AVALIAÇÃO DA DURABILIDADE DE TINTAS À BASE DE LAMA VERMELHA POR MEIO DO TESTE DE INTEMPERISMO NATURAL

Evaluation of the durability of red mud-based paints through natural weathering testing

Jean Carlos Bernardes Dias
Universidade Federal de Viçosa | Viçosa, Minas Gerais | jean.dias@ufv.br

Leonardo Gonçalves Pedroti
Universidade Federal de Viçosa | Viçosa, Minas Gerais | leonardo.pedroti@ufv.br

José Maria Franco de Carvalho
Universidade Federal de Viçosa | Viçosa, Minas Gerais | josemaria.carvalho@ufv.br

Ricardo André Fiorotti Peixoto
Universidade Federal de Ouro Preto | Ouro Preto, Minas Gerais | ricardofiorotti@ufop.edu.br

Márcia Maria Salgado Lopes Basso
Universidade Federal de Viçosa | Viçosa, Minas Gerais | marcia.salgado@ufv.br

Hellen Regina de Carvalho Veloso Moura
Universidade Federal de Viçosa | Viçosa, Minas Gerais | hellen.moura@ufv.br

Júlia Lopes Figueiredo
Universidade Federal de Viçosa | Viçosa, Minas Gerais | julia.l.figueiredo@ufv.br

RESUMO

O Brasil possui grandes reservas de bauxita, com 2,6 bilhões de toneladas e produção anual superior a 46 milhões de toneladas. A extração de alumina gera a lama vermelha, um resíduo que, se descartado inadequadamente, pode prejudicar a saúde e o meio ambiente. A utilização desse resíduo em novos produtos é uma alternativa sustentável. Sendo assim, este estudo avalia a produção de tintas ecológicas, utilizando lama vermelha como pigmento, água como solvente e resina PVA como ligante. Variou-se as proporções desses componentes (lama vermelha 25-35%, água 55-70%, resina 10-15%) e avaliou-se a durabilidade das tintas por meio de resistência ao intemperismo natural ao longo de seis meses de exposição. A tinta com melhor durabilidade é composta de 25% de lama vermelha, 65% de água e 10% de resina, com variação de cor de aproximadamente 2%. Os resultados mostram o potencial da lama vermelha no aproveitamento do resíduo.

Palavras-chave: Tintas ecológicas; Resíduo; Sustentabilidade

ABSTRACT

Brazil possesses significant bauxite reserves, totaling approximately 2.6 billion tons, with an annual production exceeding 46 million tons. The alumina extraction process generates red mud, a hazardous byproduct that poses risks to both the environment and public health if not properly managed. This study investigates the development of environmentally friendly paints using red mud as a pigment, water as the solvent, and polyvinyl acetate (PVA) resin as the binder. Formulations were prepared by varying the component ratios (red mud: 25–35%, water: 55–70%, resin: 10–15%) and evaluated for durability under natural weathering conditions over a six-month exposure period. The formulation containing 25% red mud, 65% water, and 10% PVA resin demonstrated the highest durability, with a color variation of approximately 2%. The results underscore the potential of red mud reuse in sustainable material development, contributing to waste reduction and environmental protection.

Keywords: Ecological paints; Waste; Sustainability

1 INTRODUÇÃO

Segundo a Associação Brasileira do Alumínio (2017), o Brasil possui uma das maiores reservas de bauxita do mundo, localizadas, especialmente, nos estados do Pará e Minas Gerais. As reservas brasileiras somam 2,6 bilhões de toneladas e, segundo o AMB (Anuário Mineral Brasileiro) (2022), sua produção anual chega a ser superior a 46 milhões de toneladas. Conforme Babisk *et al.* (2020), o Brasil é o décimo primeiro país produtor de alumínio primário e o terceiro, tanto na produção de alumina quanto na extração de bauxita, representando uma importante oportunidade econômica e de emprego para o país. Isso implica em uma grande preocupação com o resíduo gerado neste setor industrial, pois a quantidade é expressiva, podendo causar inúmeros impactos ao meio ambiente.

A bauxita é constituída de hidróxido de alumínio e algumas impurezas de ferro e silício, sendo que, 92% da produção mundial de bauxita é utilizada para extração da alumina, principalmente, pelo processo Bayer, que posteriormente será utilizada na fabricação do alumínio metálico (Alves, 2017).

O processo Bayer tem início com a mistura da bauxita triturada com uma solução de hidróxido de sódio em reatores (digestores). A bauxita dissolve-se formando uma solução de aluminato de sódio que é utilizada na produção da alumina. Os resíduos de óxidos de ferro e outros compostos presentes na bauxita são separados, gerando um resíduo insolúvel, denominado lama vermelha (Alves, 2017).

No Brasil, a quantidade de lama vermelha gerada varia de 10 a 25 milhões de toneladas/ano e seu descarte geralmente ocorre em barragens de rejeitos, gerando altos custos financeiros e ambientais, além do risco de inundação, contaminação subterrânea ou rompimento da barragem (Antunes *et al.*, 2021). Propõe-se, então, a aplicação da lama vermelha em tintas ecológicas destinadas à construção civil. Essa proposta visa minimizar o problema da falta de pintura que ocorre na maioria das edificações periurbanas brasileiras, advindo do elevado custo dos produtos voltados para o acabamento, além de ser uma alternativa que contribui para o desenvolvimento sustentável da construção.

Portanto, este trabalho tem como objetivo produzir e avaliar a durabilidade de tintas sustentáveis utilizando a lama vermelha, água e resina PVA, além disso, determinar as formulações das tintas com melhor durabilidades, mediante o ensaio de intemperismo natural.

2 METODOLOGIA

Inicialmente, coletou-se o resíduo na barragem de Bom Jardim, no município de Miraí, Minas Gerais. Posteriormente, a lama vermelha foi submetida à caracterização física, química e mineralógica, após o processo de desaglomeração (almofariz) e peneiramento na peneira ASTM 10 Mesh (abertura de 2,00 mm).

Posteriormente, a lama vermelha (Figura 1a) pas foi submetida a um processo de desaglomeração e dispersão mecânica das partículas em meio aquoso (Figura 1b). Em seguida, peneirou-se o material, em meio úmido, com peneira ASMT 100 Mesh (abertura de 0,15 mm).

Figura 1: (a) Lama vermelha seca, em diferentes faixas granulométricas; (b) Processo de desaglomeração e dispersão da lama vermelha.

(a) 

(b) 

Fonte: O Autor (2024).

Para a obtenção das proporções dos componentes das misturas, fez-se um planejamento de misturas ternário, com delineamento em vértice extremo, incluindo os pontos axiais e centrais. As variáveis

independentes do planejamento de mistura foram os pigmentos de lama vermelha variando de 25 a 35%, a resina, de 10 a 15% e a água, de 55 a 70%. Tais faixas de variação foram definidas tomando-se como base os teores de pigmentos e resina das tintas látex PVA comerciais estudadas por Silva e Uemoto (2005). A Tabela 1 apresenta o design do planejamento experimental.

Tabela 1: Proporções em massa dos constituintes das misturas obtidas.

Tratamento	Lama Vermelha	Água	Resina PVA
1	0,2750	0,5750	0,150
2	0,2875	0,5875	0,125
3	0,3250	0,5500	0,125
4	0,2500	0,6250	0,125
5	0,2500	0,6000	0,150
6	0,3500	0,5500	0,100
7	0,2500	0,6500	0,100
8	0,3000	0,6000	0,100
9	0,3000	0,5500	0,150

Fonte: O Autor (2024).

Por fim, para a produção das tintas, utilizou-se a resina poliacetato de vinila (PVA), cuja densidade é 1,05 g/cm³, pH na faixa de 4,0 à 5,0 e teor de sólidos de 46%. Conforme Cardoso *et al.* (2016), a utilização dessa resina apresenta resultados favoráveis quando misturados em determinados tipos de pigmentos de solos.

Para a determinação da durabilidade das tintas, realizou-se os ensaios de intemperismo natural, conforme a ASTM G7:2013 (Adaptada por Lopes (2018)). No ensaio de intemperismo natural, cada tratamento foi aplicado em um substrato de argamassa, com dimensões de 20x40 cm e 3 cm de espessura. Este ensaio foi realizado em duplicata, onde cada tratamento de tinta foi aplicado em 3 demãos. A estrutura na qual as placas foram fixadas foi orientada para o norte e possui uma inclinação de 20º em relação à vertical, visto que, o município de Viçosa (MG) encontra-se na latitude 20º45’14” S, de modo que as tintas ficassem expostas à incidência máxima de radiação solar por um período de 6 meses. Em seguida, as placas de argamassa foram cobertas no instante da fixação das placas, de modo que apenas metade da película de tinta ficasse exposta ao intemperismo (Figura 2).

Figura 2: Placas de argamassa pintadas cobertas parcialmente por chapa metálica.



Fonte: O Autor (2024).

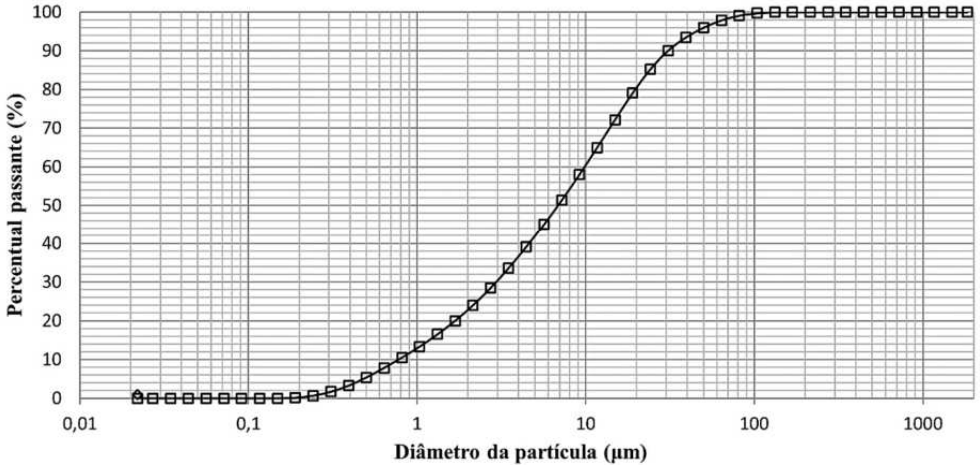
Posteriormente à fixação das placas, fez-se o monitoramento a cada 15 dias, no período de 6 meses, a fim de verificar o surgimento de manifestações patológicas nas películas de tintas. Ao fim da exposição, as chapas metálicas foram removidas e fez-se a comparação entre a parte exposta e a parte protegida.

A comparação entre as películas se deu por meio da determinação da diferença de cor pelo método Delta-E, cujo valor é compreendido entre 0 e 100 e representa a diferença euclidiana entre os espectros Vermelho, Verde e Azul no padrão de cores RGB (LOPES, 2018). Para isso, mediante o *software* Photoshop® fez-se a leitura dos valores de RGB em 10 pontos aleatórios da parte exposta e protegida a partir de fotografias retiradas no local de ensaio e, utilizando o software Delta-E Calculator (Colormine, 2018) determinou-se o valor Delta-E para cada mistura.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir do ensaio de granulometria a laser, criou-se a curva de distribuição granulométrica da lama vermelha, conforme apresentado na Figura 3.

Figura 3: Curva de distribuição granulométrica da lama vermelha.



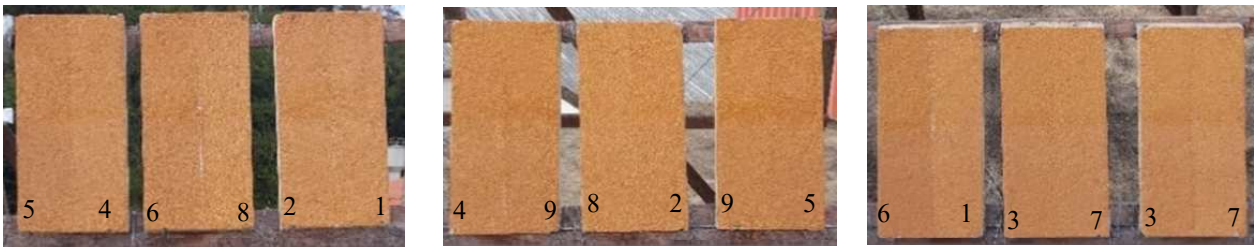
Fonte: O Autor (2024).

Observa-se que a lama vermelha apresentou um diâmetro médio (D50) correspondente a 7,69 µm. Conforme Moura (2023, *apud* DAROS, 2016), o tamanho dos pigmentos inertes comerciais apresenta granulometria na faixa de 0,01 a 44 µm.

Segundo Dumitru e Jitaru (2010), tanto a finura quanto a dispersão das cargas minerais em tintas, desempenham um papel importante na formulação destas, resultando em um bom poder de cobertura e estabilidade química. Desse modo, quanto maior a finura da carga mineral, melhores são as propriedades obtidas.

Em relação ao ensaio de intemperismo natural, na Figura 4 estão apresentadas as placas de argamassa pintadas com os tratamentos produzidos, após 6 meses de exposição.

Figura 4: Tratamentos após seis meses de exposição.



Fonte: O Autor (2024).

Os valores da diferença de cor entre a metade da película de tinta protegida pela chapa metálica e a metade da película de tinta exposta, obtidas pelo cálculo Delta-E, bem como as avaliações em relação às manifestações patológicas observadas, são apresentados na Tabela 2. Além disso, os dados meteorológicos de temperatura, umidade, radiação e precipitação, disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e obtidos pela estação automática A510, durante o período de análise, estão apresentados na Tabela 3.

Em conformidade com a Tabela 2 e a Tabela 3, observa-se que, apesar da umidade estar acima de 70%, valor condicionante para o surgimento e proliferação de bolores (MOURA, 2023), os tratamentos não apresentam descascamentos ou bolores no período investigado. Além disso, foram identificadas microfissuras na maioria, exceto os tratamentos 4 e 7, que possuíam menor teor de resíduo. As microfissuras surgiram no processo de secagem das tintas e intensificaram-se com as variações de temperatura, tal variação está relacionada com a mudança de uma estação com maior temperatura (outono) para uma estação com menor temperatura (inverno), entre os meses 2 e 4.

Tabela 2: Diferença de cor (Delta-E) e manifestações patológicas observadas nos tratamentos, em que, (A) Ausente e (P) Presente.

Tratamentos	Diferença de cor (Delta-E)	Manifestações patológicas		
		Microfissuras	Descascamento	Bolor
1	3,24	P	A	A
2	1,68	P	A	A
3	3,60	P	A	A
4	2,15	A	A	A
5	4,90	P	A	A
6	1,96	P	A	A
7	2,12	A	A	A
8	2,49	P	A	A
9	3,69	P	A	A

Fonte: O Autor (2024).

Tabela 3: Dados meteorológicos registrados pela estação automática A510, em Viçosa.

Mês/Ano	Temperatura (ºC)			Umidade (%)	Radiação (kJ/m²)	Precipitação (mm)	
	Média	Máxima	Mínima			Média	Máxima
Mês 1	22,36	31,10	16,00	82,34	1506,61	0,09	11,60
Mês 2	20,95	30,70	13,90	84,31	1152,65	0,12	36,40
Mês 3	18,03	27,30	8,70	84,61	1121,50	0,01	1,60
Mês 4	16,31	26,70	7,00	84,21	1069,41	0,01	0,80
Mês 5	17,17	29,20	6,00	81,62	1055,05	0,04	13,00
Mês 6	18,62	30,60	8,30	82,17	1130,15	0,10	14,20
Mês 7	19,76	27,90	11,90	78,50	1212,74	0,00	0,60

Fonte: O Autor (2024).

Conforme apresentado na Tabela 2, é possível observar que a maior parte dos tratamentos apresentaram valores de delta-E superior a dois. Esse valor indica que as variações de cor são perceptíveis ao olho humano (Colormine, 2018). Em conformidade com os resultados apresentados por Moura (2023), tal resultado pode estar relacionado à incidência da radiação UV pelos raios solares, haja visto que, a incidência de luz pode causar o desbotamento na película de tinta devido à fotodegradação de seus componentes (Matos, 2017).

Além disso, observa-se que tinta com melhor durabilidade é composta de 25% de lama vermelha, 65% de água e 10% de resina, com variação de cor de aproximadamente 2% e ausência de fissuras.

Sendo assim, observa-se que a tinta de lama vermelha de melhor durabilidade é composta de 25% de lama vermelha, 65% de água e 10% de resina pois apresenta baixo valor de delta-E em relação às demais e, além disso, não apresenta manifestações patológicas.

4 CONCLUSÃO

Ao final do período de 6 meses de exposição ao intemperismo natural, apesar da maioria das amostras apresentarem alterações de cor perceptíveis, observou-se que não houve a formação de bolor em nenhuma das pinturas, o que demonstra a ausência de fungos filamentosos no material.

Portanto, conclui-se que a utilização da lama vermelha na produção de tintas de baixo impacto ambiental é uma alternativa com potencial para garantir o aproveitamento do resíduo. No entanto, destaca-se a necessidade de estudos adicionais que considerem a vida útil das tintas e ofereçam garantias quanto ao seu desempenho a longo prazo.

5 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CAPES, à Universidade Federal de Viçosa e ao PPGEC - UFV pelo suporte essencial durante o desenvolvimento e a execução deste trabalho, em especial pelo financiamento da pesquisa, pela disponibilização de recursos e pelo apoio técnico e humano. Agradecem também ao Laboratório de Materiais de Construção Civil e ao grupo de pesquisa SICon-CNPq/UFV pelo suporte técnico e científico prestado.

REFERÊNCIAS

ALVES, Á. A. M. Extração de alumina — uma avaliação dos parâmetros influentes. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos) - Universidade Federal do Pará, Belém. 2017.

AMB. Anuário Mineral Brasileiro: principais substâncias metálicas. Brasília: ANM, 23p, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/anm/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/anuario-mineral/anuario-mineral-brasileiro/PreviaAMB2022.pdf>. Acesso em: 10 out. 2024.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. **ASTM G7-05**, Standard Practice forAtmospheric Environmental Exposure Testing of Nonmetallic Materials, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2005.

ANTUNES, M.L.P. *et al.*, Use of red mud activated at different temperatures as a low cost adsorbent of reactive dye. **Eng. Sanit. e Ambient**. 26, 805–811. 2021. https://doi.org/10.1590/s1413-415220180180.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO ALUMÍNIO. Bauxita no Brasil — Mineração responsável e competitividade. São Paulo, 2017.

BABISK, M.P. *et al.*, 2020. Evaluation and application of sintered red mud and its incorporated clay ceramics as materials for building construction. **J. Mater. Res. Technol**. 9, 2186–2195. https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2019.12.049

CARDOSO, F. P. *et al.*, de produção e avaliação de requisitos de desempenho de tintas para a construção civil com pigmentos de solos. **Ambiente Construído**, 16 (4), p. 109-125, 2016a.

COLORMINE. Delta-E Calculator. ColorMine.org, 2018. Disponível em: <http://colormine.org/delta-e-calculator/>. Acesso em: 15 nov. 2024.

DUMITRU, P.; JITARU, I. Improving hiding power obtained by variation of fillers for interior emulsion paints. **Rev. Chim. (Bucharest)**, v. 61, n. 5, p. 479-482, 2010.

LOPES, M. M. S. Utilização do resíduo de granito como carga mineral em tinta látex econômica para construção civil. 2018. 69 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2018.

MATOS, M. Uma visão química das Tintas Imobiliárias e sua questão ambiental. 2017. Disponível em: https://www.ufsj.edu.br/portal2-repositorio/File/coqui/TCC/Monografia-TCCMarianaMatos.pdf. Acesso em: 20 set. 2024.

MOURA, H. R. C. V. Influência dos aditivos biocidas e dispersantes no desempenho e na durabilidade de tintas látex produzidas com resíduo de granito. 2023. 90 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2023.

SILVA, J. M.; UEMOTO, K. L. 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, 2005.