



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal de Ouro Preto
Escola de Minas – Departamento de Engenharia Civil
Curso de Graduação em Engenharia Civil

José Lucas Barros Galvão

Tintas imobiliárias de baixo custo com o uso de Rejeitos de Barragens de Minério de Ferro

Ouro Preto,

2017

José Lucas Barros Galvão

Tintas imobiliárias de baixo custo com o uso de Rejeitos de Barragens de Minério de Ferro

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Ouro Preto como parte dos requisitos para a obtenção do Grau de Engenheiro Civil.

Orientadores: Prof. M.Sc. Júlia Castro Mendes

Prof. D.Sc. Ricardo André Fiorotti Peixoto

Ouro Preto,

2017

José Lucas Barros Galvão

Tintas imobiliárias de baixo custo com o uso de Rejeitos de Barragens de Minério de Ferro

Monografia apresentada como parte dos requisitos para a obtenção do Grau de Engenheiro Civil, defendida e aprovada em 10 de junho de 2017, pela banca examinadora constituída dos seguintes professores:

Prof. Júlia Castro Mendes (M.Sc.) – Orientadora – UFOP

Prof. Ricardo André Fiorotti Peixoto (D.Sc.) – Orientador – UFOP

Prof. Guilherme Jorge Brigolini da Silva (D.Sc.) –UFOP

[Espaço para ficha catalográfica]

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelas bênçãos em minha vida, por me dar forças para seguir em busca dos meus objetivos e nunca desistir dos meus sonhos! À minha mãe, meu maior exemplo, minha inspiração para ser cada dia melhor! Ao meu pai, pelos ensinamentos e por sempre acreditar no meu potencial! Aos meus irmãos, Pedro e Matheus; ao meu avô José Barros, aos tios, primos e amigos. Às famílias Morais, Barros e Galvão, muito obrigado! À minha madrinha Marli e minha avó Detinha que estão me protegendo lá do céu. À Lai por ter cuidado de mim e dos meus irmãos como se fossem seus filhos! Aos meus pilares de BH, em especial: Tia Karina, Tila Juninho, Tia Bela, Tio Adão, Vovó Deusdith, Lucia, Letícia, Nayan, Diogo e Lorena, muito obrigado pelo apoio e carinho. Aos amigos que a Engenharia Civil me proporcionou, em especial: André Niquini, Guilherme Zavitoski, Mathyas Calaes, Felipe Pereira, Matheus Verçosa e Douglas Tostes. À grandiosa República Quinta Negra, minha eterna casa, pelos irmãos que fiz, pelo companheirismo! Ao Grupo RECICLOS pela oportunidade de realizar o presente trabalho com o apoio em especial dos professores: Julia Castro Mendes, Ricardo Fiorotti e Guilherme Brigolini. À MG Mix, pela confiança, aprendizado e oportunidade profissional de estágio e trainee. "Nenhum obstáculo será grande, se sua vontade de vencer for maior!"

RESUMO

Os rejeitos de barragens de minérios de ferro (RBMF) são materiais cristalinos finos que não apresentam características perigosas. Somente no Brasil, existem 663 barragens de rejeitos, em 2015 uma ruptura de barragem levou à liberação 62.000.000 m³ de RBMF, várias vítimas e um impacto expressivo no Ecossistema. Assim sendo, oportunidades de reutilização deste material é imperativo hoje. O potencial de utilização de pintura sustentável por comunidades afetadas por barragens de rejeitos em todo o mundo é notável. Assim, o presente trabalho busca utilizar o RBMF como pigmento na produção de tintas de solo, aqui denominadas Tintas Sustentáveis. Foram elaboradas 17 composições (traços) de tintas utilizando: Água Potável, RBMF, Resina Acrílica, Cal, Cola Branca PVA, Cimento Portland CPV. Foram parâmetros testados: Variabilidade de Cor, Escurecimento, Resistência à abrasão e Custo/Kg. Os 7 melhores traços nos parâmetros técnicos foram testados em relação a durabilidade às intempéries externas e comparados com tintas comerciais Látex e Acrílica com tonalidades semelhantes. Como resultado, os RBMF se demonstraram alternativas viáveis baratas para pintura interna e externa. Com seus tons atraentes, as Tintas Sustentáveis são expressões ambientais visíveis. Este novo material não exige processamento ou adaptação ao método de produção apresentando excelentes resultados de durabilidade. Além disso, essas tintas surgem como uma solução para o uso dos nocivos Compostos Orgânicos Voláteis (COV) em tintas comuns e também contribuem para a redução dos impactos sociais e ambientais das barragens de rejeitos. Portanto, as tintas sustentáveis atendem aos usuários não apenas as expectativas econômicas e estéticas, mas também os seus desejos de sustentabilidade, ideologia e expressão social.

Palavras-chaves: Tintas Imobiliárias, Rejeitos de Barragens de Minério de Ferro, Tinta de solo; Materiais de Construção Civil Sustentáveis

ABSTRACT

Iron Ore Tailings (IOT) are fine and crystalline materials that do not exhibit dangerous characteristics. In Brazil alone, there are 663 tailings dams, in 2015 a dam rupture led to the release of 62,000,000 m³ of RBMF, several victims and a significant impact on the Ecosystem. Therefore, opportunities to reuse this material are imperative today. The potential for sustainable paint utilization by communities affected by tailings dams around the world is remarkable. Thus, the present work seeks to use the IOT as pigment in the production of soil paints, here called Sustainable Paints. Seventeen paint compositions were prepared using: Drinking Water, IOT, Acrylic Resin, Lime, PVA White Glue, CP-V Portland Cement. The following parameters were tested: Color Variability, Darkness, Abrasion Resistance and Cost / Kg. The 7 best mixtures in the technical parameters were tested for durability to external weather and compared with Latex and Acrylic commercial paints with similar shades. As a result, RBMFs have demonstrated inexpensive viable alternatives to indoor and outdoor paint. With their attractive shades, Sustainable Inks are visible environmental expressions. This new material does not require processing or adaptation to the production method presenting excellent durability results. In addition, these inks appear as a solution for the use of harmful Volatile Organic Compounds (VOCs) in common paints and also contribute to the reduction of social and environmental impacts of tailings dams. Therefore, sustainable paints serve users not only economic and aesthetic expectations, but also their desires for sustainability, ideology and social expression.

Keywords: Real Estate, Iron Ore Tailings, Soil Painting, Sustainable Building Materials

ÍNDICE DE IMAGENS

| | |
|--|----|
| Figura 1- FLUXOGRAMA TÍPICO DE TRATAMENTO DE MINÉRIO (Luz, et al., 2004)..... | 5 |
| Figura 2- PRINCIPAIS DESTINOS DE REJEITOS DA MINERAÇÃO NO ESTADO DE MINAS GERAIS. Fonte: (FEAM, 2011)..... | 6 |
| Figura 3- ÁREA AFETADA PELO ROMPIMENTO DA BARRAGEM NO DISTRITO DE BENTO RODRIGUES, EM MINAS GERAIS (Bombeiros-MG, 2015) | 7 |
| Figura 4- RBMF IN NATURA (Galvão & Mendes, 2017)..... | 8 |
| Figura 5- Combinação de efeitos que geram a opacidade (Fazenda, 2005) | 13 |
| Figura 6- RBMF APÓS 24 HORAS NA ESTUFA A 100°C | 20 |
| Figura 7- AGITADOR DE PENEIRAS PARA RECOLHER MATERIAL PASSANTE NA PENEIRA 100 | 21 |
| Figura 8- RBMF PASSANTE NA PENEIRA 100..... | 21 |
| Figura 9- CAL, RBMF, ÁGUA e PVA | 22 |
| Figura 10- PVA, RESINA, TINTA ACRÍLICA e TINTA LÁTEX | 22 |
| Figura 11- PESAGEM DE RBMF E ÁGUA | 24 |
| Figura 12- MISTURADOR COM RBMF E ÁGUA..... | 24 |
| Figura 13- TINTA SUSTENTÁVEL PRODUZIDA EM RECIPIENTE APÓS SAIR DO MISTURADOR..... | 25 |
| Figura 14- PLACAS DE PVC (13 X 18,5 cm)..... | 26 |
| Figura 15- ROLOS DE ESPUMA E RECIPIENTES PARA ARMAZENAR AS TINTAS | 26 |
| Figura 16- TINTA PARA TESTE NA PLACA DE PVC..... | 26 |
| Figura 17- TINTA APÓS APLICAÇÃO NA PLACA DE PVC | 26 |
| Figura 18- CÍRCULOS CROMÁTICOS RGB | 27 |
| Figura 19- Histograma da cor vermelha na imagem, Traço 14, desvio padrão de 4,41 | 28 |
| Figura 20- Histograma da cor vermelha na imagem, Traço 10, desvio padrão de 2,85 | 28 |
| Figura 21- LOCALIZAÇÃO DOS 5 PONTOS NAS IMAGENS DOS TRAÇOS. 29 | |
| Figura 22- DELTA-E CALCULATOR PARA TRAÇO 1..... | 30 |
| Figura 23- TESTE DE ABRASÃO EM EXECUÇÃO | 30 |

| | |
|--|--------------------------------------|
| Figura 24- PLACA APÓS EXECUÇÃO DO TESTE DE ABRASÃO DO TRAÇO 12 | 31 |
| Figura 25- MEDIÇÃO DAS PLACAS CIMENTÍCIAS NAS DIREÇÕES VERTICAL E HORIZONTAL | 32 |
| Figura 26- PESAGEM INICIAL DA TINTA E PRIMEIRA DEMÃO NA PLACA CIMENTÍCIA..... | 33 |
| Figura 27- PRIMEIRA DEMÃO COMPLETA DAS PLACAS PARA AMBIENTE INTERNO E EXTERNO | 33 |
| Figura 28- À ESQUERDA TRAÇO PVA E À DIREITA TRAÇO PVA+CAL..... | 35 |
| Figura 29- À ESQUERDA TRAÇO CAL E À DIREITA TRAÇO RESINA | 35 |
| Figura 30- À ESQUERDA TRAÇO CIMENTO E À DIREITA TINTA LÁTEX . | 35 |
| Figura 31- TINTA ACRÍLICA..... | Erro! Indicador não definido. |
| Figura 32- Traço PVA após 6 meses, à esquerda exposta no ambiente externo e à direita em ambiente interno | 43 |
| Figura 33- Traço PVA+ CAL após 6 meses, à esquerda exposta no ambiente externo e à direita em ambiente interno..... | 44 |
| Figura 34- Traço CAL após 6 meses, à esquerda exposta no ambiente externo e à direita em ambiente interno | 44 |
| Figura 35- Traço RESINA após 6 meses, à esquerda exposta no ambiente externo e à direita em ambiente interno | 45 |
| Figura 36- Traço CIMENTO após 6 meses, à esquerda exposta no ambiente externo e à direita em ambiente interno..... | 45 |
| Figura 37- Tinta Comercial Acrílica após 6 meses, à esquerda exposta no ambiente externo e à direita em ambiente interno..... | 46 |
| Figura 38- Tinta Comercial Látex após 6 meses, à esquerda exposta no ambiente externo e à direita em ambiente interno..... | 46 |

ÍNDICE DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1- Composição química média do rejeito de minério de ferro (Bastos, 2013) | 8 |
| | |
| Tabela 2- Teor de Umidade, Massa Específica Aparente do Agregado Seco e Massa Unitária | 9 |
| Tabela 3- Granulometria de solos | 14 |
| Tabela 4- Qualidade de tintas e tipos de solos (Carvalho, 2009) | 15 |
| Tabela 5- Sugestões de tratamento de superfícies (Carvalho, 2009) | 16 |
| Tabela 6- Traços de Tintas Sustentáveis | 23 |
| Tabela 7- Representação numérica RGB | 27 |
| Tabela 8- Custo de Insumos para produção | 31 |
| Tabela 9- Área das 15 placas em (m ²) | 33 |
| Tabela 10- Área das placas (m ²), Traço, Consumo (g), Consumo/demão (g/m ²), Média de Consumo (g/m ²), Custo (R\$/g) e Custo (R\$/m ²) .. Erro! Indicador não definido. | |

SUMÁRIO

| | |
|---|-----|
| Resumo | I |
| Abstract..... | II |
| Índice de Imagens | III |
| Índice de Tabelas | V |
| 1. Introdução..... | 1 |
| 1.1 Objetivos..... | 3 |
| 1.1.1 Objetivo geral..... | 3 |
| 1.1.2 Objetivos específicos | 3 |
| 1.2 Estrutura do Trabalho | 3 |
| 2. Revisão bibliográfica..... | 4 |
| 2.1 Rejeitos de barragens de minério de ferro | 4 |
| 2.1.1 Origem | 4 |
| 2.1.2 Composição..... | 7 |
| 2.1.3 Caracterização | 8 |
| 2.2 Tintas Imobiliárias | 10 |
| 2.2.1 Definição..... | 10 |
| 2.2.2 Componentes Básicos | 10 |
| 2.2.3 Proporcionamento dos componentes | 11 |
| 2.2.4 Parâmetros Técnicos | 12 |
| 2.3 Tintas de solos | 14 |
| 2.3.1 Definição..... | 14 |
| 2.3.2 Composição..... | 14 |
| 2.3.3 Aplicação | 16 |
| 2.4 Sistemas vinílicos (tinta latéx vinílica)..... | 17 |
| 2.4.1 Composição Básica..... | 17 |

| | | |
|-------|--|----|
| 2.4.2 | Aplicações | 17 |
| 2.4.3 | Características Técnicas | 17 |
| 2.5 | Sistemas Acrílicos (tinta látex acrílica) | 17 |
| 2.5.1 | Composição Básica | 17 |
| 2.5.2 | Aplicações | 18 |
| 2.5.3 | Características Técnicas | 18 |
| 2.6 | Tintas à base de cimento | 18 |
| 2.6.1 | Composição Básica | 18 |
| 2.6.2 | Aplicações | 18 |
| 2.6.3 | Características Técnicas | 19 |
| 3. | Metodologia..... | 20 |
| 3.1 | Preparação do rejeito de barragem de minério de ferro (rbmf) | 20 |
| 3.2 | Destorroamento do material..... | 20 |
| 3.3 | Separação granulométrica..... | 20 |
| 3.4 | Separação dos materiais dos traços..... | 21 |
| 3.5 | Produção de tintas | 23 |
| 3.6 | Avaliação visual..... | 25 |
| 3.7 | Placas de pvc para testes | 25 |
| 3.8 | Teste de variabilidade de cor | 26 |
| 3.9 | Teste de escuridade | 29 |
| 3.10 | Teste de resistência à abrasão..... | 30 |
| 3.11 | Custo..... | 31 |
| 3.12 | Seleção dos 5 melhores traços..... | 31 |
| 3.13 | Placas cimentícias | 32 |
| 3.14 | Pintura das placas cimentícias..... | 33 |
| 3.15 | Teste de durabilidade às intempéries | 34 |
| 4. | Resultados..... | 36 |

| | | |
|-----|--|----|
| 4.1 | Variabilidade de Cor | 36 |
| 4.2 | Teste de Escuridade | 37 |
| 4.3 | Teste de Resistência à Abrasão | 38 |
| 4.4 | Custo (R\$)..... | 39 |
| 4.5 | Gráfico Custo/kg (R\$/KG), Variabilidade de Cor e Resistência à Abrasão dos traços | 39 |
| 4.6 | Custo por área | 41 |
| 4.7 | Durabilidade às intempéries..... | 42 |
| 5. | Conclusão | 47 |
| 5.1 | Sugestão para Trabalhos Futuros | 48 |
| 6. | Bibliografia..... | 49 |
| 8. | ANEXO | 52 |
| 8.1 | Submissão para o prêmio LafargeHolcim (Lafarge-Holcim Awards - A Sustainable Paint with Iron Ore Tailings for buildings)..... | 52 |
| 8.2 | Submissão para 59ª Edição do Congresso Brasileiro do Concreto CBC2017 (Tintas Imobiliárias Sustentáveis baseadas em Rejeito de Barragem de Minério de Ferro) | 56 |

1. INTRODUÇÃO

Tinta é uma composição líquida, geralmente viscosa, constituída de um ou mais pigmentos dispersos em um aglomerante líquido que, após o processo de cura forma um filme aderente ao substrato com finalidade de proteção e embelezamento da superfície (Fazenda, 2005). Sua composição contém diversas substâncias, veículo, pigmentos, aditivos, água, solventes. Normalmente as partículas sólidas do pigmento encontram-se misturadas no componente volátil (água ou solventes orgânicos). Após o processo de cura no substrato, o componente volátil evapora, formando-se uma película sólida de revestimento.

O avanço da tecnologia possibilitou a evolução das resinas, pigmentos, aditivos e solventes; proporcionando uma extensa variedade de tipos de tintas para diferentes aplicações. Entre os diversos tipos, as tintas imobiliárias representam 79% do volume total de produção (662 milhões de litros) e 59% do faturamento do mercado de tintas no Brasil (792 milhões de dólares) (ABRAFATI, 2006). Elas garantem, assim, higienização dos ambientes, controle de luminosidade e conforto térmico nas edificações.

Por outro lado, as tintas imobiliárias industrializadas são responsáveis por uma grande emissão de COVs (Compostos Orgânicos Voláteis) que contribuem negativamente para o meio ambiente. Os COVs são definidos pela norma ASTM D 3960, “Standard Practice for Determining Volatile Organic Compound (VOC) Content of Paints and Related Coatings”, como sendo qualquer composto orgânico que participa de reações fotoquímicas na atmosfera. Entre as consequências da emissão de COVs causadas pela aplicação de tintas estão a formação do ozônio troposférico (responsável pela névoa fotoquímica urbana), poluição atmosférica, risco à saúde dos trabalhadores durante a pintura, redução da qualidade do ar presente no interior das edificações, e influência na saúde das pessoas que utilizam. (Uemoto, et al., 2006)

Como alternativa popular e sustentável para a redução das emissões de COVs causadas pelas tintas imobiliárias industrializadas, surgem as Tintas de Solos. Estas tintas são livres de COVs, e são à base de água. Os pigmentos são resultantes dos minerais e rochas; com uma ampla diversidade de cores. A qualidade da tinta está relacionada com o tamanho das partículas, solos que são mais argilosos (menores) promovem maior poder de

cobertura da superfície. Nesse sentido, os Rejeitos das Barragens de Minério de Ferro (RBMF) possuem características apropriadas para o desenvolvimento de tintas de solo, pelo alto índice de argilas e partículas essencialmente finas, encontrando-se na fração silte-argila (<0,075mm). (Andrade, 2014)

Os rejeitos são subprodutos da mineração e são armazenados em barragens de rejeitos. Com o crescimento da mineração, o volume de rejeitos tem aumentado dez vezes a cada 30 anos tendo uma previsão de 1,0 milhão de toneladas/dia em 2030 (Ávila, s.d.). Com isso, o crescimento do volume de rejeitos produzidos necessitam de aumento da altura das barragens proporcionando maiores riscos de ruptura.

Segundo o Cadastro Nacional de Barragens de Mineração da DNPM (Departamento Nacional de Produção Mineral), em 2014 o Brasil possuía 663 barragens de mineração cadastradas na DNPM. Destas, 402 inseridas na PNSB (Política Nacional de Segurança de Barragens) e 261 não estão inseridas no PNSB. Com 369 barragens, o estado de Minas Gerais possui o maior número de barragens no Brasil.

O índice de acidentes envolvendo a ruptura dessas barragens é preocupante, e nos últimos 15 anos já ocorreram 6 acidentes no estado de Minas Gerais. O maior acidente da história da mineração ocorreu no ano de 2015 no município de Mariana, com um volume de 60 milhões de metros cúbicos de rejeitos e um prejuízo ambiental incalculável (Ávila, s.d.).

Tendo em vista os impactos ambientais causados pelas tintas industriais, emissoras de COVs, utilizadas na construção civil e os rejeitos da mineração, causadores de prejuízos imensuráveis para a população e o meio ambiente, este trabalho busca desenvolver uma tinta para a construção civil utilizando RBMF. O rejeito será utilizado como pigmento de baixo custo na composição típica das tintas de solo, visando ao emprego em edificações de diversos tipos, como solução sustentável para o meio ambiente e a população.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Avaliar a viabilidade técnica e financeira do uso de RBMF (Rejeito de Barragem de Minério de Ferro) como pigmento na constituição de tintas sustentáveis utilizadas na construção civil.

1.1.2 Objetivos específicos

- Definir uma preparação de material adequada;
- Avaliar a melhor resina do ponto de vista técnico e econômico;
- Avaliar o melhor traço sob aspectos de durabilidade, consistência de cor, trabalhabilidade, rendimento e preço.

1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho de conclusão de curso está dividido em 6 capítulos e um anexo. Após a Introdução, o Capítulo 2 apresenta a Revisão Bibliográfica com os componentes básicos, proporcionamento, parâmetros técnicos, aplicações das Tintas Imobiliárias, Tintas de Solos, Tintas Latéx, Tintas Acrílica e Tintas à base de cimento. Assim como, a definição, composição e caracterização dos Rejeitos de Barragens de Minério de Ferro (RBMF). O capítulo seguinte, “Metodologia”, descreve as 15 etapas de preparação da Tinta Sustentável com RBMF como pigmento. Os Resultados de Variabilidade de Cor, Resistência à Abrasão, Custo e Escuridade das tintas produzidas são expostos e discutidos no capítulo 4 e a Conclusão deste trabalho é feita no capítulo 5, abrangendo a avaliação dos valores obtidos, possíveis limitações do uso, comparação com tintas comerciais e sugestões para trabalhos futuros. Após a Conclusão, segue a Bibliografia, com as referências literárias indispensáveis à realização deste.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 REJEITOS DE BARRAGENS DE MINÉRIO DE FERRO

2.1.1 Origem

O ferro (Fe) é o quarto elemento mais abundante na terra, sendo encontrado em várias classes minerais em concentrações que variam de 1% a até mais de 70% (Portes, 2013). O termo minério de ferro deve ser designado para se referir a um agregado de minerais que está sendo ou poderá ser explorado com vantagem econômica devido ao seu conteúdo de ferro (Portes, 2013).

Os principais minérios de ferro explorados no Brasil são a Hematita (Fe_2O_3) e o Itabirito, formações ferríferas compostas de hematita e quartzo (Andrade, 2014). A hematita possui teor de ferro de 60% e são comumente extraídas no estado do Pará, enquanto o Itabirito é extraído no Quadrilátero Ferrífero, em Minas Gerais, e possui teor de ferro em torno de 50% (Andrade, 2014).

Para a produção de ferro metálico, o processo de beneficiamento é necessário. O objetivo do beneficiamento é a redução e regularização da granulometria, remoção da ganga (parte do minério sem interesse econômico), concentrar ou purificar minérios por métodos físicos ou químicos sem alterar a constituição química dos minerais. Como consequência dessa etapa grandes massas e volumes misturados à água são gerados, dando origem aos rejeitos (Wolff, 2009).

Em um fluxograma típico de tratamento de minérios, as operações unitárias são assim classificadas (Luz, et al., 2004):

- Cominuição: britagem e moagem;
- Peneiramento (separação por tamanhos) e classificação (ciclonação, classificador espiral);
- Concentração gravítica, magnética, eletrostática, concentração por flotação, etc;
- Desaguamento: espessamento e filtração;
- Secador: secador rotativo, secador de leito fluidizado;
- Disposição de rejeito.

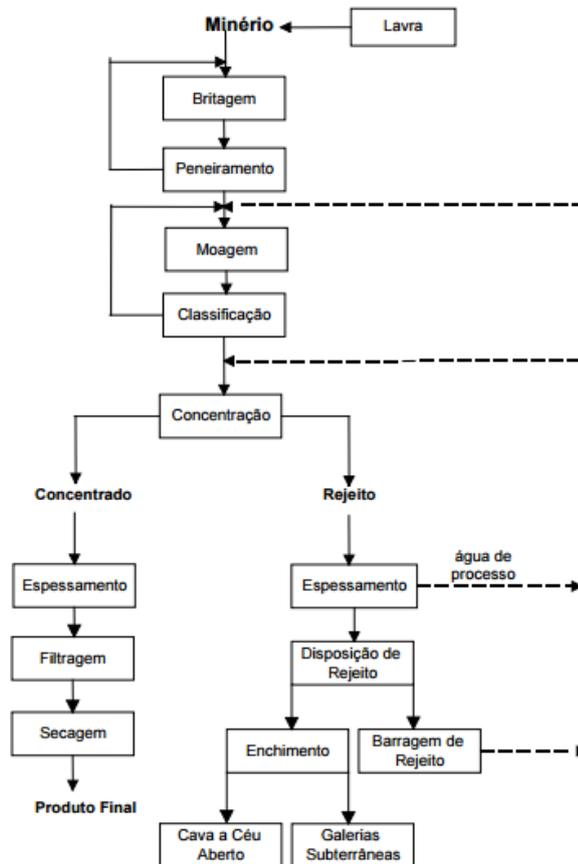


Figura 1- FLUXOGRAMA TÍPICO DE TRATAMENTO DE MINÉRIO (Luz, et al., 2004)

Segundo a (FEAM, 2011), dos rejeitos destinados dentro da mineração (DM), tem-se três formas de destinação que somam 98,78% do total. Barragens representam 95,18% dos rejeitos destinados dentro da mineração, seguidas de pilhas e preenchimento de cavas exauridas, conforme gráfico a seguir.

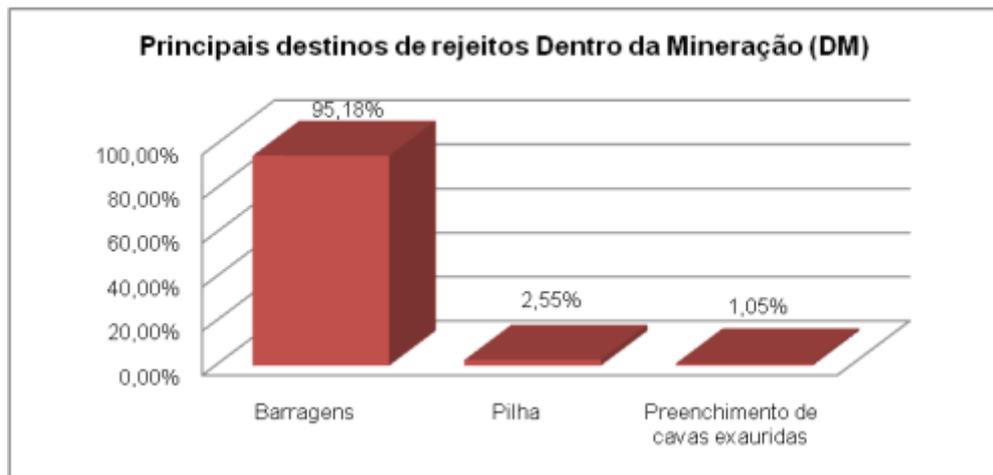


Figura 2- PRINCIPAIS DESTINOS DE REJEITOS DA MINERAÇÃO NO ESTADO DE MINAS GERAIS. Fonte: (FEAM, 2011)

As barragens de rejeitos são obras de engenharia de grande porte causadoras de enormes impactos ambientais, como desmatamento na fase de construção, poluição da água superficial e subterrânea durante a operação e após o fechamento da mina. Respondem também pela geração de poeira gerada na praia de rejeitos e pelo impacto visual em todas as fases da vida útil da barragem. Além disso, apresentam riscos relacionados à segurança. Por se tratar de uma obra de grande porte, podem apresentar expressivos danos potenciais em decorrência de seu vazamento, rompimento, mau funcionamento ou infiltração no solo. (Andrade, 2014)

Os acidentes de barragens de rejeitos continuam insistentemente a ocorrer no Brasil, com consequências indesejáveis para a sociedade e para o setor de mineração e indústria, como um todo. Além destes acidentes ocorrem incidentes, com maior frequência, onde não ocorre a ruptura, mas ocorre o vazamento de sólidos pela jusante com consequências variáveis. (Mello, 2011)

As causas desses acidentes incluem, na grande maioria dos casos, situações já resolvidas pela tecnologia disponível, e as deficiências decorrem da não aplicação de ações voltadas a garantir a segurança de estruturas. (Mello, 2011)

No Brasil, em novembro de 2015 ocorreu o maior desastre ambiental da história do Brasil, a "tragédia de Mariana". O rompimento da barragem de Fundão que pertencia à mineradora Samarco S/A, estava localizada na cidade mineira de Mariana e sua ruptura gerou uma tsunami devastadora de lama de rejeitos que dizimou o distrito de Bento

Rodrigues, ceifou vidas humanas, contaminou rios e destruiu florestas inteiras. Os danos causados ao meio ambiente e às populações atingidas são indeterminados, imprevisíveis e incalculáveis. (Lopes, 2016)

A Figura 3 mostra em vista aérea a área afetada pelo rompimento da barragem no distrito de Bento Rodrigues. (Bombeiros-MG, 2015)



Figura 3- ÁREA AFETADA PELO ROMPIMENTO DA BARRAGEM NO DISTRITO DE BENTO RODRIGUES, EM MINAS GERAIS (Bombeiros-MG, 2015)

2.1.2 Composição

Os minérios de ferro economicamente explorados podem ser classificados de acordo com a composição química do mineral fornecedor do elemento metálico. A saber, classificam-se em: óxidos, carbonatos, sulfetos e silicatos. Apenas a exploração dos óxidos tem expressão econômica para a obtenção do ferro (Carvalho, et al., s.d.).

O rejeito de minério de ferro "in natura" é constituído por óxido de ferro, óxido de silício e óxido de alumínio. A seguir, na Tabela 1, é possível observar a composição química média do rejeito (Bastos, 2013).

| Elementos | Concentração (%) |
|--------------------------------|------------------|
| SiO ₂ | 24,19 |
| Fe ₂ O ₃ | 45,92 |
| Al ₂ O ₃ | 4,82 |
| P | 0 |
| Mn | 0,025 |
| P.P.C | 4,06 |

Tabela 1- Composição química média do rejeito de minério de ferro (Bastos, 2013)

A seguir, na Figura 4, temos o RBMF "in natura" utilizado na composição das Tintas Sustentáveis.



Figura 4- RBMF IN NATURA (Galvão & Mendes, 2017)

2.1.3 Caracterização

Os dados de caracterização do RBMF a seguir foram obtidos do artigo "Mortars for laying and coating produced with iron ore tailing dams" (Fontes, et al., 2016) cuja autora caracterizou o mesmo material deste trabalho (RBMF da atividade mineradora da região do

Quadrilátero Ferrífero de Minas Gerais). Todos os ensaios foram realizados no Laboratório de Materiais de Construção Civil da Universidade Federal de Ouro Preto.

A tabela 2 mostra os resultados dos ensaios de Teor de Umidade, Massa Específica Aparente do Agregado Seco e Massa Unitária.

| | |
|---|-------|
| NBR 9929/11 | |
| Teor de Umidade (%) | 11,11 |
| NBR NM - 52 | |
| Massa Específica Aparente do Agregado Seco (g/cm ³) | 3,74 |
| ABNT NBR NM 45:2006 | |
| Massa Unitária (g/cm ³) | 1,61 |

Tabela 2- Teor de Umidade, Massa Específica Aparente do Agregado Seco e Massa Unitária

A seguir, o Gráfico 1, a apresenta a Curva Granulométrica do RBMF. Observa-se que o RBMF é um material extremamente fino, em comparação com os agregados naturais convencionalmente utilizados.

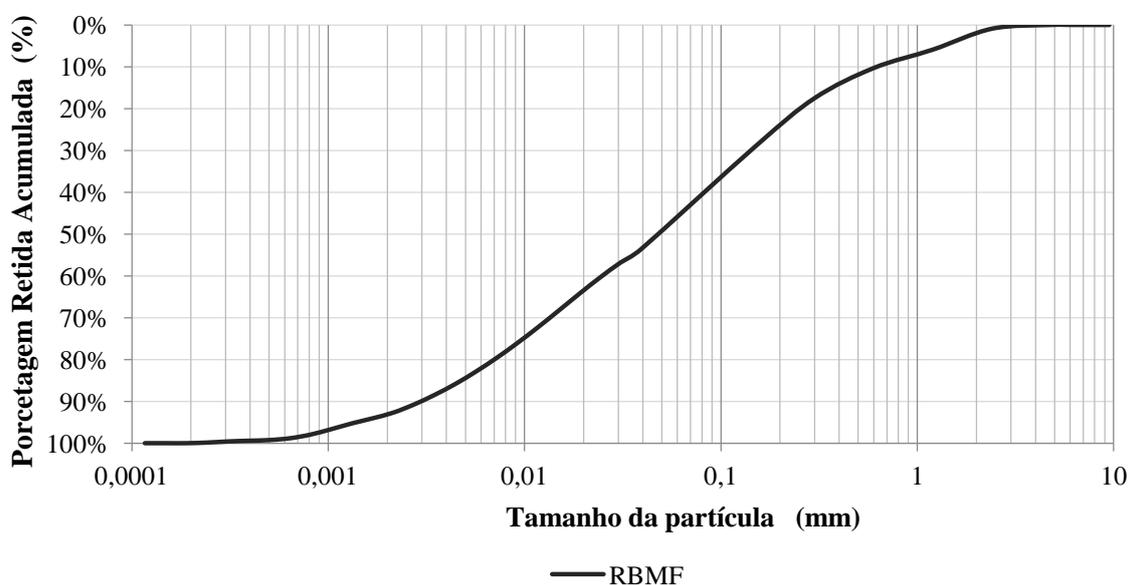


Gráfico 1- Curva Granulométrica do RBMF

2.2 TINTAS IMOBILIÁRIAS

2.2.1 Definição

Tinta é uma composição líquida, geralmente viscosa, constituída de um ou mais pigmentos dispersos em um aglomerante líquido que, ao sofrer um processo de cura quando estendida em película fina, forma um filme opaco e aderente ao substrato na qual tem a finalidade de proteger e embelezar as superfícies (Fazenda, 2005). De modo geral, a tinta pode ser considerada como uma mistura estável de uma parte sólida (que forma a película aderente à superfície a ser pintada) em um componente volátil (água ou solventes orgânicos).

2.2.2 Componentes Básicos

As tintas são constituídas pelos seguintes componentes: resina ou polímero, pigmento, solvente e aditivos. O que difere um tipo de tinta do outro é a composição e o proporcionamento dos componentes.

a) Pigmento

É o componente responsável pela cor, opacidade ou ação anticorrosiva, em caso de tintas para proteção de superfícies metálicas. Nas tintas látex, o pigmento de maior importância na formulação é o dióxido de titânio devido ao seu elevado índice de refração. É usado nas formulações para dar alvura, cobertura (opacidade) e durabilidade à tinta, através do seu poder de reflexão da luz (Fazenda, 2005). São divididos em pigmentos coloridos (conferem cor), não coloridos e anticorrosivos (conferem proteção aos metais).

b) Resina

Também chamada de veículo não volátil, é o aglutinante das partículas de pigmento e é ela o agente formador de filme. A composição da resina tem elevada importância nas propriedades da película, apesar de esta ser modificada pelo tipo e o teor de pigmento presente (Uemoto, 2002).

As tintas em geral levam o nome da resina básica que as compõem. As primeiras resinas eram a base de compostos naturais, vegetais ou animais. Hoje são obtidas através da indústria química ou petroquímica por meio de reações complexas, originando

polímeros que conferem às tintas propriedades de resistência e durabilidade muito superiores às antigas (Fazenda, 2005).

A formação do filme de tinta está relacionada com o mecanismo de reações químicas do sistema polimérico, embora outros componentes, como solventes, pigmentos e aditivos, tenham influência no sentido de retardar, acelerar e até inibir essas reações (Fazenda, 2005).

c) Aditivo

São substâncias adicionadas em pequenas proporções e que dão as características especiais às tintas. Conforme o tipo, podem estabilizar as emulsões, aumentar a resistência a fungos e bactérias, alterar a temperatura de formação do filme, entre outros (Uemoto, 2002).

Existe uma variedade enorme de aditivos usados na indústria de tintas e vernizes, a saber: secantes, anti-sedimentares, niveladores, antiespumante, etc (Fazenda, 2005).

d) Solvente

Também chamado de veículo volátil, é usado nas tintas com o objetivo de dissolver a resina e conferir viscosidade adequada para a aplicação. O seu teor geralmente é corrigido momentos antes da aplicação, conforme a necessidade, pois depende da viscosidade da tinta e da porosidade e capacidade de absorção do substrato (Uemoto, 2002).

2.2.3 Proporcionalamento dos componentes

O proporcionalamento dos componentes tem elevada importância nas propriedades das películas da tinta. O conhecimento da composição da tinta permite estimar algumas propriedades da pintura, como porosidade e durabilidade da película, mas para uma melhor previsão do comportamento destes materiais há necessidade de complementar o conhecimento através da realização de ensaios de desempenho.

Um dos parâmetros mais utilizados para descrever a composição de uma tinta é a relação pigmento e resina, denominada por *PVC* (Pigment Volume Content). O *PVC* é definido como sendo a fração volumétrica percentual do pigmento sobre o volume total de sólidos do filme seco:

$$PVC = \frac{V_p}{V_p + V_v} \times 100$$

Onde,

V_p = Volume do Pigmento

V_v = Volume de Veículo Sólido

O *PVC* é um fator que influi na porosidade e permeabilidade de um sistema de proteção por barreira, além de permitir distinguir os acabamentos brilhante, semibrilho e fosco. As tintas foscas possuem um *PVC* elevado, enquanto uma tinta semibrilho possui um *PVC* baixo (Uemoto, 2002).

2.2.4 Parâmetros Técnicos

e) Rendimento

Existem três formas de definir o rendimento de uma tinta: Rendimento Teórico, Rendimento Prático e Rendimento Real (Pinturas, s.d.).

O rendimento teórico não considera as perdas de preparação, método de aplicação, restos de tinta na embalagem e nos equipamentos de pintura e desperdícios por mão-de-obra defeituosa. Trata-se de um valor calculado que serve para comparar o custo por metro quadrado de duas ou mais tintas, é o indicado pelas marcas de tintas nas embalagens e fichas técnicas dos produtos. O rendimento prático é calculado a partir do Rendimento Teórico, levando em linha de conta as perdas de tintas estimadas, em função do tipo de tinta, do suporte e do método de aplicação. Por fim, o rendimento real é calculado no final do trabalho executado; sabendo-se a tinta que realmente foi gasta no trabalho.

f) Durabilidade

As tintas estão sujeitas à degradação natural por agentes incluindo a luz solar, calor e umidade. Isso levando a dezenas de patologias como: Alteração de cor e desbotamento; Craquelamento; Riscamento; Amarelamento; Erosão; Perda de Brilho. Para evitar tais patologias, as tintas precisam de qualidade e durabilidade.

O teor de sólidos, os pigmentos e a qualidade de óxido de titânio são os três principais indicadores de qualidade de uma tinta (Polito, 2006). Quanto maior a

porcentagem de sólidos em volume na tinta, maior será a espessura da película, considerando-se uma determinada taxa de espalhamento (Polito, 2006). Conseqüentemente, proporciona uma melhor cobertura, proteção superficial, resultando uma maior durabilidade.

Os testes mais representativos de qualidade são: lavabilidade, poder de cobertura úmida, poder de cobertura seca e porosidade. As tintas de baixa qualidade absorvem mais água, possuindo maior porosidade, diminuindo a cobertura e deixando transparecer o substrato; resultando em uma baixa durabilidade e uma série de patologias (Polito, 2006).

g) Opacidade

A opacidade é definida como a propriedade de um filme de tinta que permite proteger a passagem de luz e desse modo encobrir o substrato de aplicação. Caso a luz seja absorvida por um filme de tinta antes da superfície na qual foi aplicada, o filme é de cor escura e esconde bem o substrato. A absorção de luz produz a cobertura. Por outro lado, se a maioria da luz que entra no filme, escondendo mal o substrato, o filme é branco. A propriedade de absorção e espalhamento de luz do filme atuam juntas para produzir opacidade (Alua, 2012).

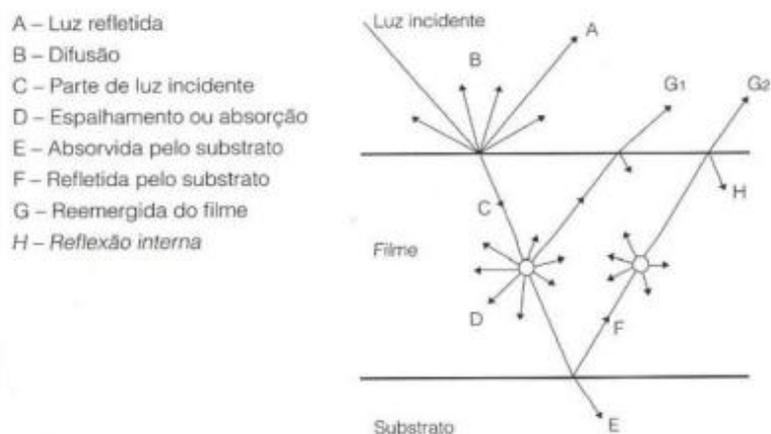


Figura 5- Combinação de efeitos que geram a opacidade (Fazenda, 2005)

A Figura 5 mostra a combinação de efeitos que geram a opacidade. Onde a luz incidente pode sofrer espalhamento (reflexão, refração e difração) ou absorção de luz. A maior parte da luz que penetra no filme é refletida e refratada antes de escapar da superfície do mesmo como luz refletida ou ser absorvida pelo substrato (Fazenda, 2005).

2.3 TINTAS DE SOLOS

2.3.1 Definição

As tintas de solos surgiram como alternativa sustentável e de baixo custo com utilização de arquitetura vernacular (emprega materiais e recursos do próprio ambiente). Uma qualidade ambiental importante é que não possuem em sua composição metais pesados encontrados em pigmentos sintéticos e nenhum composto altamente poluente como os COV's (Compostos Orgânicos Voláteis) encontrados nas tintas industrializadas. São inodoras, atóxicas, possuem baixo custo de fabricação, além de boa durabilidade na superfície que são aplicadas. Além disso, permitem a troca gasosa entre o substrato com o ambiente evitando a formação de bolhas e manchas causadas pela umidade (Anghinetti, 2012).

As tintas de solo, antes chamadas de Barreado, entraram em desuso com o aumento da utilização de substratos com pouco porosidade e incompatibilidade físico-química como a alvenaria e argamassas à base de cimento e, ou, cal. A adição da resina poliacetato de vinila (PVA) nas tintas de solo proporcionou aderência nesses substratos que são utilizados atualmente. Essa problemática foi solucionada pelo Projeto Cores da Terra, que viabilizou o uso dessas tintas como tecnologia social para comunidades carentes que não possuem recursos para utilização de tintas industrializadas de preço não acessível (Cardoso, 2015).

2.3.2 Composição

As tintas de solos possuem um processo de fabricação artesanal com a utilização de três constituintes básicos: solo, cola doméstica e água. Os solos têm a função de pigmento e são compostos por fragmentos de rochas e minerais que variam de granulometria e forma. A seguir, a Tabela 3- Granulometria de solos mostra a composição das partículas do solo, por tamanho.

| | |
|--------------|--------------------|
| AREIA GROSSA | de 5mm a 2mm |
| AREIA MÉDIA | de 2mm a 0,4mm |
| AREIA FINA | de 0,4mm a 0,05mm |
| SILTE | de 0,05mm a 0,005m |
| ARGILA | abaixo de 0,005mm |

Tabela 3- Granulometria de solos

De acordo com a Tabela 3, observa-se que o solo é composto por uma distribuição de partículas de diferentes dimensões variando da areia grossa (de 5mm a 2mm) até as menores partículas, as argilas (abaixo de 0,005mm). Essa distribuição granulométrica varia sua porcentagem de cada faixa granulométrica conforme o tipo de solo.

Para a produção de tintas de solos é preferível a utilização das partículas menores, maior área específica. Solos com maior proporção de silte e a argila são vantajosos por possuírem maior poder de pigmentação, proporcionando maior capacidade de dar cor e aderir à área a ser coberta pela tinta. Os solos mais arenosos geralmente são utilizados para confecção de pinturas texturizadas (Capeche, 2010).

A seguir, a Tabela 4 apresenta a qualidade da tinta que os diversos tipos de solos podem produzir. Nem todo solo pode produzir uma tinta de qualidade adequada para ser utilizada.

| | |
|------------------------------------|--|
| ARGILA PURA | TINTA DE ÓTIMA QUALIDADE |
| SILTE PURO | TINTA DE QUALIDADE INTERMÉDIARIA E SERÁ NECESSÁRIO MISTURÁ-LA FREQUENTEMENTE, POIS, DECANTA RÁPIDO |
| AREIA PURA | NÃO É POSSÍVEL PRODUZIR UMA TINTA |
| QUANTIDADE MAIOR DE ARGILA E SILTE | TINTA DE QUALIDADE INTERMÉDIARIA E SERÁ NECESSÁRIO MISTURÁ-LA FREQUENTEMENTE, POIS, DECANTA RÁPIDO |
| QUANTIDADE MAIOR DE SILTE E AREIA | INADEQUADA PARA TINTAS, MAS IDEAL PARA TEXTURAS |
| QUANTIDADE MAIOR DE AREIA E ARGILA | TINTA DE QUALIDADE INTERMÉDIARIA E DE APLICAÇÃO MAIS DIFÍCIL. INDICADA PARA TEXTURAS |

Tabela 4- Qualidade de tintas e tipos de solos (Carvalho, 2009)

A cola tem a função de ligante, sendo comum a utilização de cola PVA (Acetato de polivinila) que são vendidas no mercado como uma emulsão em água. O PVA é o aglutinante que garante maior durabilidade para este tipo de tinta e são indicados para ambientes internos e externos por sua maior resistência às intempéries (Carvalho, 2009). Como alternativa de redução de custos, pode ser utilizado o grude, cola tradicional à base de amido feito com polvilho azedo ou goma de tapioca. Porém, a tinta com grude possui uma menor resistência às intempéries por conta das interações entre amilose e a amilopectina serem enfraquecidas com a ação do calor (Carvalho, 2009).

2.3.3 Aplicação

Para garantir qualidade e durabilidade da tinta, é importante antes da aplicação preparar a superfície que irá receber a tinta removendo qualquer material contaminante. A superfície deve estar limpa, seca, sem poeira, gordura ou qualquer outro que poderá resultar em patologias no futuro.

A Tabela 5, a seguir, apresenta os exemplos mais comuns de tratamento de superfícies, com sugestões para aplicar de tintas:

| | |
|---|--|
| REBOCO NOVO | AGUARDAR A SECAGEM E CURA (28 DIAS NO MÍNIMO) |
| MANCHAS DE GORDURA OU GRAXAS | DEVEM SER ELIMINADAS COM ÁGUA E SABÃO |
| PAREDES MOFADAS | DEVEM SER LIMPAS COM 1 MEDIDA DE ÁGUA SANITÁRIA PARA 2 DE ÁGUA ATÉ SEREM TOTALMENTE REMOVIDAS |
| IMPERFEIÇÕES PROFUNDAS DO REBOCO/CIMENTADO | PODEM SER CORRIGIDAS COM ARGAMASSA DE CIMENTO |
| CONCRETO NOVO | AGUARDAR A CURA E APLICAR UMA DEMÃO DE SELADOR ANTES DA TINTA |
| SUPERFÍCIES CAIADAS E SUPERFÍCIES COM PARTÍCULAS SOLTAS OU MAL ADERIDAS | RASPAR COM ESPÁTALA E/ OU ESCOVAR COM ESCOVA DE AÇO A SUPERFÍCIE ELIMINANDO AS PARTES SOLTAS E APLICAR SELADOR |
| IMPERFEIÇÕES RASAS | DEVEM SER CORRIGIDAS COM MASSA CORRIDA |
| PAREDES JÁ PINTADAS | RASPAR A TINTA VELHA OU DANIFICADA COM ESPÁTALA, LIXA OU ESCOVA DE FERRO |

Tabela 5- Sugestões de tratamento de superfícies (Carvalho, 2009)

Na aplicação, é importante misturar bem a tinta para garantir a homogeneidade dos componentes. O rolo de lã alta é o mais indicado, fazendo sempre o movimento de baixo para cima. São recomendadas três demãos para esse tipo de tinta com intervalos de para cada demão respeitando as indicações do fabricante. (Carvalho, 2009)

2.4 SISTEMAS VINÍLICOS (TINTA LATÉX VINÍLICA)

2.4.1 Composição Básica

Formulada com base de dispersão de polímeros vinílicos (poliacetato de vinila ou PVA), contém pigmentos como dióxido de titânio e/ou outros pigmentos coloridos, cargas e aditivos. Possui acabamento semibrilho ou fosco aveludado (Uemoto, 2002).

2.4.2 Aplicações

Recomendada para a aplicação sobre superfícies internas e externas de alvenaria à base de cimento e/ou cal (argamassa), concreto, bloco de concreto, cimento amianto, gesso, cerâmica não vitrificada (Uemoto, 2002).

2.4.3 Características Técnicas

É uma dispersão aquosa, isenta de solventes orgânicos. Libera baixo teor de COVs, apresenta baixa toxicidade e causa menor poluição ao meio ambiente do que as tintas de base de solvente (Uemoto, 2002). Possui fácil aplicação e secagem rápida, permite a aplicação da segunda demão no mesmo dia com intervalo de demão de aproximadamente 4 horas. De modo geral, apresenta menor resistência de aderência, durabilidade, resistência à água e à alcalinidade do que sistemas com base de copolímeros acrílicos ou estireno acrílico (Uemoto, 2002).

As películas obtidas com este tipo de tinta são mais porosas e/ou permeáveis do que aquelas com base de copolímeros acrílicos ou estireno acrílico, a óleo ou esmalte sintético. De modo geral, o acabamento fosco aveludado é mais indicado para fins decorativos do que para proteção, enquanto o acabamento semibrilho é mais indicado para proteção. A estimativa de vida útil até a primeira repintura, em ambientes externo de baixa agressividade, é de 3 anos (Uemoto, 2002).

2.5 SISTEMAS ACRÍLICOS (TINTA LÁTEX ACRÍLICA)

2.5.1 Composição Básica

Formulada com base de dispersão de copolímeros acrílicos ou estireno acrílico, contém pigmentos como o dióxido de titânio e/ou outros pigmentos coloridos, cargas e aditivos. Possui acabamento semibrilho ou fosco aveludado (Uemoto, 2002).

2.5.2 Aplicações

Recomendada para a aplicação sobre superfícies internas e externas de alvenaria à base de cimento e/ou cal (argamassa), concreto, bloco de concreto, cimento amianto, gesso, cerâmica não vitrificada (Uemoto, 2002).

2.5.3 Características Técnicas

É uma dispersão aquosa, isenta de solventes orgânicos. Libera baixo teor de COVs, apresenta baixa toxicidade e causa menor poluição ao meio ambiente do que as tintas de base de solvente (Uemoto, 2002). Possui fácil aplicação e secagem rápida, permite a aplicação da segunda demão no mesmo dia com intervalo de demão de aproximadamente 4 horas. De modo geral, apresenta maior resistência de aderência, durabilidade, resistência à água e à alcalinidade do que sistemas com base de poliacetato de vinila (PVA).

As partículas obtidas com esse tipo de tinta são mais porosas e/ou permeáveis do que aquelas à base de óleo e esmalte sintético e menos porosas do que aquelas à base de PVA. O acabamento fosco aveludado é mais indicado para fins decorativos do que para proteção, enquanto o acabamento semibrilho é mais indicado para proteção. A estimativa de vida útil até a primeira repintura, em ambientes externos de baixa agressividade, é de 5 anos.

2.6 TINTAS À BASE DE CIMENTO

2.6.1 Composição Básica

Formulada com cimento branco, cal hidratada em menores teores, pigmentos opacificantes e/ou coloridos, cargas minerais, sais higroscópicos e eventualmente produtos repelentes à água. Possui ampla gama de acabamentos, geralmente chapiscado, rústico, raspado (Uemoto, 2002).

2.6.2 Aplicações

Recomendada para a aplicação sobre alvenarias de cimento e/ou cal, emboços, blocos de concreto, concreto celular, bloco sílicos-calcário de superfície externas/internas. Este tipo de tinta pode ser aplicado sobre superfícies úmidas e/ou frescas. Não deve ser aplicado sobre superfícies pintadas com outros tipos de tinta nem sobre superfícies de gesso (Uemoto, 2002).

2.6.3 Características Técnicas

A tinta reage com a água formando silicatos de cálcio hidratados e liberando Ca(OH) (hidróxido de cálcio), substância de elevada alcalinidade. Devido a sua alcalinidade, é muito limitada em cores. A maioria dos pigmentos orgânicos são incompatíveis com este tipo de pintura. Já os pigmentos minerais são compatíveis, principalmente os óxidos de ferro.

O produto tinta é fornecido como pó e misturado à água pouco antes do uso; após 3 a 4 horas perde-se a aplicabilidade. Este tipo de produto, por ser um suspensão aquosa, é isento de solventes orgânicos, não libera COVs (Uemoto, 2002). Forma uma camada bastante permeável ao vapor de água e a gases, o que a diferencia das pinturas convencionais. Possui baixa resistência a ácidos e elevada resistência à alcalinidade e água. A resistência à alcalinidade torna-a muito recomendada para aplicação em substratos com base de cimento ou cal, recém executados, não sendo adequada para aplicação em ambientes industriais onde a atmosférica é ácida.

3. METODOLOGIA

A metodologia do trabalho foi organizada em 15 tópicos apresentando a forma como foi desenvolvida a tinta até o resultado final do experimento. Todos os equipamentos utilizados para preparação são do Laboratório de Materiais de Construção Civil da UFOP.

3.1 PREPARAÇÃO DO REJEITO DE BARRAGEM DE MINÉRIO DE FERRO (RBMF)

O RBMF (Rejeito de Barragem de Minério de Ferro) estava foi colocado em estufa a temperatura de 100°C por 24 horas.

3.2 DESTORROAMENTO DO MATERIAL

Com o RBMF com aproximadamente 0% de umidade relativa, iniciou-se o processo para destorroar o material com o objetivo de homogeneizar e facilitar a separação granulométrica. A Figura 6 mostra o material após a secagem.



Figura 6- RBMF APÓS 24 HORAS NA ESTUFA A 100°C

3.3 SEPARAÇÃO GRANULOMÉTRICA

O RBMF foi colocado no Agitador de Peneiras por 10 minutos para obter o maior rendimento de material passante na peneira da série normal de abertura 150µm (#100) (NBR NM 238, 2003). Com o material passante na peneira, iniciou-se o processo de fabricação das tintas.



**Figura 7- AGITADOR DE PENEIRAS PARA RECOLHER MATERIAL
PASSANTE NA PENEIRA 100**



Figura 8- RBMF PASSANTE NA PENEIRA 100

3.4 SEPARAÇÃO DOS MATERIAIS DOS TRAÇOS

Os materiais foram pesados separadamente em balança de precisão de acordo com o traço estipulado de cada tinta, na Tabela 6. A seguir, foram armazenados em recipientes limpos e secos até serem colocados no misturador.

Os materiais utilizados para a preparação das tintas foram:

- Água potável da Universidade Federal de Ouro Preto;
- Rejeito de barragem de minério de ferro (RBMF) proveniente da região do Quadrilátero Ferrífero – MG.;
- Resina acrílica para impermeabilização multiuso incolor Hydronorth/à base d'água;
- Cal para Pintura da marca Calex;
- Cola Branca PVA Cascola/Cascorz Extra;
- Cimento CPV Holcim/ARI (Alta Resistência Inicial);

Como efeito de comparação, foram utilizadas as tintas comercialmente disponíveis Suvinil Fosco Completo Acrílico Premium (denominada Comercial Acrílica) e Suvinil Clássica Maxx (denominada Comercial Látex). Ambas as tintas comerciais possuem a mesma cor, denominada "Petit Gâteau".



Figura 9- CAL, RBMF, ÁGUA e PVA



Figura 10- PVA, RESINA, TINTA ACRÍLICA e TINTA LÁTEX

Os traços foram determinados conforme avaliação visual da homogeneidade, textura e incorporação de ar. A seguir, a Tabela 6 apresenta a composição de cada traço com o consumo de água, RBMF, PVA, Cal, Cimento, Resina Acrílica e o Teor de Ligantes.

| TRAÇOS/TINTAS (g) | | | | | | | | |
|-------------------|--------------------|------|------|-----|-----|---------|-----------------|------------------|
| Id. | Ligantes | ÁGUA | RBMF | PVA | Cal | Cimento | Resina Acrílica | Teor de Ligantes |
| 1 | PVA | 400 | 400 | 100 | 0 | 0 | 0 | 25% |
| 2 | | 400 | 400 | 200 | 0 | 0 | 0 | 50% |
| 3 | | 300 | 400 | 100 | 0 | 0 | 0 | 25% |
| 4 | | 300 | 400 | 200 | 0 | 0 | 0 | 50% |
| 5 | Cal + PVA | 400 | 400 | 100 | 100 | 0 | 0 | 50% |
| 6 | | 400 | 400 | 50 | 50 | 0 | 0 | 25% |
| 7 | | 500 | 400 | 50 | 50 | 0 | 0 | 25% |
| 8 | | 500 | 400 | 100 | 50 | 0 | 0 | 38% |
| 9 | Resina Acrílica | 400 | 300 | 0 | 0 | 0 | 40 | 13% |
| 10 | | 400 | 400 | 0 | 0 | 0 | 40 | 10% |
| 11 | | 400 | 400 | 0 | 0 | 0 | 80 | 20% |
| 12 | | 400 | 400 | 0 | 0 | 0 | 100 | 25% |
| 13 | Cal | 400 | 400 | 0 | 100 | 0 | 0 | 25% |
| 14 | Cimento | 400 | 400 | 0 | 0 | 100 | 0 | 25% |
| 15 | Comercial PVA | | | | | | | |
| 16 | Comercial Acrílica | | | | | | | |

Tabela 6- Traços de Tintas Sustentáveis

3.5 PRODUÇÃO DE TINTAS

O procedimento de mistura adotado em todos os traços foi: inicialmente colocar 50% da quantidade de água no misturador com 100% da quantidade de RBMF e agitar por 30 segundos na velocidade lenta. Após esse tempo, foi colocado o restante dos materiais de

acordo com o traço e misturado por um período de 1 minuto e 30 segundos na velocidade lenta novamente.



Figura 11- PESAGEM DE RBMF E ÁGUA



Figura 12- MISTURADOR COM RBMF E ÁGUA

3.6 AVALIAÇÃO VISUAL

A tinta produzida foi colocada em um recipiente limpo e seco; livre de qualquer tipo de contaminação. Foi feita nesse momento uma análise visual da textura, trabalhabilidade e incorporação de ar.



Figura 13- TINTA SUSTENTÁVEL PRODUZIDA EM RECIPIENTE APÓS SAIR DO MISTURADOR

3.7 PLACAS DE PVC PARA TESTES

Para testar os 17 traços das Tintas Sustentáveis foram utilizadas placas de PVC (18,5×13 cm). As placas de PVC foram escolhidas por serem materiais de cor e aderência homogêneas, além de simularem uma situação não favorável de aderência superfície/tinta.

Os testes realizados nas placas de PVC foram: Variabilidade de Cor, Resistência à Abrasão, Custo e Escurecimento. Esses traços foram comparados com tintas comerciais de cores semelhantes do tipo Látex e Acrílica que passaram pelos mesmos testes e procedimentos de pintura nas placas. Com isso, os 5 melhores traços de tintas na superfície de PVC foram escolhidos para serem testados nas placas cimentícias de revestimento em ambientes interno e externo sujeitos as intempéries.

As placas de PVC foram pintadas com rolo de espuma de 10 cm em um suave movimento uniforme de ida e volta sobre a placa, sem aplicação de força no sentido vertical para baixo. Todos os traços foram devidamente identificados e passaram pelos mesmos procedimentos de pintura, afim de obter parâmetros operacionais iguais.



Figura 14- PLACAS DE PVC
(13 X 18,5 cm)



Figura 15- ROLOS DE ESPUMA E RECIPIENTES PARA ARMAZENAR AS TINTAS



Figura 16- TINTA PARA TESTE NA PLACA DE PVC

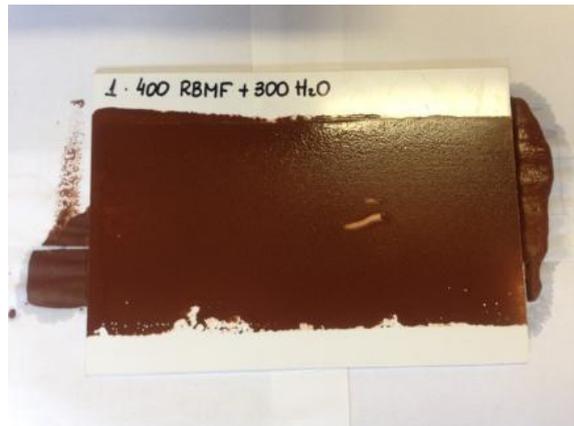


Figura 17- TINTA APÓS APLICAÇÃO NA PLACA DE PVC

3.8 TESTE DE VARIABILIDADE DE COR

Após a pintura de cada placa, foi realizada a captura da sua imagem com a câmera de 8 megapixels do smartphone Iphone 5 com resolução de 3264x2448 pixels, com a finalidade de realizar o teste de Variabilidade de Cor. Esse teste busca avaliar a homogeneidade da cobertura.

Para realização do teste de Variabilidade de Cor, foi utilizado o software Adobe PhotoShop®. Para cada imagem, foi feita a análise do sistema RGB (abreviatura do sistema de cores formado por Vermelho - Red, Verde - Green e Azul - Blue) da imagem.

O sistema RGB mostra que, misturando quantias diferentes de luz das três cores primárias, quais sejam a vermelha (Red), o verde (Green) e o azul (Blue), todas as cores percebidas podem ser criadas. Quantias iguais de vermelho, verde e azul proporcionam a sensação de branco quando em intensidade máxima e em cinzas em intensidades menores, mas ainda equilibradas. A ausência de todas estas cores, a sensação de preto. Este sistema é usado sempre que a luz é projetada para formar cores, no olho humano ou em um monitor de computador. A grande maioria das câmeras digitais utiliza o sistema RGB, através de filtros destas cores para captura de imagens. (Bueno, s.d.)

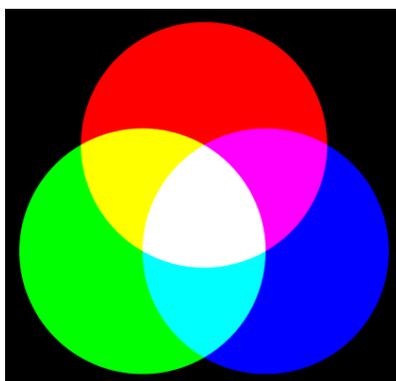


Figura 18- CÍRCULOS CROMÁTICOS RGB

Uma das representações mais usuais para as cores é a utilização da escala de 0 a 255. Cada cor possui um determinado valor de R, G e B variando de 0 a 255. Alguns exemplos são mostrados na Tabela 7.

| REPRESENTAÇÃO NÚMÉRICA RGB | | | |
|----------------------------|-----|-----|-----|
| COR | R | G | B |
| BRANCO | 255 | 255 | 255 |
| AZUL | 0 | 0 | 255 |
| VERMELHO | 255 | 0 | 0 |
| VERDE | 0 | 255 | 0 |
| AMARELO | 255 | 255 | 0 |
| MAGENTA | 255 | 0 | 255 |
| CIANO | 0 | 255 | 255 |
| PRETO | 0 | 0 | 0 |

Tabela 7- Representação numérica RGB

Para cada gama de cores R, G e B foram coletados os valores do desvio padrão das cores, e calculada uma média dos três. Quanto maior o desvio padrão de uma cor, maior sua variabilidade (menor sua homogeneidade). A Figura 19, apresenta a captura de imagem do Histograma da cor vermelha no Traço 14 com desvio padrão de 4,41. Na Figura 20, temos a captura de imagem do Histograma da cor vermelha no Traço 10, com desvio padrão de 2,85.

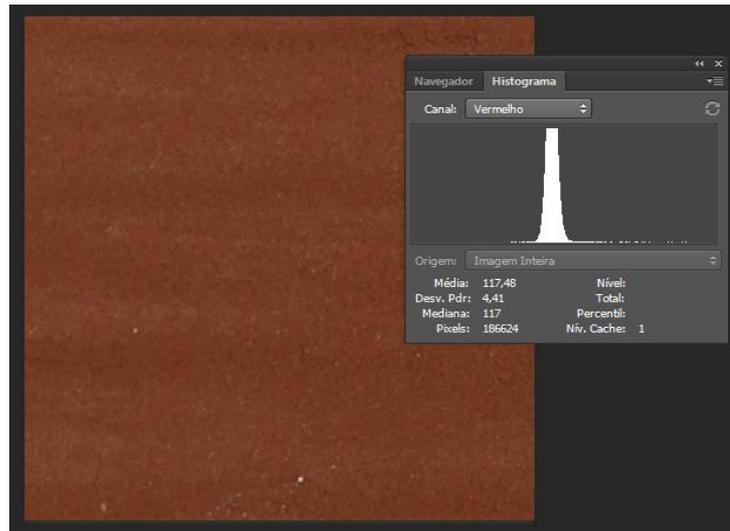


Figura 19- HISTOGRAMA DA COR VERMELHA NA IMAGEM, TRAÇO 14, DESVIO PADRÃO DE 4,41

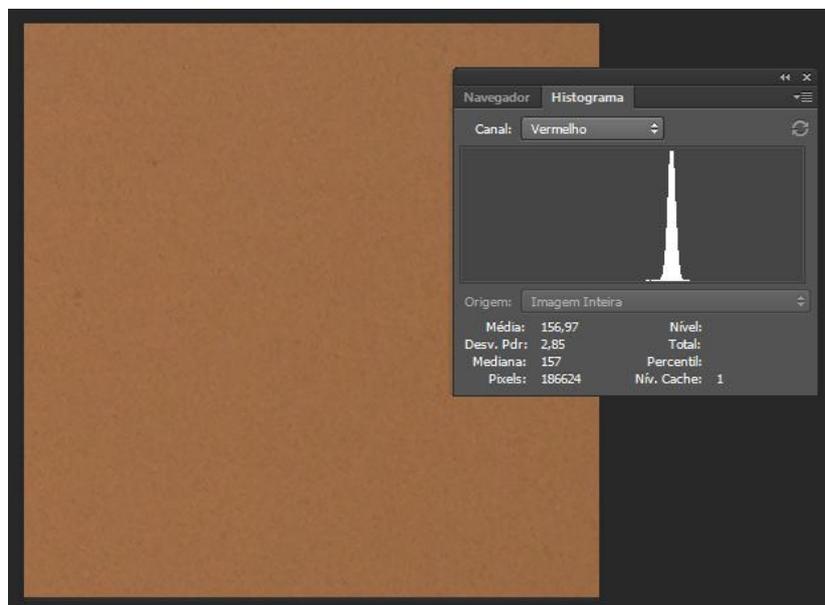


Figura 20- HISTOGRAMA DA COR VERMELHA NA IMAGEM, TRAÇO 10, DESVIO PADRÃO DE 2,85

3.9 TESTE DE ESCURIDADE

O Teste de Escuridade buscou avaliar o poder de pigmentação dos traços. Para essa análise, foi utilizada a metodologia de diferença de cores Delta-E. O Delta-E é um número único que representa a diferença de distância euclidiana entre os aspectos Vermelho, Verde e Azul de um RGB (Mokrzycki & Tatol, 2011). Esse é o método adotado pela Comissão Internacional de Iluminação (CIE) pois melhor representa a percepção de cor humana (COLORMINE, 2016). O Delta-E varia entre 0 e 100; e para valores menores que 2, as cores são consideradas iguais a para o olho humano.

Utilizando para todas as imagens dos traços a mesma localização de pontos, avaliadas as cores RGB de 5 pontos nas imagens. Foi calculada a média R, média G e média B de cada traço. Utilizando o Software Delta-E Calculator (Colormine, 2017), foi possível calcular o Delta-E de cada ponto com a cor branca; obtendo-se assim, a Escuridade de cada traço; uma forma de avaliar a opacidade das tintas através da diferença para a cor branca do substrato de PVC. A Figura 21, apresenta a localização dos 5 pontos nas imagens dos traços e a Figura 22 apresenta a captura de imagem do Software Delta-E Calculator (Colormine, 2017) para o Teste de Escuridade do Traço 1.

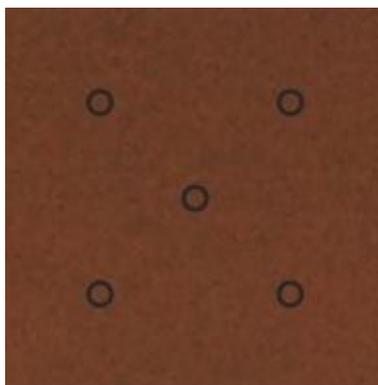


Figura 21- LOCALIZAÇÃO DOS 5 PONTOS NAS IMAGENS DOS TRAÇOS

Delta-E Calculator

| | |
|---|---|
|  Rgb |  Rgb |
| R 104,85 | R 255 |
| G 54,87 | G 255 |
| B 32,57 | B 255 |
| Rgb | Rgb |
| <input type="button" value="Calculate Delta-E"/> | |
| Calculation Result: 77.4886 | |

Figura 22- DELTA-E CALCULATOR PARA TRAÇO 1 (Colormine, 2017)

3.10 TESTE DE RESISTÊNCIA À ABRASÃO

O Teste de Resistência à Abrasão foi realizado após 72 horas da pintura da placa, como uma adaptação da NBR 15078 Tintas para Construção Civil - Determinação de resistência à abrasão úmida sem pasta (2004). Para realização do teste foi utilizada uma escova de cerdas de nylon e uma solução com 5 ml de água com 2 gotas de detergente neutro a cada 30 ciclos. Cada ciclo de abrasão consiste em um movimento retilíneo de ida e volta sobre a placa na mesma direção, sem pressão na direção normal à superfície além do peso-próprio da escova. O teste foi finalizado quando 80% da cobertura da linha feita pela escova estivesse desgastada pela abrasão (14,8 cm); registrando-se a quantidade de Ciclos de cada placa. Para melhor precisão dos resultados foram realizados em cada placa dois testes, o primeiro na parte superior da placa e o segundo na parte inferior, sempre seguindo os mesmos parâmetros operacionais.



Figura 23- TESTE DE ABRASÃO EM EXECUÇÃO



Figura 24- PLACA APÓS EXECUÇÃO DO TESTE DE ABRASÃO DO TRAÇO 12

3.11 CUSTO

O custo de cada traço foi calculado levando em consideração a cotação dos insumos na cidade de Ouro Preto- MG. O custo do frete referente ao RBMF foi utilizado com base no trabalho "Evaluation of the economic feasibility of a processing plant for steelmaking slag" (Gonçalves, 2015) Sendo eles:

| Insumos | Valor(R\$) |
|-------------------------|------------|
| Cola PVA (1 Kg) | R\$ 23,64 |
| Cal (8 Kg) | R\$ 8,00 |
| Cimento (50 Kg) | R\$ 24,00 |
| Resina (900g) | R\$ 16,80 |
| Tinta Latex (810ml) | R\$ 19,00 |
| Tinta Acrílica (810 ml) | R\$ 20,00 |
| RBMF(frete/ton) | R\$ 32,31 |

Tabela 8- Custo de Insumos para produção

3.12 SELEÇÃO DOS 5 MELHORES TRAÇOS

Com os resultados dos testes de cada traço (Variabilidade de Cor, Resistência à Abrasão e Custo), uma das misturas de cada ligante das Tintas Sustentáveis foi escolhida para prosseguir aos ensaios de durabilidade e rendimento (custo/m²), além das comerciais. Assim, os traços 3 (PVA), 5 (Cal+PVA), 10 (Resina Acrílica), 13 (Cal) e 14 (Cimento) foram adotados.

3.13 PLACAS CIMENTÍCIAS

Os 5 traços selecionados foram aplicados a placas cimentícias de espessura 12,5 cm em 2 demãos. Para cada traço, utilizou-se 2 placas, sendo uma deixada em ambiente interno protegida das intempéries e dos raios solares, e outra deixada ao lado de fora, em posição aproximadamente vertical sob um beiral de 20 cm, simulando uma parede convencional. O objetivo foi analisar a durabilidade às intempéries no externo e comparar o resultado com dois tipos de tintas comerciais (Látex e Acrílica) sujeitas às mesmas condições de vento, chuva, granizo e raios solares.

Foram utilizadas no total 15 placas cimentícias. Todas as dimensões das placas foram devidamente medidas para cálculo de área e consumo de tinta. A Figura 25 mostra o processo de medição e a Tabela 9 mostra o resultados das áreas de cada placa.

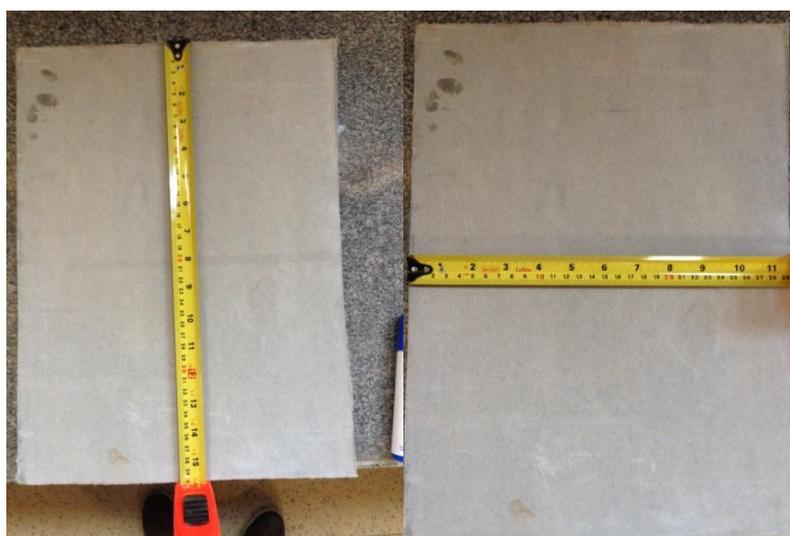


Figura 25- MEDIÇÃO DAS PLACAS CIMENTÍCIAS NAS DIREÇÕES VERTICAL E HORIZONTAL

| PLACAS | ÁREA (m ²) |
|--------|------------------------|
| P1 | 0,118 |
| P2 | 0,163 |
| P3 | 0,119 |
| P4 | 0,115 |
| P5 | 0,119 |
| P6 | 0,111 |
| P7 | 0,12 |

| PLACAS | ÁREA (m ²) |
|--------|------------------------|
| P8 | 0,116 |
| P9 | 0,121 |
| P10 | 0,114 |
| P11 | 0,122 |
| P12 | 0,119 |
| P13 | 0,118 |
| P14 | 0,119 |
| P15 | 0,119 |

Tabela 9- Área das 15 placas em (m²)

3.14 PINTURA DAS PLACAS CIMENTÍCIAS

Após a preparação de cada traço, a quantidade de tinta inicial e final foi pesada. O consumo/demão(g/m²) foi calculado dividindo-se o consumo(g) pela área da placa(m²).



Figura 26- PESAGEM INICIAL DA TINTA E PRIMEIRA DEMÃO NA PLACA CIMENTÍCIA



Figura 27- PRIMEIRA DEMÃO COMPLETA DAS PLACAS PARA AMBIENTE INTERNO E EXTERNO

3.15 TESTE DE DURABILIDADE ÀS INTEMPÉRIES

Após serem pintadas as placas, elas foram identificadas e com a idade de 7 dias foram armazenadas em ambientes separados para Teste de Durabilidade às intempéries por 6 meses. Foram registradas imagens de cada placa com 7 dias (quando foram colocadas às intempéries) e com 6 meses (final do tempo sujeitas às intempéries) como parâmetro de comparação. As placas ficaram expostas em posição aproximadamente vertical sob um beiral de 15 cm. Nos 6 meses de decorrência desse ensaio, foram sujeitas a chuva, neblina, sol direto e inclusive uma chuva de granizo de 20 minutos (Minas, 2016).

A seguir temos fotografias das placas com 7 dias quando foram colocadas às intempéries externas.



Figura 28- Placas expostas em posição aproximadamente vertical sob beiral de 15 cm



Figura 29- À ESQUERDA TRAÇO PVA, NO CENTRO TRAÇO CIMENTO E À DIREITA TRAÇO PVA+CAL



Figura 30- À ESQUERDA TRAÇO CAL E À DIREITA TRAÇO RESINA

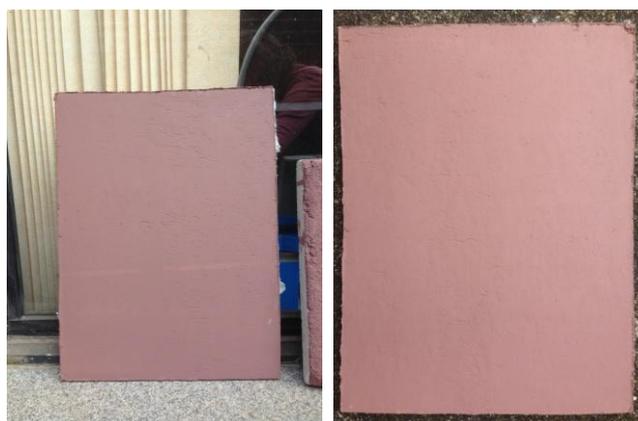


Figura 31- À ESQUERDA TRAÇO CIMENTO, NO CENTRO TINTA LÁTEX E À DIREITA TINTA ACRÍLICA

4. RESULTADOS

Todos os dados e resultados obtidos ao longo do trabalho foram organizados em Planilhas e Gráficos.

4.1 VARIABILIDADE DE COR

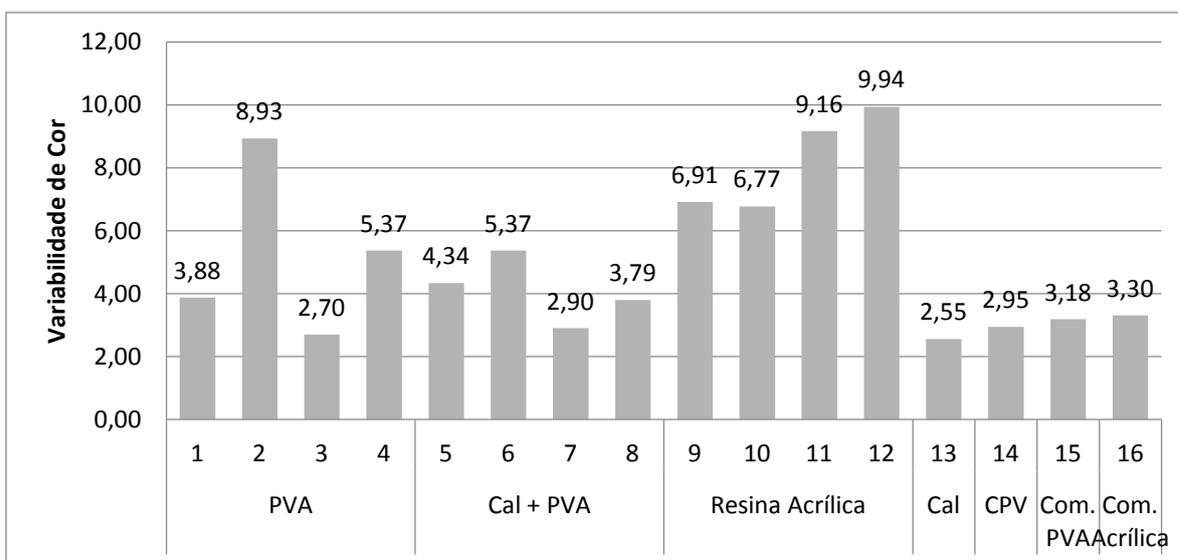


Gráfico 2- Teste de Variabilidade de Cor

Para cada gama de cores R, G e B foram coletados os valores do desvio padrão das cores, e calculada uma média dos três. Quanto maior o desvio padrão de uma cor, maior sua variabilidade (menor sua homogeneidade). Ao todo, 10 traços das Tintas Sustentáveis apresentaram Variabilidade de Cor maior que as Tintas Comerciais testadas. Todo o conjunto de traços compostos por Resina Acrílica (9 ao 12), apresentaram os maiores valores de variabilidade possuindo assim uma menor homogeneidade de cor, único conjunto que todos os traços foram inferiores às tintas comerciais.

Por outro lado, temos os traços 3 (PVA), 7 (PVA+CAL), 13 (CAL) e 14 (CIMENTO) que apresentaram uma maior homogeneidade de cor, sendo inclusive superiores às tintas comerciais testadas. Um excelente resultado de Variabilidade de Cor para as Tintas Sustentáveis, pois foram possíveis com esses traços a produção de tintas com cores homogêneas de forma sustentável. Esse resultado também indica que o processo de mistura adotado foi satisfatório.

4.2 TESTE DE ESCURIDADE

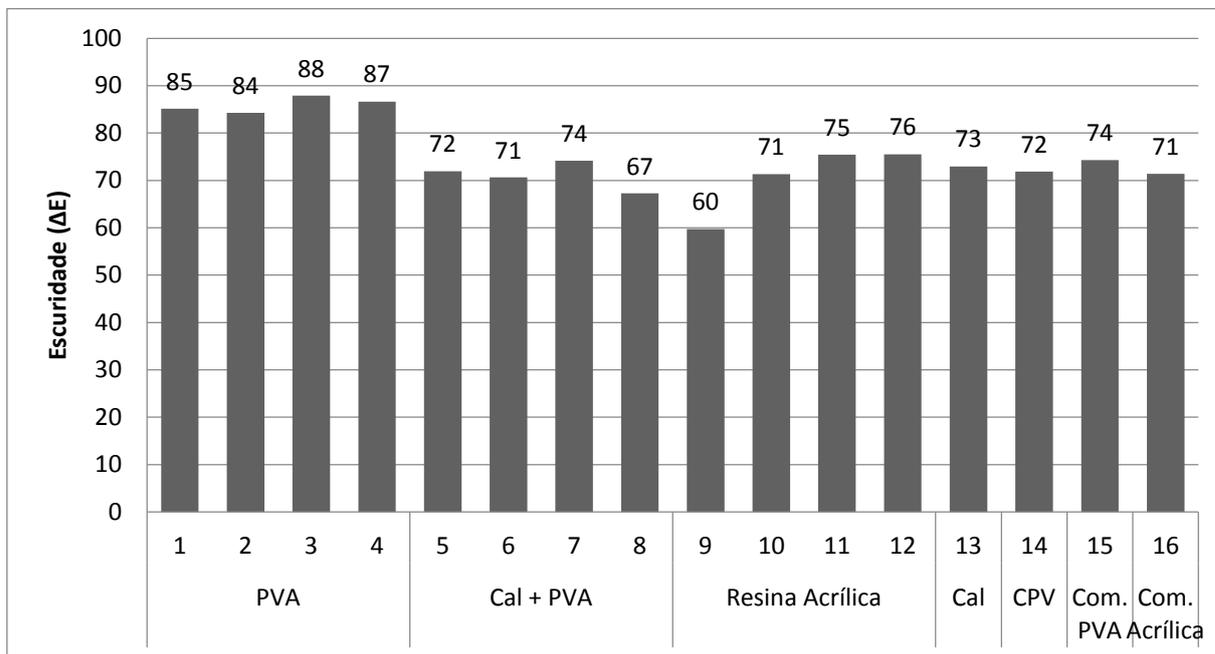


Gráfico 3- Teste de Escuridade de Cor

Foi utilizado para todas as imagens dos traços a mesma localização de pontos e neles avaliadas as cores RGB. Com a média R, média G e média B de cada traço e utilizando o Software Delta-E Calculator (Colormine, 2017), foi possível calcular o Delta-E de cada ponto com a cor branca (R=255 G=255 B=255). Assim, foi determinada a Escuridade de Cor de cada traço.

O Teste de Escuridade avaliou o poder de pigmentação dos traços, avaliando a opacidade das tintas através da diferença para a cor branca do substrato de PVC. Lembrando que valores de Delta-E na ordem de 2 não correspondem a cores diferentes pelo olho humano, os altos valores encontrados indicam que as Tintas Sustentáveis tiveram resultados satisfatórios de Poder de Cobertura protegendo de forma aceitável o substrato no qual foi aplicado. O conjunto de Traços PVA foram, no geral, os que alcançaram as cores mais escuras sendo o Traço 3 com o melhor Poder de Cobertura. Isso não significa que as demais cores tem resultados superiores ou inferiores, mas sim, que são mais claras ou escuras..

4.3 TESTE DE RESISTÊNCIA À ABRASÃO

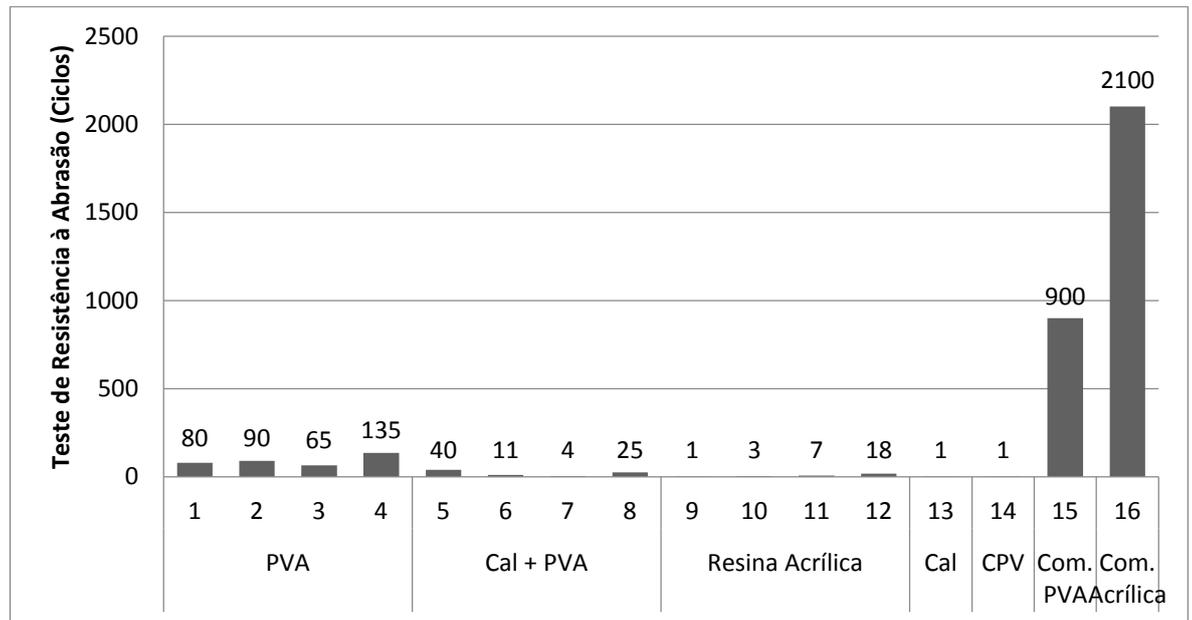


Gráfico 4- Teste de Resistência à Abrasão

O Gráfico 4 apresenta o resultado do Teste de Resistência à Abrasão dos traços. As Tintas Comerciais apresentaram excelentes resultados em comparação às Tintas Sustentáveis. A Tinta Comercial Acrílica foi 15,55 vezes superior no teste em relação ao maior resultado das Tintas Sustentáveis (Traço 4 - PVA).

Conclui-se que para Resistência à Abrasão, as Tintas Sustentáveis que possuem em sua composição PVA conseguem resistências baixas para uma possível necessidade de lavagem da superfície. Já as demais Tintas Sustentáveis, em um primeiro momento, não resistiriam a uma pequena lavagem da superfície, nem são aconselhadas o uso em ambientes onde ocorre contato direto de pessoas ou objetos na superfície, como corredores estreitos, halls, etc. Essas tintas ainda precisam de ajustes para melhorar o desempenho em comparação às Tintas Comerciais.

Cabe notar, entretanto, que os testes foram realizados após 3 dias da pintura, e sobre um substrato de baixa aderência. Como as tintas comerciais possuem COVs em sua composição de modo a acelerar a secagem, possivelmente elas estavam em um estágio de cura mais avançado do que as Tintas Sustentáveis. Assim, esse resultado poderia ter sido

melhor caso o ensaio fosse realizado após períodos mais longos e/ou em diferentes substratos.

4.4 CUSTO(R\$)

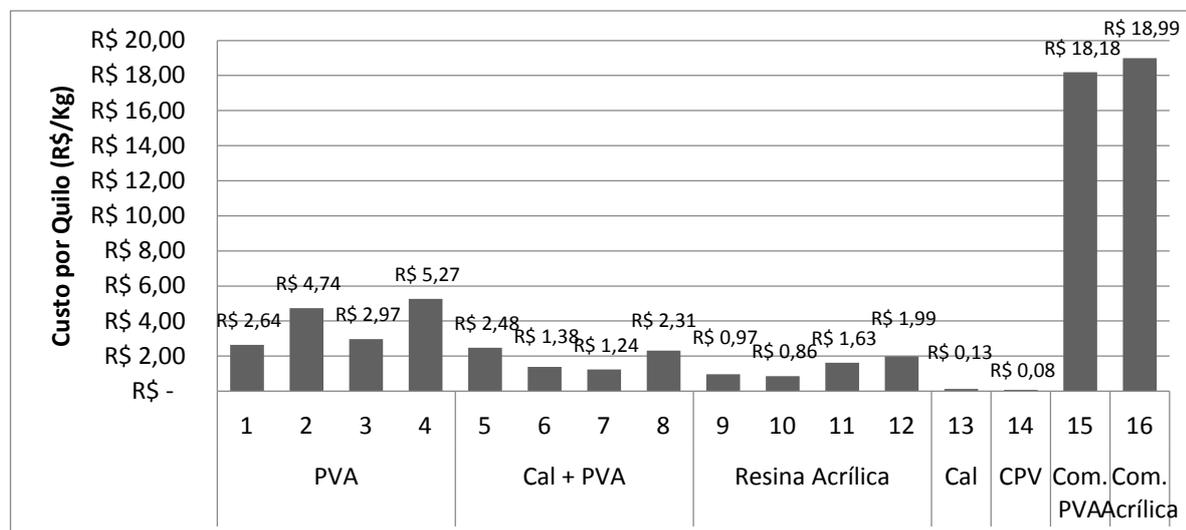


Gráfico 5- Custo por Quilograma das Tintas Sustentáveis e Comerciais (R\$/Kg)

O Gráfico 5 apresenta o custo por quilograma para a produção das Tintas Sustentáveis e o custo por quilograma das Tintas Comerciais. O custo de cada traço foi calculado levando em consideração a cotação dos insumos na cidade de Ouro Preto- MG no ano de 2016. As tintas comerciais foram as com custo mais elevado. A Tinta Sustentável de custo mais elevado foi o Traço 4 (PVA), sendo 3,6 vezes mais barata que as Tintas Comerciais. O menor valor foi do Traço 14 (Cimento), sendo 237 vezes mais barata que as Tintas Comerciais.

Conclui-se que as Tintas Sustentáveis são uma ótima opção para redução de custos na pintura.

4.5 GRÁFICO CUSTO/KG (R\$/KG), VARIABILIDADE DE COR E RESISTÊNCIA À ABRASÃO DOS TRAÇOS

A partir dos testes de variabilidade de cor, resistência à abrasão, e do parâmetro de custo/Kg, buscou-se reduzir os vários traços propostos à alguns promissores. Esses

resultados foram avaliados a partir do Gráfico 6, que parametriza todos os resultados em valores entre 0 e 5, sendo 5 o valor atribuído ao maior resultado de cada ensaio.

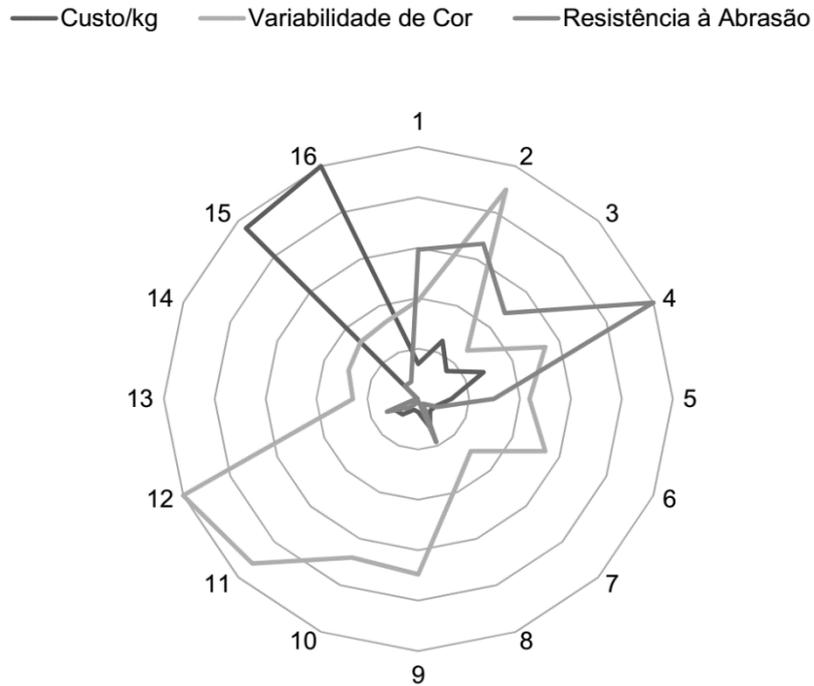


Gráfico 6- Gráfico radial comparativo: Custo/Kg, Variabilidade de Cor e Resistência à Abrasão dos Traços

Analisando-se qualitativamente esses resultados, uma das misturas de cada ligante das Tintas Sustentáveis foi escolhida para prosseguir aos ensaios de durabilidade e rendimento (custo/m²), além das comerciais. Assim, os traços 3 (PVA), 5 (Cal+PVA), 10 (Resina Acrílica), 13 (Cal) e 14 (Cimento) foram adotados.

4.6 CUSTO POR ÁREA

A seguir, a **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, apresenta a área (m²), o traço correspondente da placa, o consumo, o consumo por demão (g/m²), a média de consumo, o custo por grama de cada traço (R\$/g) e, finalmente, o custo por metro quadrado de cada tinta (R\$/m²) para cada traço nas placas cimentícias.

| PLACAS | ÁREA (m ²) | TRAÇO | CONSUMO (g) | CONSUMO/DEMÃO (g/m ²) | Média | R\$/g | R\$/m ² |
|--------|------------------------|----------|-------------|-----------------------------------|-------|-------------|--------------------|
| P1 | 0,118 | PVA | 17,9 | 151,695 | 153,6 | R\$ 0,00297 | R\$ 0,46 |
| P2 | 0,163 | PVA | 19,7 | 121,212 | | R\$ 0,00297 | |
| P3 | 0,119 | PVA | 22,4 | 187,970 | | R\$ 0,00297 | |
| P4 | 0,115 | PVA+CAL | 23,3 | 202,764 | 192,9 | R\$ 0,00248 | R\$ 0,48 |
| P5 | 0,119 | PVA+CAL | 21,7 | 183,118 | | R\$ 0,00248 | |
| P6 | 0,111 | CAL | 24 | 215,372 | 240,8 | R\$ 0,00013 | R\$ 0,03 |
| P7 | 0,120 | CAL | 31,9 | 266,282 | | R\$ 0,00013 | |
| P8 | 0,116 | RESINA | 26,1 | 224,181 | 192,0 | R\$ 0,00090 | R\$ 0,17 |
| P9 | 0,121 | RESINA | 19,3 | 159,795 | | R\$ 0,00090 | |
| P10 | 0,114 | CIMENTO | 39,6 | 348,628 | 318,8 | R\$ 0,00008 | R\$ 0,03 |
| P11 | 0,122 | CIMENTO | 35,4 | 288,996 | | R\$ 0,00008 | |
| P12 | 0,119 | LATEX | 15,5 | 129,923 | 125,1 | R\$ 0,01818 | R\$ 2,27 |
| P13 | 0,118 | LATEX | 14,2 | 120,233 | | R\$ 0,01818 | |
| P14 | 0,119 | ACRÍLICA | 22,1 | 185,101 | 177,2 | R\$ 0,01900 | R\$ 3,37 |
| P15 | 0,119 | ACRÍLICA | 20,2 | 169,320 | | R\$ 0,01900 | |

Tabela 10- Área das placas (m²), Traço, Consumo (g), Consumo/demão (g/m²), Média de Consumo (g/m²), Custo (R\$/g) e Custo (R\$/m²)

O Gráfico 7 apresenta o Custo por metro quadrado (R\$/m²) de área pintada para as tintas selecionadas através do Gráfico 6. A Tinta Comercial Acrílica foi 112 vezes mais cara por m² que a Tinta de Cimento e Cal (Tintas Sustentáveis mais baratas) e 7 vezes mais cara por m² que a Tinta de CAL+PVA(Tinta Sustentável mais cara). Sendo, portanto, as Tintas Sustentáveis excelentes opções de baixíssimos custos e altos rendimentos.

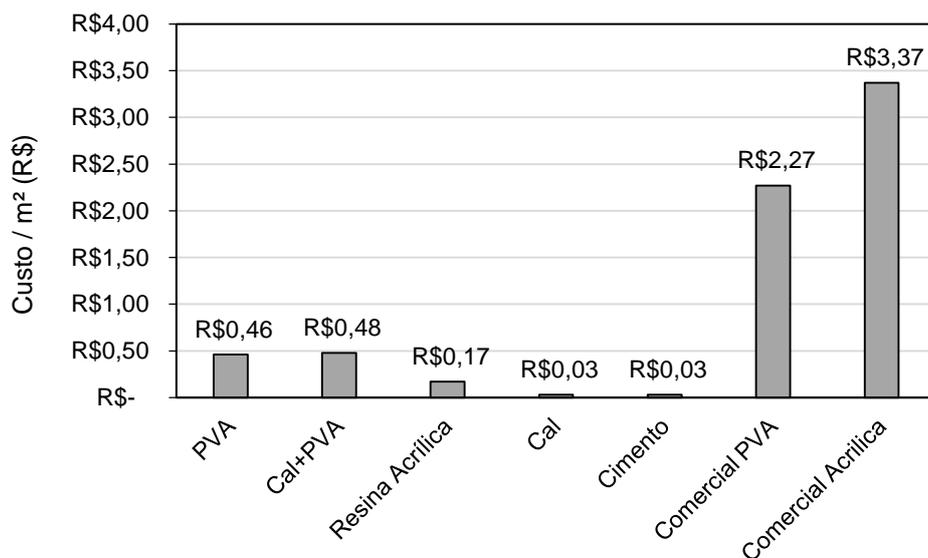


Gráfico 7- Custo por área (R\$/m²)

4.7 DURABILIDADE ÀS INTEMPÉRIES

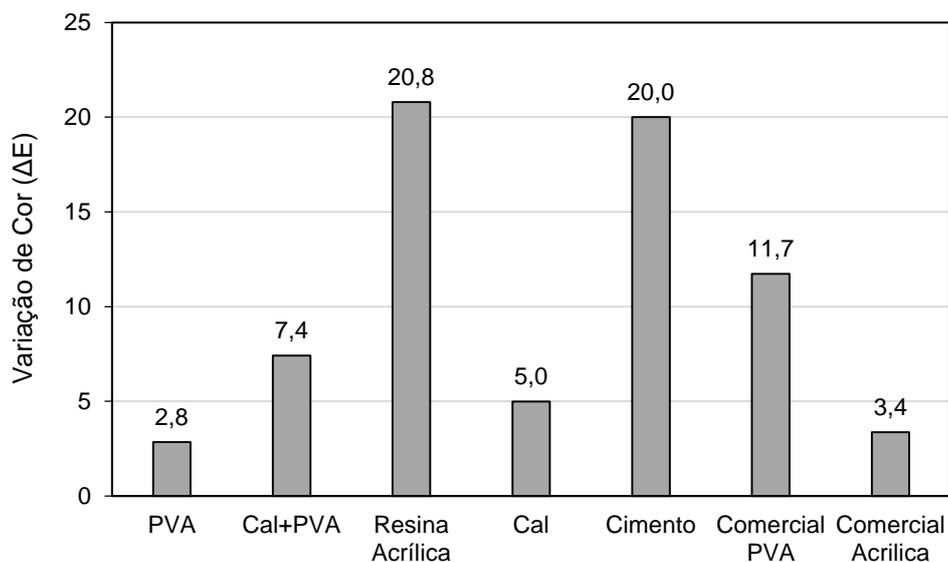


Gráfico 8- Variação de Cor das placas após 6 meses às intempéries internas e externas

O Gráfico 8 apresenta a Variação de Cor (ΔE) das placas testadas com os respectivos traços após 6 meses no ambiente interno e no ambiente externo. Utilizando o Software Delta-E Calculator (Colormine, 2017), foi possível calcular o ΔE utilizando a média R, média G e média B das placas do ambiente interno e ambiente externo.

Os traços de Resina Acrílica e Cimento apresentaram Variação de Cor superiores a 20, uma grande oscilação de cor do ambiente interno para o externo após 6 meses, concluindo então que ocorreu uma degradação no ambiente externo, sendo aconselhadas o uso em ambientes internos.

A menor Variação de Cor foi do Traço PVA com ΔE igual a 2,8. Esta é a melhor opção de pintura para ambientes internos e externos pois sua oscilação de cor foi pequena. Esse resultado superou o desempenho das tintas comerciais testadas possuindo qualidade superior de uso.

Conclui-se que o PVA foi de fundamental importância para a menor Variação de Cor (ΔE), proporcionando uma Tinta Sustentável de excelente qualidade e, conseqüentemente, maior durabilidade e vida útil.

As imagens a seguir, apresentam as Tintas Sustentáveis e as Tintas Comerciais após 6 meses expostas ao ambiente externo e ao ambiente interno.

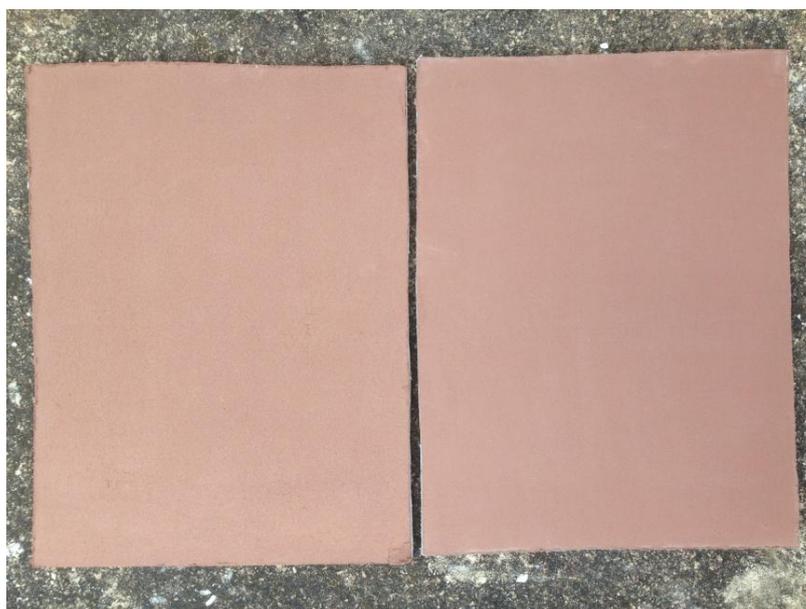


Figura 32- Traço PVA após 6 meses, à esquerda exposta no ambiente externo e à direita em ambiente interno

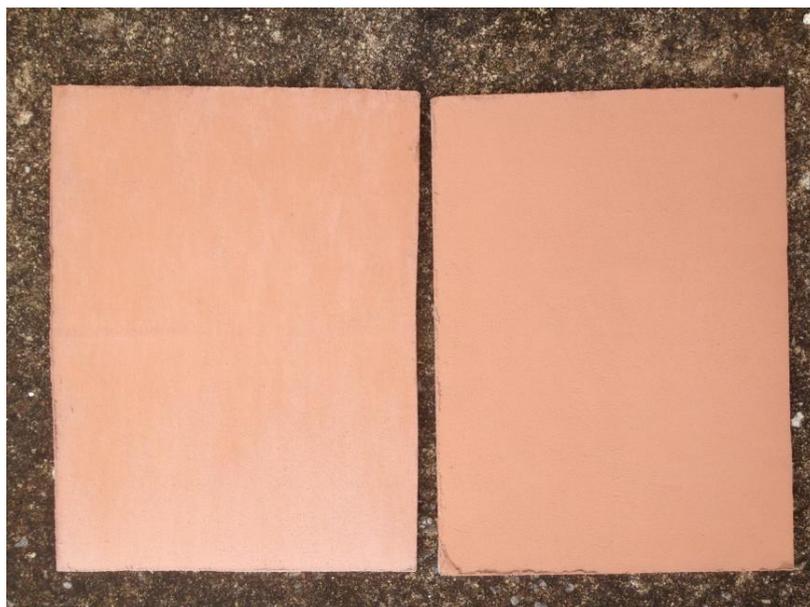


Figura 33- Traço PVA+ CAL após 6 meses, à esquerda exposta no ambiente externo e à direita em ambiente interno

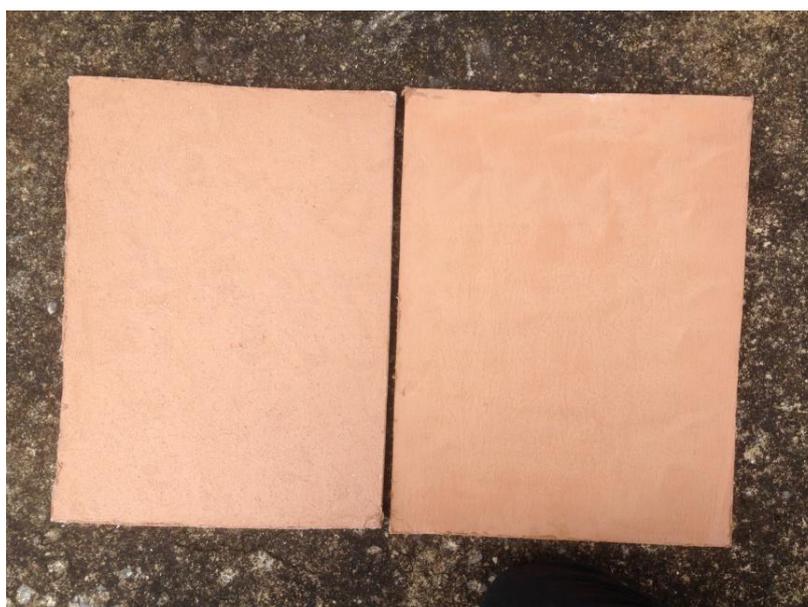


Figura 34- Traço CAL após 6 meses, à esquerda exposta no ambiente externo e à direita em ambiente interno. Houve pulverulência ao toque.

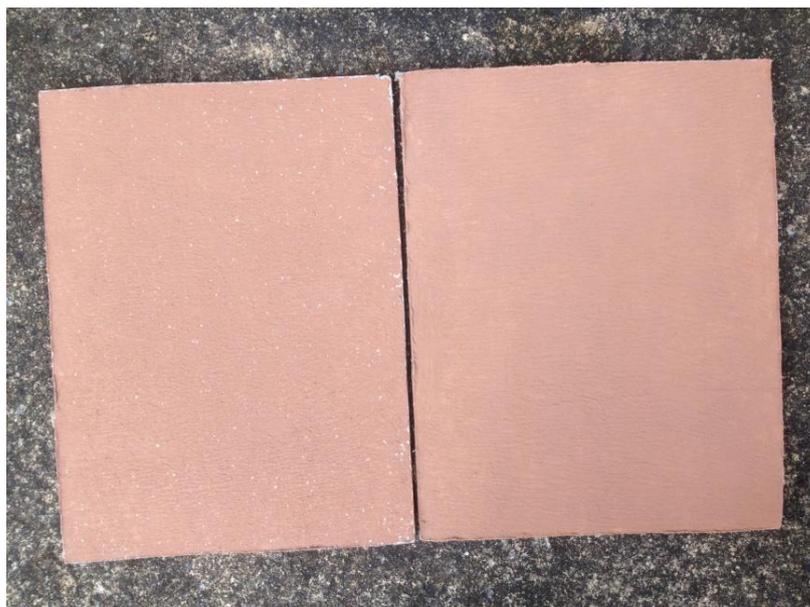


Figura 35- Traço RESINA após 6 meses, à esquerda exposta no ambiente externo e à direita em ambiente interno

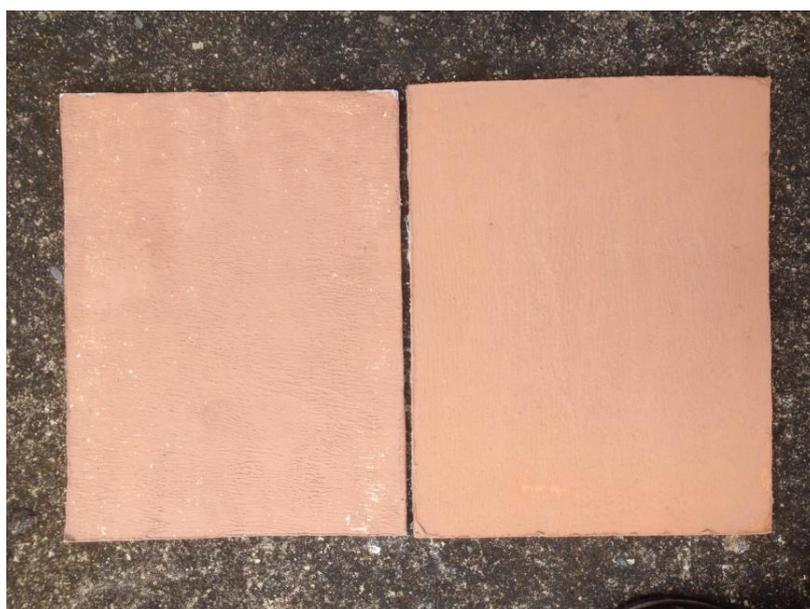


Figura 36- Traço CIMENTO após 6 meses, à esquerda exposta no ambiente externo e à direita em ambiente interno. Houve pulverulência ao toque.

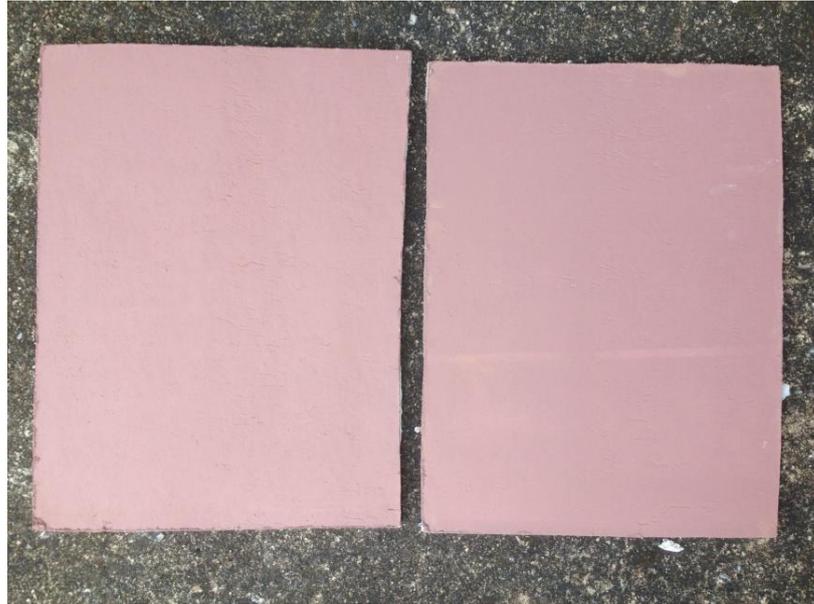


Figura 37- Tinta Comercial Acrílica após 6 meses, à esquerda exposta no ambiente externo e à direita em ambiente interno



Figura 38- Tinta Comercial Látex após 6 meses, à esquerda exposta no ambiente externo e à direita em ambiente interno

5. CONCLUSÃO

Com o desenvolvimento do trabalho foi possível avaliar a viabilidade técnica e financeira do uso de RBMF (Rejeito de Barragem de Minério de Ferro) como pigmento na constituição de tintas sustentáveis para utilização na construção civil.

O RBMF pelas suas características e propriedades apresentou bom desempenho como pigmento para tintas imobiliárias de baixo custo do ponto de vista técnico e financeiro. Nos testes de Variabilidade, Escurecimento, Resistência à Abrasão e Durabilidade às intempéries foram competitivas com as tintas comerciais (Látex e Acrílica) de cor semelhante apresentando, de modo geral, excelentes resultados.

Os resultados mostram que os traços que tinham em sua composição PVA apresentaram os melhores resultados de resistência à abrasão, durabilidade e variabilidade de cor, apresentando um custo de R\$2,72 por quilo de tinta produzida. Conclui-se, assim, que o PVA é um elemento importante para a qualidade e durabilidade da tintas.

A metodologia adotada para preparação da tinta foi definida de forma simples com a finalidade de facilitar ao máximo o preparo da tinta. Todos os equipamentos e ferramentas utilizados para a produção das tintas de RBMF são convencionais: misturador, rolos, recipientes, etc.

Do ponto de vista financeiro, a tinta apresentou um baixo custo de produção tendo uma média de R\$ 0,23 por metro quadrado (m^2) de pintura. Este custo final da tinta foi impactado pelo preço de varejo dos insumos (Cola PVA, Cal, Cimento Portland, Resina) e pelo frete do rejeito até o destino de produção. Isso indica que a localidade de produção é um fator que pode afetar o custo final das tintas de RBMF. Neste trabalho não foi analisado o custo referente à mão de obra, impostos de produção, preço de venda e alíquotas; pois buscou-se avaliar a viabilidade técnica do RBMF para ser utilizado por comunidades afetadas pelos acidentes de barragens, famílias carentes e pessoas de todas as classes que buscam expressão ambiental.

5.1 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

O estudo sobre do RBMF, bem como as propriedades e características dessas tintas, não deve terminar com a entrega desse trabalho. Se faz necessário um aprofundamento, inclusive utilizando-se de experimentos em diversos substratos, avaliando com o passar do tempo a qualidade da cobertura, sua retenção da cor e brilho, e outros possíveis aglomerantes de qualidade e baixo impacto ambiental.

6. BIBLIOGRAFIA

Alua, P. M. N. d. C., 2012. *Optimização da opacidade de tintas aquosas*. Lisboa: s.n.

Andrade, L. C. R. d., 2014. *Caracterização de rejeitos de mineração de ferro, in natura e segregados, para aplicação como material de construção civil*. Viçosa-MG: s.n.

Anghinetti, I. C. B., 2012. *Tintas, suas propriedades e aplicações imobiliárias*. Belo Horizonte: s.n.

Ávila, J. P. d., s.d. *Acidentes em barragens de rejeitos no Brasil*. s.l.:s.n.

Bastos, L. A. d. C., 2013. *Utilização de Rejeito de Barragem de Minério de Ferro como Matéria Prima para infraestrutura rodoviária*. Ouro Preto: s.n.

Bombeiros-MG, C. d., 2015. www.ebc.com.br. [Online] Available at: <http://www.ebc.com.br/noticias/2015/11/rompimento-liberou-62-milhoes-de-metros-cubicos-de-rejeitos-diz-mineradora> [Acesso em Julho 2017].

Bueno, M., s.d. *A Cor e a Visão Humana*. s.l.:Dental Press.

Capeche, C. L., 2010. *Educação ambiental tendo o solo como material didático: pintura com tinta de solo e colagem de solo sobre superfícies*. Rio de Janeiro: Embrapa Solos.

Cardoso, F. d. P., 2015. *Desenvolvimento de processos de produção e avaliação do desempenho de tintas para a construção civil manufaturadas com pigmentos de solos*. Viçosa: s.n.

Carvalho, A. F. d., 2009. *Cores da Terra: fazendo tinta com a terra*. Viçosa: Departamento de Solos.

Carvalho, P. S. L. d., Silva, M. M. d., Rocio, M. A. R. & Moszkowick, J., s.d. *Minério de Ferro*, s.l.: BNDES Setorial.

Fazenda, J. M. R., 2005. *Tintas- Ciência e Tecnologia*. 3ª ed. s.l.:ABRAFATI.

FEAM, 2011. *Inventário de resíduos sólidos da mineração: ano base 2011 / Fundação Estadual do Meio Ambiente*. Belo Horizonte: s.n.

Fontes, W. C., Mendes, J. C., Silva, S. N. D. & Peixoto, R. A. F., s.d. Mortars for laying and coating produced with iron ore tailings from tailing dams. *Construction and Building Materials - ELSEVIER*.

Galvão, J. L. & Mendes, J., 2017. *A Sustainable Paint with Iron Ore Tailings for buildings*, Ouro Preto: s.n.

Lopes, L. M. N., 2016. *O rompimento da barragem de Mariana e seus impactos socioambientais*. Niterói: s.n.

Luz, A. B. d., Sampaio, J. A. & Almeida, S. L. M. d., 2004. *Tratamento de Minérios*. 4ª Edição Revisada ed. Rio de Janeiro: CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL- MINISTÉRIO DA CIENCIA E TECNOLOGIA .

Mello, F. M. d., 2011. *A história das barragens no Brasil, Séculos XIX, XX e XXI: cinquenta anos do comitê Brasileiro de Barragens*. Rio de Janeiro: Corrado Piasentin.

Mokrzycki, W. & Tatol, M., 2011. *Color difference Delta E - A survey*. s.l.:ResearchGate .

NBR 15078:2004, 2004. *Tintas para Construção Civil- Método para avaliação de desempenho de tintas para edificação não industriais- Determinação de resistência à abrasão úmida sem pasta*. s.l.:s.n.

NBR NM 238, 2003. *Agregados- Determinação da composição granulométrica*. Rio de Janeiro: ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas.

Pinturas, T. e., s.d. *Tintas e Pinturas - ajuda a pintar*. [Online] Available at: www.tintasepintura.pt/rendimento-de-uma-tinta [Acesso em 03 Julho 2017].

Polito, G., 2006. *Principais Sistemas de Pinturas e suas Patologias*. Belo Horizonte: s.n.

Portes, A. M. C., 2013. *Avaliação da disposição de rejeitos de minério de ferro nas consistências polpa e torta[manuscrito]*. Belo Horizonte : s.n.

Seerig, R., s.d. *Estuda de Influência de cargas minerais utilizadas em tintas imobiliárias*. Porto Alegre: s.n.

Uemoto, K. L., 2002. *Projeto, execução e inspeção de pinturas*. 1ª Edição ed. São Paulo: Tula Melo.

Uemoto, K. L., Ikematsu, P. & Agopyan, V., 2006. *Construção e Meio Ambiente- Impacto ambiental das tintas imobiliárias*. Volume 7 ed. Porto Alegre: Miguel Aloysio Sattler e Fernando Oscar Ruttkay Pereira.

Wolff, A. P., 2009. *Caracterização de rejeitos de minério de ferro de minas da vale*. Ouro Preto: s.n.

8. ANEXO

8.1 SUBMISSÃO PARA O PRÊMIO LAFARGEHOLCIM

(Lafarge-Holcim Awards - A Sustainable Paint with Iron Ore Tailings for buildings)

LafargeHolcimAwards

LafargeHolcim Awards 2016/17 | Submission PDF

A Sustainable Paint with Iron Ore Tailings for buildings

[Project title]

AW17-FGGAF

[Project ID]

Next Generation Category

GENERAL PROJECT DATA

| | |
|---------------------------|---|
| Project Group 3 | Materials, products and construction technologies |
| Competition region | Latin America |
| City | Ouro Preto |
| Country | Brazil |
| Client | Federal University of Ouro Preto |
| Status of planning | Preliminary design stage |
| Planned start | Feb '17 |
| Project background | Academic research |
| Dimension size 1 | n/a |
| Dimension size 2 | n/a |
| Patent status | No patent applied for |
| Other competition | no |

PROJECT CONTACT

Ms Julia Mendes
Engineer · 1991 · female · Federal University of Ouro Preto · Laboratório de Materiais de Construção Civil, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto - Campus Morro do Cruzeiro. · 35400000 · Ouro Preto · Brazil · Tel +5532988654001 · jcmendes.eng@gmail.com · <http://reciclos.ufop.br/>

MAIN AUTHOR(S)

1. Ms Julia Mendes
Engineer · 1991 · female · Federal University of Ouro Preto · Laboratório de Materiais de Construção Civil, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto - Campus Morro do Cruzeiro. · 35400000 · Ouro Preto · Brazil · Tel +5532988654001 · jcmendes.eng@gmail.com · <http://reciclos.ufop.br/>
Civil Engineering · In progress · Ricardo André Fiorotti Peixoto · Federal University of Ouro Preto · Brazil



Undergraduate and post-graduate students who developed and tested the Sustainable Paint.

2. Mr José Lucas Galvão
Engineer · 1991 · male · MGMix Concreto e Argamassa · Rua Messias Coutinho, 111, Céu Azul · 31580-400 · Belo Horizonte · Brazil · Tel +5531991773083 · lucasbgalvao91@hotmail.com
Civil Engineer · Completed · Ricardo André Fiorotti Peixoto · Federal University of Ouro Preto · Brazil

3. Miss Aline Figueiredo
Engineer · 1993 · female · Federal University of Ouro Preto · Laboratório de Materiais de Construção Civil, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto - Campus Morro do Cruzeiro. · 35400000 · Ouro Preto · Brazil · Tel +5531 98717-5234 · alinesantanafigueiredo@gmail.com · <http://reciclos.ufop.br/>
Civil Engineering · In progress · Prof. Ricardo Fiorotti Peixoto · Federal University of Ouro Preto · Brazil

4. Miss Ana Carolina Matias
Student · 1991 · female · Federal University of Ouro Preto · Laboratório de Materiais de Construção Civil, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto - Campus Morro do Cruzeiro. · 35400000 · Ouro Preto · Brazil · Tel +5531 987721327 · anacarol_pmatias@hotmail.com · <http://reciclos.ufop.br/>
Civil Engineering · In progress · Prof. Ricardo Fiorotti · Federal University of Ouro Preto · Brazil

CONTINUED ON PAGE 5

A Sustainable Paint with Iron Ore Tailings for buildings

[Project title]

PROJECT SUMMARY

We propose the use of iron ore tailings (IOT) as pigment in the production of a Sustainable Paint for buildings. In addition to IOT and water, it employs one of 4 types of binders: PVA resin (ordinary white glue), acrylic resin, hydrated lime or Portland cement. The parameters for evaluation of the blends were: cost per litre, colour homogeneity, and durability to external exposure. All compositions present various shades of vibrant reddish-brown; are easily manufactured and applied with traditional tools. They have proved to be a promising sustainable and social technology. In this sense, we aim to mitigate the environmental impact and risks associated to tailings dams, as well as contribute to the sustainable development of civil construction materials.

PROJECT DETAILS

MATERIALS AND PRODUCTION METHODS

Paint for interior or exterior surfaces comprising IOT, water and a resin (Portland cement or PVA or Acrylic or Hydrated Lime) in proportions 1:1:0.12 to 1:1:0.5, manually or mechanically mixed.

FINANCIAL CONCEPT

Average cost/m² of commercial reddish paint in Brazil: US\$1.17; of Sustainable Paint with Cement: US\$0.01; Lime: US\$0.01; PVA: US\$0.15; Acrylic resin: US\$0.05 (Including IOT freight cost for 100km).

TECHNICAL DATA

Colour decay after 6-month exposure: Conventional PVA: 12%; acrylic: 3.6%; Sustainable Paint with Cement: 20%; Lime: 5%; PVA: 2.8%; Acrylic resin: 21%

STATEMENTS ON SUSTAINABILITY

Promoting the reuse of Iron Ore Tailings from Tailings Dams

Iron Ore Tailings are a fine crystalline material that do not present hazardous characteristics. Thus, it is technical and environmentally feasible to be used as pigment in the production of the Sustainable Paints. Mixed with an appropriate content of binder and water, the IOT present an inexpensive alternative to renovate all types of buildings. With its appealing tones, the Sustainable Paint is also a highly visible environmental expression. This new material does not require processing nor adaptation on the production method. It only undergoes drying and lump breaking. Furthermore, the Sustainable Paint rises as a solution to the harmful use of volatile organic compounds in ordinary paints. It also contributes to the reduction of the social and environmental impacts of tailings dams.

Sustainable architecture and social value

As environmental awareness and prices rise, professionals and clients seek alternatives for construction materials. This scenario favours the new trend to reuse antique technologies, such as painting with soil. This example of vernacular architecture ties the people to their own landscape, valuing the local culture and involving the community. Our proposal replaces the soil by IOT as pigment. The potential of use of Sustainable Paint by communities affected by tailings dams throughout the world is remarkable. Furthermore, several colours can be achieved by mixing IOT with local soil and/or lime. Therefore, the Sustainable Paint meets the users' expectations regarding not only the economic and aesthetic aspects, but also their desires for sustainability, ideology and social expression.

Performance with a Low Budget

Because it is manufactured on site, with a residue such as IOT for pigment, the Sustainable Paint costs 8 to 100 times less than a conventional paint, depending on the binder. When prepared properly, it presents approximately the same level of colour homogeneity as the conventional ones. After 6 months exposed to sun, rain and hail, Sustainable Paints with PVA and Lime showed barely any sign of deterioration. The others should preferably be used indoors. The Sustainable Paint is also permeable to water vapour - having the potential to reduce coating deterioration by moist. It is applied with regular brushes and rollers and does not require special equipment for preparation nor use. When fresh, it is removable with water and soap.

A Sustainable Paint with Iron Ore Tailings for buildings

[Project title]

PROJECT VISUALIZATION



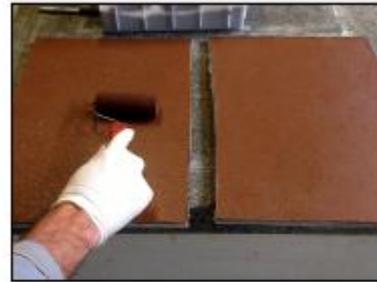
Iron Ore Tailings (IOT) are a fine, inert and crystalline material. It does not present hazardous characteristics such as corrosivity, reactivity, toxicity or flammability. Therefore, it is suitable to be used as civil construction material. In Brazil alone, there are 663 tailings dams – one of them failed in 2015, leading to the release of 62,000,000 m³ of IOT, several casualties, and an expressive impact on the ecosystem. Therefore, opportunities to reuse this material are imperative today.



Results of the durability test after 6 months exposed to the external environment: rain, UV radiation and hail. These boards painted with PVA resin presented less than 3% variation on their colour and texture. This result was obtained through an image analysis software. Those painted with lime also showed low variability, around 5%. This result highlights the pigment potential of IOT. For comparison, conventional PVA paint decayed 12% after only 6 months of exposure, and the acrylic one, 3.4%.



Materials for producing the Sustainable Paint: IOT, water and binder - in this case, white glue



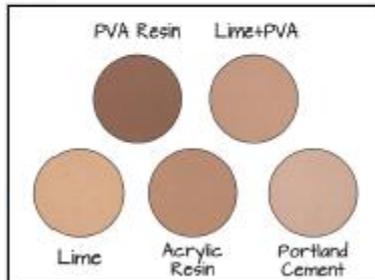
Painting the prototypes w/ regular roller. No special equipment is required for mixing nor applying.



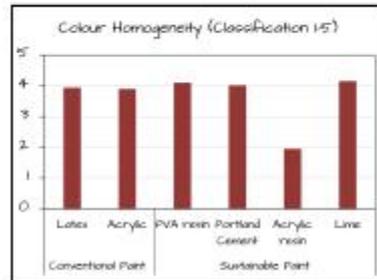
Durability test: boards exposed to sun, rain, hail and wind



Experimenting on the optimum viscosity and texture



Colours manufactured with different types of binder



Test Results of colour homogeneity (where 5 is perfect), obtained with Image Analysis Software

8.2 SUBMISSÃO PARA 59ª EDIÇÃO DO CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO CBC2017



59ª EDIÇÃO
CONGRESSO
BRASILEIRO DO
CONCRETO
BENTO GONÇALVES-RS
31 de outubro a 3 de novembro de 2017

Anais do 59º Congresso Brasileiro do Concreto
CBC2017
Outubro-Novembro / 2017



@ 2017 - IBRACON - ISSN 2175-8182

Tintas Imobiliárias Sustentáveis baseadas em Rejeito de Barragem de Minério de Ferro

Sustainable paint for buildings based on Iron Ore Tailings from Tailings Dams

José Lucas Barros Galvão (1), Ana Carolina de Paula Matias (1), Keoma Defáveri do Carmo e Silva (2), Guilherme Jorge Brigolini Silva (3), Ricardo André Fiorotti Peixoto (3), Júlia Castro Mendes (2,4)

(1) Graduando(a), Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), Departamento de Engenharia Civil.
(2) Doutorando(a), Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), Departamento de Engenharia Civil.
(3) Professor D.Sc, Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), Departamento de Engenharia Civil.
(4) Professora M.Sc. Faculdade Santa Rita (FaSaR) - Departamento de Engenharia Civil
Laboratório de Materiais de Construção Civil, Escola de Minas, Campus Morro do Cruzeiro. Ouro Preto, Brasil. CEP 35400-000. E-mail: jcmendes.eng@gmail.com

Resumo

De forma a minimizar impactos ambientais, sociais e econômicos provocados pela atividade mineradora, propõe-se o uso do rejeito de barragem de minério de ferro (RBMF) como pigmento e carga na produção de tintas imobiliárias. O rejeito é proveniente da atividade mineradora em Minas Gerais e, para este trabalho, foi utilizado no seu estado bruto, sujeito apenas a secagem e destorroamento. Além de RBMF e água, 4 tipos de resinas/aglutinantes foram testados: resina látex PVA (na forma de cola branca comum), resina acrílica, cal hidratada para pintura e cimento Portland tipo CPV. Os teores de ligantes variaram entre 0% e 50% sobre a massa de RBMF. Para a avaliação das misturas, foram utilizados 4 parâmetros principais: custo, homogeneidade de cor, resistência à abrasão e durabilidade à exposição externa, através da metodologia de diferença de cor ΔE (Delta-E). Os resultados foram comparados entre si e com tintas convencionais de marca reconhecida pela Associação Brasileira dos Fabricantes de Tintas. As misturas geraram tintas com vários tons de vermelho, de fácil fabricação e aplicação com ferramentas tradicionais. As misturas em geral, especialmente as que utilizam resina látex PVA, mostraram-se alternativas promissoras para a adoção como alternativa sustentável e tecnologia social. Nota-se o amplo potencial de uso destas tintas pelas comunidades afetadas por barragens de rejeitos de minério de ferro em todo o Brasil.

Palavra-Chave: Tintas imobiliárias; Rejeito de Barragem de Minério de Ferro; Delta-E.

Abstract

In order to minimise the environmental, social and economic impacts caused by the mining activity, this work proposes the use of iron ore tailings from tailings dams (IOT) as pigment and load in the production paint for buildings. The waste originates from mining activity in the state of Minas Gerais. For this work, it was used in its raw state, subject only to drying and lump breaking. In addition to IOT and water, 4 types of binders were tested: PVA resin (in the form of ordinary white glue), acrylic resin, hydrated lime for painting and Portland cement type CPV. Binder contents ranged from 0% to 50% over the mass of IOT. For the evaluation of the mixtures, four main parameters were used: cost, colour homogeneity, abrasion resistance, and durability to external exposure, using the colour difference methodology ΔE (Delta-E). The results of binder evaluations were compared among themselves and with conventional paints of a brand recognized by the Brazilian Association of Paint Manufacturers. The paints generated presented various shades of red; and are easy to manufacture and to apply with traditional tools. In general, the blends with IOT, especially those using PVA resin, have proved to be promising alternatives as a sustainable alternative and social technology. It is noticeable the wide potential of use of these paints by communities affected by iron ore tailings dams throughout Brazil.

Keywords: Paints for Buildings; Iron Ore Tailings; Delta-E;

