, quanto maiores as partículas, menor a superfície específica e, logo, uma menor proporção de ligante é necessária para recobrir os pigmentos, situação que está relacionada à PVC. As PVCs calculadas neste estudo serviram apenas para fins de comparação das pinturas em função da variação das proporções de ligante, sem considerar as propriedades superficiais de cada pigmento. Devido à heterogeneidade dos pigmentos, o cálculo da PVC por meio do teste de absorção de óleo, que permite a definição das proporções de ligante em função das propriedades de cada pigmento, gerou resultados extremamente discrepantes, que contrariavam a experiência obtida em estudos anteriores

(Cardoso et al., 2013; Cardoso et al., 2014b; Cardoso et al., 2014a; Cardoso, 2015; Cardoso et al., 2015; Cardoso et al., 2016a; Cardoso et al., 2016b). Portanto, as PVCs calculadas não consideram a composição granulométrica dos pigmentos. Logo, sabendo que as mesmas proporções de ligante foram empregadas na produção de todas as tintas, aquelas produzidas com pigmentos ricos em silte ou em microagregados de alta estabilidade (pseudosilte) podem ter apresentado uma PVC real menor que a daquelas produzidas com pigmentos ricos em argila. Tal hipótese se comprova pelas elevadas RAUs das pinturas produzidas com os pigmentos LVD, LVH e LVA formuladas com a menor proporção de ligante (20%) em detrimento das demais (produzidas com os pigmentos GMD, AAC, AAD e LAD), que só passaram a atender ao limite de 100 ciclos de abrasão nas formulações com 40% de ligante.

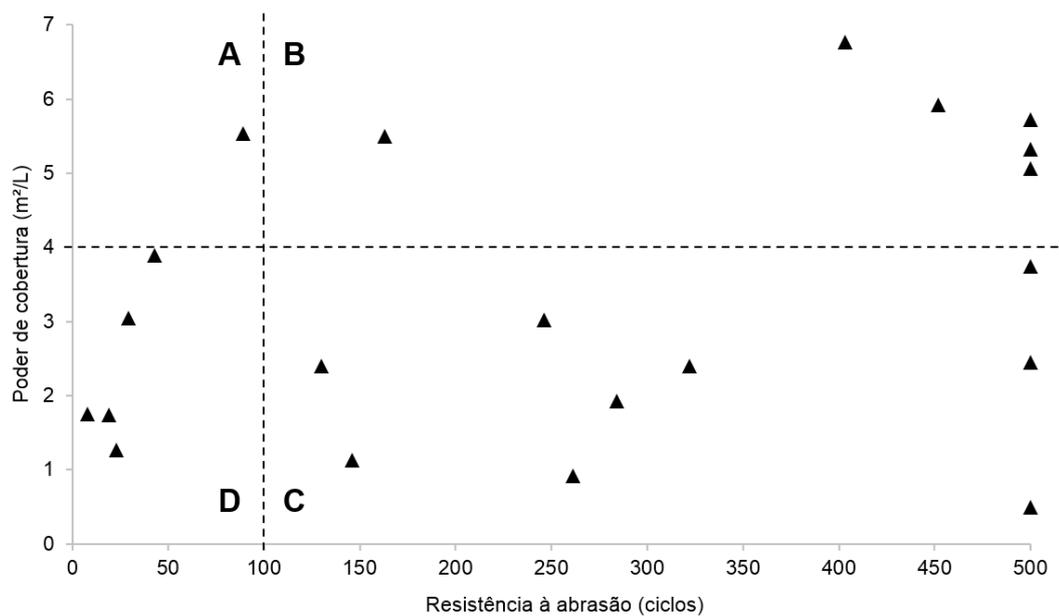


Figura 3 - Diagrama de dispersão do poder de cobertura da tinta seca pela resistência à abrasão úmida sem pasta abrasiva das 21 pinturas.

Legenda: A. Apenas PCS (pintura LVD20); B. PCS e RAU simultaneamente (pinturas LVD40, LVD60, LVH20, LVA20, LVA40 e LVA60); C. Apenas RAU (pinturas GMD40, GMD60, AAC60, AAD40, AAD60, LAD40, LAD60, LVH40 e LVH60); D. Nenhum dos requisitos (pinturas GMD20, AAC20, AAC40, AAD20 e LAD20)

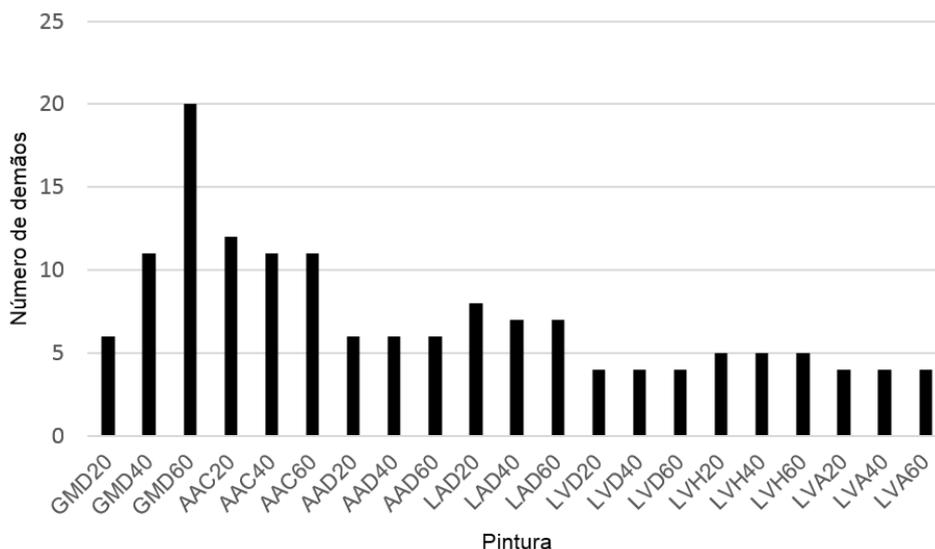


Figura 4 - Número de demãos aplicadas para alcançar a razão de contraste de 98,5% estabelecida pela NBR 15079 (2011)

Com uma menor superfície específica, o silte está menos susceptível aos efeitos dos ciclos de umedecimento e secagem, que promovem dilatações e contrações, fatores responsáveis pela degradação das pinturas. Considerando o caso extremo, que é o do pigmento LVD (77,3% de silte), suas partículas em forma lamelar se orientaram paralelamente ao substrato em camadas justapostas produzindo um efeito de blindagem (Siqueira, 2009).

Além disso, o exame das superfícies dos corpos de prova após o ensaio revela certo benefício dos agregados e aglomerados de partículas, em especial nas pinturas produzidas com os pigmentos LVH e LVA: à medida que a escova realiza a abrasão, os agregados e aglomerados são desgastados gradualmente, atuando como uma espécie de barreira ao desgaste da camada contínua da pintura. Isso ocorre devido à elevada resistência dos agregados dos solos LVH e LVA, que alcançam estabilidade com o tamanho do silte (pseudosilte).

Nas pinturas produzidas com os pigmentos GMD, AAC, AAD e LAD, o limite mínimo de 100 ciclos de abrasão foi alcançado apenas nas formulações com 40% e 60% de ligante. Tal situação revela que o recobrimento satisfatório das partículas destes pigmentos ocorreu com maiores proporções de ligante, o que pode estar relacionado à predominância de partículas de menor tamanho e à menor estabilidade dos agregados dos solos dos quais foram obtidos os pigmentos GMD, AAC, AAD e LAD.

As pinturas analisadas neste estudo apresentaram maiores PCSs para maiores PVCs, atendendo ou não ao limite mínimo estabelecido pela NBR 15079 (2011). E, naturalmente, à medida que a PVC diminuiu, o PCS também diminuiu, apenas mantendo-se acima do limite estabelecido (4 m²/L) as pinturas produzidas com os pigmentos LVD, LVH e LVA. As demais, produzidas com os pigmentos GMD, AAC, AAD e LAD, demandaram muitas demãos para alcançar a razão de contraste mínima, mesmo em elevadas PVCs e, ainda assim, não atenderam ao limite mínimo de 4 m²/L estabelecido pela NBR 15079.

O pigmento GMD é composto principalmente por caulinita, que apresenta índice de refração igual a 1,36. Sabe-se que a opacidade está relacionada ao índice de refração e que ela é proporcional à diferença entre o índice de refração do pigmento e o do meio em que está disperso/aplicado, ou seja, quanto maior o índice de refração do pigmento, maior a opacidade do revestimento (Abel, 1999) e, quanto maior a diferença entre os índices de refração do pigmento e o meio circundante, maior a dispersão da luz (Schaeffer, 1995; Broad et al., 1993).

Comparando-se o índice de refração da caulinita com os dos demais minerais constituintes dos pigmentos empregados neste estudo, tem-se 1,45 para o quartzo, 2,39 para a goethita, 2,93 para a hematita, 1,56 para a gibbsita, 2,34 para a magnetita e 2,40 para a ilmenita. Quanto menor o índice de refração dos pigmentos, maior a transparência da pintura, o que pode ser confirmado comparando-se as pinturas GMD60 e LVA60.

Em relação às pinturas produzidas com os pigmentos AAC, AAD e LAD, outro fator comprometeu o poder de cobertura: os baixos teores de pigmentos. Mesmo produzidas com pigmentos com altos índices de refração, suas elevadas superfícies específicas demandaram um maior volume de diluente para equilibrar a viscosidade das tintas. Esta situação resulta em uma maior diluição das tintas e, logo, em uma maior dispersão dos pigmentos. Portanto, mesmo aplicando-se um número elevado de demãos, as pinturas produzidas com estes pigmentos não ocultaram satisfatoriamente o substrato. Em situações similares, a indústria adiciona os pigmentos conhecidos como cargas ou extensores que, sendo inertes, aumentam o teor de pigmentos sem prejudicar a viscosidade das tintas. Tal medida foi comprovada experimentalmente nos estudos de Lopes *et al.* (2019) e Tressmann *et al.* (2020), baseados na adição de resíduos de corte de mármore e granito como cargas ou extensores minerais em tintas produzidas com pigmentos obtidos de solos.

E, quanto às pinturas produzidas com os pigmentos LVD, LVH e LVA, seus elevados PCSs estão relacionados aos mesmos fatores que garantiram suas elevadas RAUs: predominância da fração silte ou de microagregados de alta estabilidade (pseudosilte). E,

além disso, com seus elevados teores de sólidos, pois foram estas as pinturas que demandaram o menor volume de diluente para alcançar a viscosidade ideal.

Conforme Abel (1999), o diâmetro das partículas empregadas como extensores pode alcançar até 50 µm, o que coincide com o tamanho das partículas dos siltes. Com menor área superficial, é menor a demanda por ligante e, com isso, essas partículas não são apenas inerentemente mais opacas, mas é possível usá-las em concentrações mais altas sem afetar adversamente a viscosidade das tintas. Portanto, considerando a predominância da fração silte no pigmento LVD, e dos microagregados de alta estabilidade (pseudosilte) nos pigmentos LVH e LVA, a condição para alcançar elevados PCSs foi plenamente atendida.

5 CONCLUSÕES

Os pigmentos obtidos de solos com elevadas proporções de silte/pseudosilte promoveram elevadas RAUs, também beneficiando o PCS em conjunto com às propriedades ópticas dos pigmentos e o teor de pigmentos das tintas.

O desempenho das pinturas produzidas com os pigmentos LVD, LVH e LVA permite a classificação como standard fosca ou premium fosca, considerando apenas os requisitos RAU e PCS. Nestes casos em especial, estudos futuros poderão definir proporções mais econômicas de ligante que permitam a classificação das pinturas produzidas com estes tipos de pigmentos na categoria econômica, tornando a tecnologia ainda mais acessível à população.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABEL, A.G. (1999). Pigments for paint. In: LAMBOURNE, R.; STRIVENS, T.A. Paint and surface coatings: Theory and Practice. 2.ed. Cambridge: Woodhead Publishing Ltd.. cap. 3, p. 91-197.
- ASTM D1483–12 (2016). Standard test method for oil absorption of pigments by gardner-coleman method. USA: ASTM International.
- BRAUN, J.H. (1995). White pigments. In: KOLESKE, J.V. Paint and coating testing manual - Fourteenth edition of the Gardner - Sward Handbook. Ann Arbor: ASTM. cap. 19, p. 159-178.
- BROAD, R; POWER, C; SONEGO, A. (1993). Extender pigments. In: Surface coatings – Raw materials and their usage. London: Springer Science and Business Media Dordrecht. cap. 29, p. 514-529.
- CARDOSO, F.P. (2015). Desenvolvimento de processos de produção e avaliação do desempenho de tintas para a construção civil manufaturadas com pigmentos de solos. 2015. 154p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- CARDOSO, F.P.; ALVARENGA, R.C.S.S.; CARVALHO, A.F. (2015). Desenvolvimento de processos de produção e avaliação do desempenho de tintas para a construção civil manufaturadas com pigmentos de solos. In: Seminario Iberoamericano de Arquitectura y Construcción con Tierra, 15. Anais... Cuenca, Ecuador: Proyecto vIirCPM-Universidad de Cuenca/PROTERRA.
- CARDOSO, F.P.; ALVARENGA, R.C.S.S.; CARVALHO, A.F.; FONTES, M.P.F. (2016a). Processos de produção e avaliação de requisitos de desempenho de tintas para a construção civil com pigmentos de solos. Ambiente Construído, v. 16, n. 4, p. 167-183.
- CARDOSO, F.P.; ALVARENGA, R.C.S.S.; CARVALHO, A.F.; MENDES, T.S.G. (2016b). A influência da superfície específica e do teor de pigmentos de solos sobre o poder de cobertura de tintas para a construção civil. In: Congresso de Arquitetura e Construção com Terra, 6, Bauru. TerraBrasil 2016: Anais.... Bauru: Rede TerraBrasil; UNESP, p. 39-48.
- CARDOSO, F.P.; ALVARENGA, R.C.S.S.; CARVALHO, A.F.; FONTES, M.P.F. (2014a). Resistência à abrasão de tintas produzidas com pigmentos obtidos por dispersão mecânica e química de solo caulínico. In: Congresso de Arquitetura e Construção com Terra, 5, Viçosa. TerraBrasil. Anais.... Viçosa: Rede TerraBrasil; UFV, p.12-18.
- CARDOSO, F.P.; CARVALHO, A.F.; FONTES, M.P.F. (2014b). 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, Guimarães. CLB-MCS 2014: Anais.... Guimarães: Universidade do Minho.
- CARDOSO, F.P.; CARVALHO, A.F.; PIRES, F.J. (2013). Os efeitos da desagregação mecânica dos solos na qualidade das tintas imobiliárias produzidas a base de pigmentos e cargas minerais. In: Seminario Iberoamericano de Arquitectura y Construcción con Tierra, 13. Valparaíso: Duoc/PROTERRA.
- EMBRAPA (2017). Manual de métodos de análise de solo. Brasília: Embrapa, 3.ed.
- EMBRAPA (2018). Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília: Embrapa.
- FARIA, F.C.; SCHMID, A.L. (2017). Tintas naturais para a construção civil: ensaio de resistência ao intemperismo. Espaço Energia, Issue 26, 2017.
- FAULKNER, E. B.; SCHWARTZ, R. J. (2009). High performance pigments. Wienheim: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.
- LEARNER, T.J.S.; SMITHEN, P.; KRUEGER, J.W.; SCHILLING, M.R. (2007). Modern paints uncovered. Los Angeles: Getty Conservation Institute.
- LOPES, M.M.S.; ALVARENGA, R.C.S.S.; PEDROTI, L.G.; RIBEIRO, J.C.L.; CARVALHO, A.F.; CARDOSO, F.P.; MENDES, B.C. (2019). Influence of the incorporation of granite waste on the hiding power and abrasion resistance of soil pigment-based paints. Construction and Building Materials, v.205, p.463-474.
- MCGONIGLE, F.; CIULLO, P.A. (1996). Paints and coatings. In: CIULLO, P.A. Industrial minerals and their uses – A handbook and formulary. New Jersey: Noyes Publications. cap. 4, p. 99-155.
- MILLS, G.D. (1995). Particle-size measurements. In: KOLESKE, J.V. Paint and Coating Testing Manual Fourteenth Edition of the Gardner- Sward Handbook. Ann Arbor: ASTM. cap. 32, p. 305-332.
- MORSE, M.P. (1995). Abrasion resistance. In: KOLESKE, J.V. Paint and Coating Testing Manual Fourteenth Edition of the Gardner- Sward Handbook. Ann Arbor: ASTM. cap. 45, p. 525-533.
- NBR 14942 (2012). Tintas para construção civil. Método para avaliação de desempenho de tintas para edificações não industriais. Determinação do poder de cobertura de tinta seca. Brasil: Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- NBR 14943 (2018). Tintas para construção civil - Método para avaliação de desempenho de tintas para edificações não industriais - Determinação do poder de cobertura de tinta úmida. Brasil: Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- NBR 15078 (2004). Tintas para construção civil. Método para avaliação de desempenho de tintas para edificações não industriais. Determinação da resistência à abrasão úmida sem pasta abrasiva. Brasil: Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- NBR 15079 (2011). Tintas para construção civil. Especificação dos requisitos mínimos de desempenho de tintas para edificações não industriais. Brasil: Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- SCHAEFFER, L. (1995). Hiding power. In: KOLESKE, J.V. Paint and coating testing manual - Fourteenth edition of the Gardner - Sward Handbook. Ann Arbor: ASTM. cap. 42, p. 481-506.
- SILVA, J.; UEMOTO, K. L. (2005). Caracterização de tintas látex para construção civil: diagnóstico do mercado do estado de São Paulo. Boletim Técnico. SP: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
- SIQUEIRA, R.H.S. (2009). Caracterização do encrostamento superficial do solo cultivado com cafeeiros submetido ao controle de plantas daninhas com herbicida de pré-emergência. 2015. 66f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.
- STANDEVEN, H. A. L. (2011). House paints, 1900-1960: History and use. Los Angeles: Getty Conservation Institute.
- STEWART, P.A.; HEARN, J.; WILKINSON, M.C. (2000). An overview of polymer latex film formation and properties. Advances in colloid and interface science, n.86, p.195-267.
- TRESSMANN, D.M.G.A.; PEDROTI, L.G.; CARVALHO, A.F.; RIBEIRO, J.C.L.; CARDOSO, F.P.; LOPES, M.M.S.; OLIVEIRA, A.F.; FERREIRA, S.O. (2020). Research into the use of marble waste as

mineral filler in soil pigment-based paints and as an active pigment in waterborne paints. *Construction and building materials*, v.241, p.1-16, 2020.

WATERS, J.A. (1997). Latex paint formulations. In: ASUA, J.M. *Polymeric dispersions: principles and applications*. San Sebastián: Springer Science and Business Media Dordrecht. p.421-434.

YAMAK, H.B. (2013). Emulsion polymerization: Effects of polymerization variables on the properties of vinyl acetate-based emulsion polymers. *Polymer Science*, p. 35-72.

AUTORES

Fernando de Paula Cardoso, doutor em engenharia civil; mestre em engenharia civil; arquiteto; membro da Rede Ibero-Americana PROTERRA; pesquisa sobre tintas com pigmentos de solos desde 2006; projeta, capacita e constrói com terra; coordenou a Rede TerraBrasil (2017-2019); foi professor do curso de Tecnologia em Conservação e Restauro do IFMG - Ouro Preto e professor na Escola de Ofícios Tradicionais de Mariana. Currículo completo em <http://lattes.cnpq.br/0139431424276626>.

Leonardo Gonçalves Pedroti, doutor em engenharia e ciência dos materiais; mestre em estruturas; engenheiro civil; professor do curso de engenharia civil da Universidade Federal de Viçosa; tem experiência na área de Engenharia Civil, com ênfase em Engenharia Civil, atuando principalmente nos seguintes temas: cerâmica vermelha, resíduos, alvenaria estrutural, solo-cimento e concreto com adições de resíduos industriais. Currículo completo em <http://lattes.cnpq.br/8770106216994640>.

Anôr Fiorini de Carvalho, doutor e mestre em solos e nutrição de plantas; agrônomo; professor do Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa; tem experiência na área de Agronomia, com ênfase em Ciência do Solo, atuando principalmente nos seguintes temas: pesquisa e extensão sobre tintas à base de solos e agroecologia. Currículo completo em <http://lattes.cnpq.br/3776363148666390>.

Milene Gil Duarte Casal, doutora em conservação e restauração; conservadora-restauradora; pesquisadora vinculada ao Laboratório Hercules da Universidade de Évora, Portugal; especialista em conservação e restauração de pinturas murais. Mais informações em <https://www.researchgate.net/profile/Milene-Gil>.

Kai Loh, doutora e mestre em engenharia civil; química; pesquisadora do Departamento de Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo; especialista na área de tintas para construção civil, tintas à base de cal e cimento, estudos de coberturas frias ("cool roofs"), hidrofugantes, revestimentos frios e autolimpantes (fotocatálise), pigmentos frios, materiais nanoparticulados. Currículo completo em <http://lattes.cnpq.br/5252794657800781>.