

# Aproveitamento do rejeito de mineração de calcário para a produção de geotintas

Jéssica Nathália Florêncio Zampieri <sup>1\*</sup> 

Wesmara Barbosa Ramos <sup>1</sup> 

Aron Carlos de Melo Cotrin <sup>2</sup> 

Máisa Silva de Oliveira Neves <sup>1</sup> 

Adriele Ataides de Queiroz <sup>1</sup> 

Letícia Damas Leão Dalcin <sup>1</sup> 

Renata Lázara de Araújo <sup>2</sup> 

Adenilda Cristina Honório França <sup>1</sup> 

Eduardo Luzia França <sup>1</sup> 

## Resumo

A mineração é importante para construção civil, pois fornece materiais com diversas aplicações. No entanto, as atividades de mineração e construção têm impactos ambientais negativos. A mineração causa danos em áreas de exploração e regiões próximas, enquanto que, nas construções um dos problemas são as tintas imobiliárias, por emitirem compostos orgânicos voláteis que alteram o ambiente causando riscos para a saúde. Nesse sentido, devido a demanda por produtos menos agressivos, se torna necessário o desenvolvimento de produtos à base de resíduos minerais. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar o rejeito de mineração de calcário para o desenvolvimento tintas ecológicas. Foram desenvolvidas quatro geotintas utilizando cola branca, de isopor, de trigo e de polvilho. Foram feitas análises visuais das geotintas seguindo para testes reológicos. Estas análises foram comparadas com a tinta comercial. Para a avaliação de citotoxicidade foi utilizado o método colorimétrico de MTT. Observou-se a proporção de 64,10% de rejeito de mineração de calcário, 25,64% de água e 10,26% de cola foi ideal para a produção das geotintas. A viscosidade das geotintas mostraram maior estabilidade quando submetidas à variação da temperatura. Todas as geotintas apresentaram características de fluidos não newtonianos e pseudoplásticos. A geotinta desenvolvida com rejeito de mineração, água e cola de trigo na presença de sangue humano, não alterou a viscosidade aparente e a viabilidade celular. Estes resultados sugerem que a geotinta a base de rejeito de mineração, água e cola de trigo pode ser uma boa alternativa para o aproveitamento de rejeitos de mineração de calcário.

**Palavras-chave:** Rejeito de mineração; Geotinta; Reologia; Citotoxicidade.

## Use of tailings from lime lime mining for the production of geoink

### Abstract

Mining is crucial in civil construction, providing materials for various applications. However, both mining and construction activities have negative environmental impacts. Mining causes harm in exploration areas and nearby regions, while real estate paints emit significant amounts of volatile organic compounds that can damage the atmosphere and reduce air quality. This can lead to health risks for those in the affected area. It is necessary to develop the reuse of mineral residues to meet the demand for less aggressive products. Thus, this work aimed to evaluate limestone mining tailings as an alternative for the development of ecological paints. Four inks were developed using white glue, styrofoam, wheat, and starch and compared with a commercially sold ink. Visual analyzes of geoinks and commercial paint were made, followed by rheological tests. For the evaluation of cytotoxicity, the MTT colorimetric method was used. It was observed that 64.10% of limestone mining waste, 25.64% of water, and 10.26% of glue were ideal for producing geoinks. The viscosity of the geoinks showed greater stability when subjected to temperature variation. In the flow analysis, the geoinks and the commercial ink showed characteristics of non-Newtonian pseudoplastic fluids. The ink developed with mining waste, water, and wheat glue did not change the apparent viscosity when in the presence of human blood and did not change the cell viability. These results suggest that going based on mining tailings, water, and wheat glue can be a good alternative to limestone mining tailings.

**Keywords:** Mining tailings; Geoink; Rheology; Cytotoxicity.

<sup>1</sup>Universidade Federal de Mato Grosso, UFMT, Barra do Garças, MT, Brasil.

<sup>2</sup>Universidade Federal do Paraná, UFPR, Curitiba, PR, Brasil.

\*Autor correspondente: [jessica\\_zampieri@hotmail.com](mailto:jessica_zampieri@hotmail.com)



## 1 Introdução

Na indústria de mineração existem dois tipos principais de resíduos sólidos: resíduos estéreis e rejeitos. Os materiais estéreis são os escavados, que são produzidos pelas atividades de extração (ou mineração) no desmonte de minas, não têm valor econômico e geralmente são depositados na forma de pilhas. Os rejeitos são resíduos produzidos durante o processamento de substâncias minerais. Esses processos visam padronizar o tamanho dos fragmentos, remover minerais relacionados sem valor econômico e melhorar a qualidade, pureza ou conteúdo do produto final [1].

É notório que essa atividade modifica o meio ambiente, pois altera o local e as áreas próximas onde se realiza a mineração. Na ausência de um plano de reciclagem eficaz, o impacto ambiental geralmente está relacionado aos resíduos gerados e descartados [2]. Nesse sentido, dentre os principais problemas provenientes da atividade de mineração, se destacam a poluição do ar, da água, do solo e sonora, assim como rejeitos radioativos, subsidência do terreno e possíveis incêndios [3].

Desta forma, a atividade mineral tem sido apontada por gerar impactos negativos, como problemas de saúde dos trabalhadores e ambientais. A maioria dos problemas ambientais se relacionam a algum dano ao ecossistema local, principalmente associado ao ar, solo, rios, águas subterrâneas, assoreamento e desmatamento. Esses impactos negativos geralmente atingem o pico quando a paisagem natural muda drasticamente, levando a extinção de espécies vegetais e/ou animais [4].

Impactos ambientais também são associados à utilização de tintas imobiliárias. Estes produtos emitem quantidades consideráveis de componentes orgânicos voláteis (COVs), devido a sua composição e ao processo de fabricação [5]. Os COVs emitidos pelas tintas usadas em construções são considerados uma preocupação mundial. Estes compostos, além de contribuírem para a poluição atmosférica, afetam a saúde do trabalhador e dos usuários, através de alteração na qualidade do ar presente na edificação [6].

Nesse sentido, a demanda por produtos menos agressivos ao ambiente se torna cada vez mais necessário. As tintas ecológicas, conhecidas como geotintas, têm sido apontadas como alternativa viável e sustentável. Elas apresentam características importantes, como sendo um material atóxico, sem cheiro, com coloração permanente, que resistente ao desbotamento, podendo ser aplicada em ambientes externos e internos [7]. Também são produtos que não agredem o meio ambiente, não poluem a atmosfera e não oferecem risco à saúde humana [8]. A literatura relata alguns estudos de tintas ecológicas que foram desenvolvidos a partir de rejeito da mineração de caulim [2] e de argila [9]. Porém a utilização de rejeito de calcário ainda permanece a ser elucidado.

A mineração de calcário foi responsável pela geração de 12,9 milhões de toneladas de rejeitos em 2010, e estima-se que em 2030, este tipo de atividade passará a gerar 20,4 milhões de toneladas, equivalente a 2,99% do total de rejeitos produzidos

no Brasil [10]. A incorporação de resíduos de mineração de calcário foi utilizada na produção de blocos de concreto, mas não há relatos de utilização de rejeito de mineração de calcário para produção de geotinta. Sabe-se que esses resíduos são descartados sem nenhum tipo de aproveitamento, sendo um problema para as empresas e para o meio ambiente [11]. Assim, o presente trabalho teve como objetivo desenvolver e caracterizar quatro composições de geotintas com o aproveitamento do rejeito de mineração de calcário.

## 2 Materiais e métodos

As colas comerciais denominadas colas branca e cola de isopor foram adquiridas no comércio local da cidade. Sobre o desenvolvimento das colas caseiras, para a cola de polvilho foram utilizadas 70g do material dissolvido em 750mL em água aquecida e adicionados 250mL de água fria. Misturou-se ao material até a homogeneização. Para a obtenção da cola de trigo, colocou-se para aquecimento sob ponto de ebulição 360mL de água e dissolveu-se 28g de farinha de trigo em 120 mL de água fria em um recipiente e essa mistura foi adicionada à água aquecida.

Para o rejeito de mineração de calcário, foi feito o destorroamento do material de acordo com a ABNT NBR 6457 [12] e separação granulométrica com o agitador de peneiras 110/220V-50/60Hz para obter uma granulometria inferior a 0,075 mm (#200), de acordo com a ABNT NBR 7181 [13]. Os materiais foram pesados separadamente em balança eletrônica de precisão Shimadzu AY 220 max 220 g d=0,1 mg, sendo a proporção de 25g de rejeito, 10 mL de água e 4 mL de cada respectiva cola, utilizando como referência os dados de Azevedo e Vital [2].

A superfície de pintura foi uma peça com aspecto poroso, com superfície limpa, coesa e seca como recomendado ABNT NBR 13245/2011 [14]. Foi utilizado pincel retangular para pintura com cerdas sintéticas de dimensão 2 1/2". Foram aplicadas três demãos das geotintas aguardando o tempo de 3 horas entre as demãos, conforme estabelecido por Carvalho et al. [15] e Azevedo e Vital [2]. No mesmo sentido foi feita a pintura da tinta comercial, seguindo as instruções do fornecedor. A placa pintada foi monitorada e verificou-se o aspecto das tintas depois de 1 mês e 6 meses de aplicação. Como fatores facilitadores foram utilizadas as seguintes siglas: TC – tinta comercial; CB – geotinta com uso de Cola Branca; CI – geotinta com uso de Cola de Isopor; CT – geotinta com uso de Cola de Trigo; CP – geotinta com uso de Cola de Polvilho.

Para os parâmetros reológicos, foi utilizado o reômetro de modelo: Modular Compact Rheometer - MCR 102 (Anton Paar® GmbH, Ostfildern, Germany) acoplado ao Software Rheoplus V3.61, com controle permanente do gap de medição com suporte TruGap™ em 0,099 mm, célula de medição Toolmaster™ CP 50 e controle preciso da temperatura com recurso T-Ready™. Este mesmo Software foi utilizado para a elaboração dos gráficos reológicos.

Para a rampa de temperatura, foi utilizada a variação 25 °C a 45 °C. As curvas de fluxo da viscosidade a tensão de cisalhamento e taxa de cisalhamento foram determinadas a uma variação de 0 a 5 Pa para curva ascendente e de 5 a 0 Pa para a curva descendente, sendo assim possível determinar a área de histerese. Foi utilizada uma temperatura de 37 °C com um material composto de 500µL de sangue de 3 doadores diferentes e 50 µl de tintas dissolvidas na concentração de 100µg/mL utilizando o solvente DMSO (*dimethyl sulfoxide*).

O ensaio de MTT (3-(4,5-dimetiltiazol-2-yl)-2,5-difenil brometo de tetrazolina) foi utilizado na avaliação da viabilidade celular. Foram coletadas 10 mL de amostras de sangue, em tubos Vacutainer com EDTA (Beckton Dickinson, Franklin Lakes, NJ, USA®), de 5 doadores voluntários, clinicamente saudáveis, com idade compreendida entre 18 e 45 anos. O efeito citotóxico dos estímulos (cola de trigo e tinta comercial) foi avaliado pelo método colorimétrico MTT (brometo de 3-(4,5-dimetiltiazol-2-il)-2,5-difeniltetrazólio). Utilizou-se 100 µL de células MN, previamente ajustadas em suas concentrações padrões, foram pipetadas em placas de 96 poços e tratadas com os estímulos nas concentrações de 100 µg.mL<sup>-1</sup>, 100 ng.mL<sup>-1</sup> e 100 pg.mL<sup>-1</sup>. Em seguida foram incubados por 24 horas a 37 °C e 5% de CO<sub>2</sub>. Após este período, 20µL de MTT (5 mg.mL<sup>-1</sup>) foram adicionados aos poços contendo as amostras e as placas foram incubadas novamente por mais 3 horas. As células metabolicamente ativas reduziram o MTT (5 mg.mL<sup>-1</sup>) aos cristais de formazano azuis, que foram dissolvidos em 50 µL de solução de solubilização (Dodecil Sulfato de Sódio (SDS) 20%). Após, deixou-se a placa sob agitação por 20 minutos, para a dissolução dos cristais e obtenção de uma solução translúcida. Em seguida, a absorbância foi determinada a 492 nm usando um leitor de microplacas (Thermo Plate, TP READER).

## 2.1 Análises estatísticas

Os dados foram analisados no software Bioestat 5.0®, através do teste de análise de variância (ANOVA)

seguido pelo teste de comparações múltiplas (TUKEY). As estatísticas foram consideradas significativas quando o valor de p foi menor que 0,05 (p<0,05).

## 3 Resultados e discussão

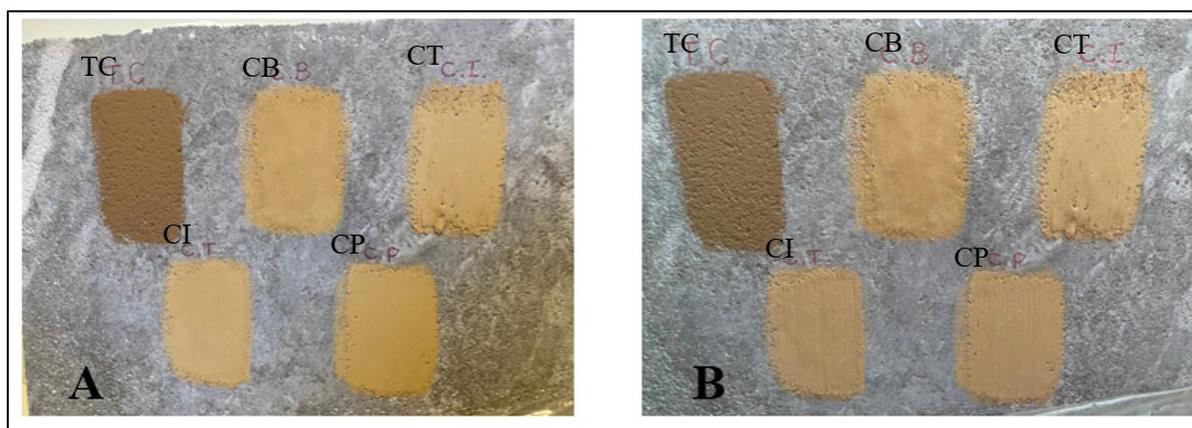
A procura de alternativas para o aproveitamento dos rejeitos de mineração para fins comerciais tem sido uma estratégia importante e ecologicamente sustentável.

O aproveitamento ou uso de rejeitos provenientes da atividade de mineração tem sido usado como matéria-prima para artesanatos, decorações e na construção civil [16]. Neste estudo, utilizando o rejeito de mineração de calcário, foram produzidas quatro geotintas e avaliadas em relação aos aspectos visuais, suas características comportamentais em relação a mudança de temperatura, análises reológicas para verificar mudanças estruturais e o potencial citotóxico visando obter um produto biocompatível.

### 3.1 Avaliação visual

Durante a aplicação das tintas em estudo, observou-se que todas são de fácil aplicação, com exceção da CI, a geotinta aderiu rapidamente ao pincel, o que dificultou no momento da aplicação e resultou no acúmulo de materiais em determinados pontos da placa. A respeito da textura, a TC apresentou diferença na característica das geotintas e seu aspecto final foi semelhante a um filme sólido. Por outro lado, as geotintas apresentaram um aspecto mais espesso, preenchendo os locais porosos da placa.

Tanto no primeiro como no sexto mês de observação (Figura 1) constatou-se que todas as tintas apresentaram estabilidade na cor e permaneceram sem alteração na cor após a secagem, formação de bolhas, descascamento, fendilhamento, rachaduras e emboloramento. Contudo, após 6 meses, a geotinta CI apresentou um aumento de vazios na pintura (Figura 1B).



**Figura 1.** Imagens dos aspectos físicos das tintas estudadas: (A) após 1 mês de observação; (B) após 6 meses de observação. Geotintas de cola branca (CB); cola de isopor (CI); cola de trigo (CT); cola de polvilho (CP); tinta comercial (TC).

O mesmo foi observado por Faria e Schmid [17]. Os autores realizaram o ensaio de envelhecimento acelerado, com observação visual das características físicas de tintas naturais e relataram resultados satisfatórios para essas tintas, quando comparadas às tintas comerciais.

### 3.2 Rampa de temperatura

Na Figura 2 é possível observar que a cola branca e a cola de isopor não apresentaram variação na viscosidade aparente ( $p>0,05$ ) com a alteração da temperatura. Por outro lado, as colas de polvilho e de trigo, apresentaram uma variação acentuada da viscosidade aparente ( $p<0,05$ ) ao longo do aumento da temperatura. O valor-p é definido como a probabilidade de se observar um valor da estatística de teste maior ou igual ao encontrado.

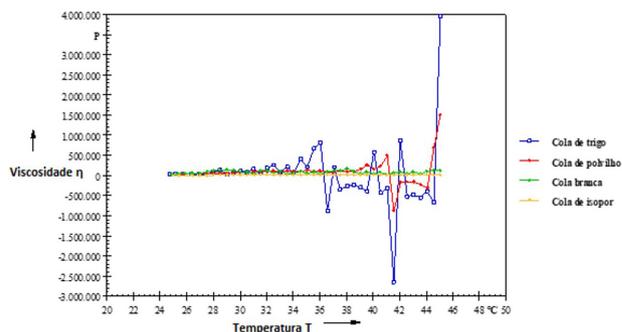
Suspensões concentradas de polvilho e trigo, são exemplos de fluidos dilatantes. Nesses fluidos, a viscosidade aparente aumenta com o incremento da taxa de deformação [18]. Os parâmetros reológicos sofrem a influência da concentração e da temperatura [19]. Dessa forma, a variação da viscosidade aparente observada nas colas de polvilho e de trigo pode estar relacionada não apenas com a temperatura, bem como, com a concentração da suspensão de polvilho e trigo utilizada nas colas. A Figura 3 apresenta a comparação do perfil de viscosidade aparente da TC com as colas utilizadas nas geotintas.

Foi possível observar que a viscosidade aparente da TC em relação às colas foi constante ( $p>0,05$ ) até, aproximadamente, a temperatura de 30,6 °C. A partir dessa temperatura, observa-se a formação de picos pronunciados de viscosidade aparente ( $p<0,05$ ), principalmente na temperatura de 37,2 °C, aproximadamente. Em relação às colas, foram observadas alterações nas colas de trigo e de polvilho ( $p<0,05$ ). No entanto, essas alterações ocorreram em temperaturas superiores da apresentada pela TC.

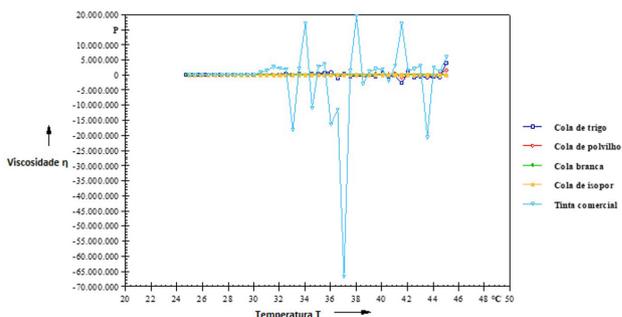
As tintas comerciais são compostas por uma parcela viscosa e por outra elástica, sendo consideradas, assim, um material viscoelástico, altamente dependente do tempo [20], o que provavelmente justifica as diferenças encontradas entre as colas utilizadas para produção da geotinta e a tinta comercial. A estabilidade na viscosidade aparente das colas branca e de isopor pode estar relacionada ao modo de obtenção desses produtos. Essas colas são industrializadas e obtidas prontas para serem utilizadas no processo de fabricação das geotintas.

### 3.3 Análise reológica

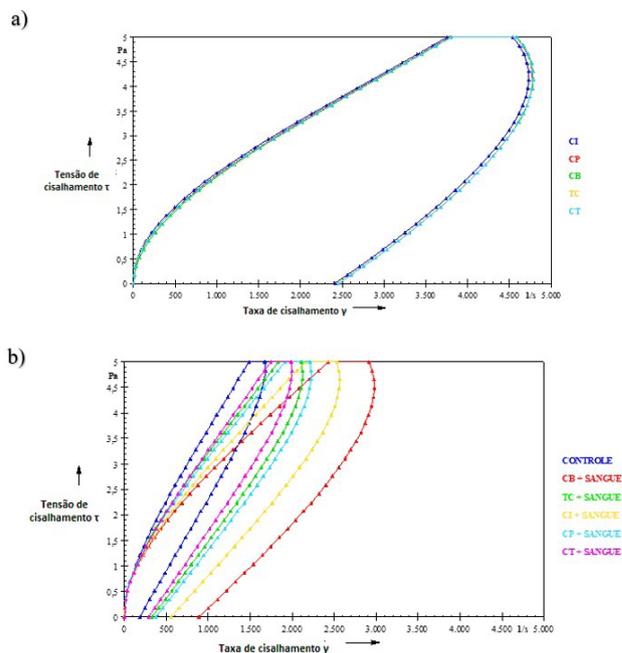
Para caracterizar as mudanças reológicas e estruturais das geotintas foi utilizado a reologia, que é uma ferramenta útil e necessária para melhorar a compreensão do comportamento das tintas e adaptá-las para uso e aplicação [21]. As curvas de fluxo da TC e das geotintas (CI, CT, CB e CP) estão representadas na Figura 4a. Na Figura 4b, estão representadas as curvas de fluxo para o grupo controle (sangue periférico humano) adicionado ou não da TC e às geotintas.



**Figura 2.** Curva de viscosidade aparente sob rampa de temperatura (25 a 45°C) das colas utilizadas no processo de fabricação das geotintas.



**Figura 3.** Curvas de viscosidade aparente sob rampa de temperatura (25 a 45°C): Comparação entre a cola trigo, cola de polvilho, cola branca, cola de isopor e tinta comercial.  $p>0,05$ .



**Figura 4.** Curva de fluxo (a) da Geotintas de cola branca (CB); cola de isopor (CI); cola de trigo (CT); cola de polvilho (CP); e tinta comercial (TC); (b) curvas de fluxo do sangue periférico humano na presença das Geotintas de cola branca (CB); cola de isopor (CI); cola de trigo (CT); cola de polvilho (CP); e da tinta comercial (TC).

Os reogramas iniciam da origem (zero no reograma) e, uma vez que não há ponto de cedência, o material começa a fluir, assim que a tensão de cisalhamento seja aplicada. A inclinação da curva diminui gradualmente com o aumento da taxa de cisalhamento.

Observa-se que não houve diferenças significativas ( $p>0,05$ ) entre todas as geotintas, ou entre a TC e as geotintas. Nota-se um desvio de inclinação da curva ( $p<0,05$ ) entre todas as amostras em relação ao grupo controle, exceto entre o grupo controle e a CT adicionada em sangue periférico humano ( $p>0,05$ ). O perfil de todos os fluxos (Figura 4) é característico de fluidos não newtonianos por apresentar uma relação não linear entre curva ascendente e curva descendente [22-24]. A área de histerese, também evidencia o comportamento não newtoniano para as amostras, uma vez que exibiu valores superiores a  $1 \text{ Pa}\cdot\text{s}^{-1}$  [22]. Muitos materiais industriais se comportam como fluidos não-newtonianos e um exemplo são as tintas. É possível observar isso ao manipular a tinta, que é muito viscosa ao ser retirada da lata, porém, ao ser aplicada na parede, a camada de tinta formada é submetida a uma grande tensão de cisalhamento, diminuindo sua viscosidade aparente [25].

Além disso, para descrever os parâmetros reológicos, bem como a classificação reológica das amostras nas condições de estudo, o modelo matemático de Ostwald-de-Waele (Lei da Potência) foi utilizado (Tabela 1). De acordo com os valores dos parâmetros estatísticos de coeficiente de determinação ( $R^2$ ), os dados experimentais ajustaram-se bem ao modelo matemático utilizado ( $R^2 > 0,99$ ).

O índice de comportamento ( $n$ ), indica fisicamente o afastamento do fluido do modelo newtoniano. Muitos fluidos não newtonianos se comportam como pseudoplásticos quando  $0 < n < 1$  e dilatantes, quando  $1 < n < \infty$  [26]. Neste trabalho, o índice de comportamento para todas as amostras ( $p>0,05$ ) foi menor do que 1, afirmando o comportamento de fluido não newtoniano pseudoplástico (Tabela 1).

Em fluidos não newtonianos a viscosidade é dependente da taxa de cisalhamento, não é linear, ou seja, pode-se obter diferentes viscosidades congruentes com a variação da velocidade de cisalhamento ou da tensão aplicada, sendo neste caso denominada de viscosidade aparente. A integridade estrutural e a não deformação das células é significativo durante o fluxo sanguíneo no que diz respeito às taxas de viscosidade. Assim, alterações reológicas no sangue consistem em modificações nas propriedades celulares, principalmente na membrana celular. Desta forma, o sangue é um bom modelo para testar as variações na viscosidade de materiais potencialmente tóxicos [24], ou de produtos que podem entrar em contato com a pele, olhos, ou serem inalados por vias respiratórias, causas comuns de intoxicação pela exposição demasiada às tintas [27], que possam modificar as propriedades reológicas.

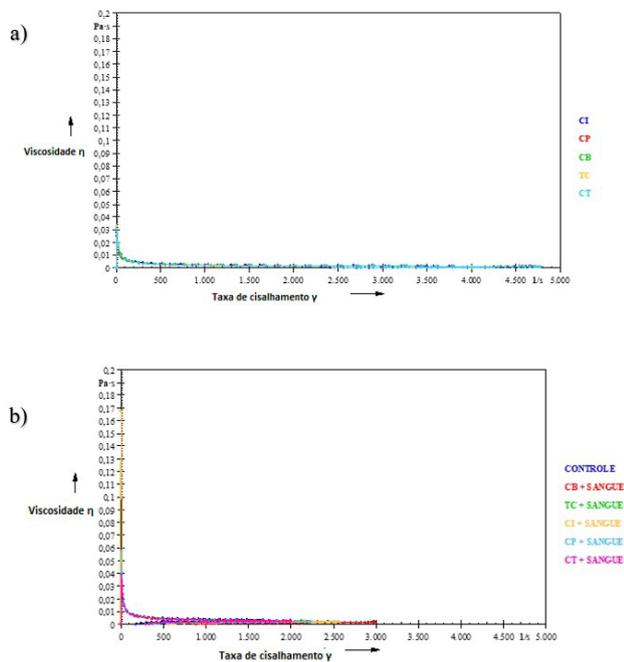
Na Figura 5, as curvas de viscosidade aparente para as geotintas e TC (Figura 5a) e do sangue na presença ou não das geotintas e da TC (Figura 5b) revelaram características de fluidos pseudoplásticos, uma vez que a viscosidade aparente diminuiu progressivamente com o aumento da taxa de cisalhamento [28]. Esse resultado corrobora com a classificação dos fluidos, obtida a partir do modelo matemático de Ostwald-de-Waele, que prediz que todos os fluidos utilizados nesse estudo podem ser classificados como pseudoplásticos (Tabela 1).

Não houve diferenças significativas ( $p>0,05$ ) na viscosidade aparente de todas as geotintas, ou entre as geotintas e a TC (Figura 5a). Por outro lado, na Figura 5b, observa-se diferenças significativas ( $p<0,05$ ) entre as geotintas e a TC, quando comparadas ao sangue (controle), exceto para a geotinta de cola de trigo (CT) adicionada ao sangue periférico humano. À princípio, observa-se que todas as amostras apresentaram uma alta viscosidade em baixas taxas de cisalhamento (Figura 5a). Esse fato está relacionado a características importantes que as tintas devem apresentar, uma vez que isso proporciona boas propriedades de resistência à sedimentação e estabilidade do pigmento em condições de armazenamento [29].

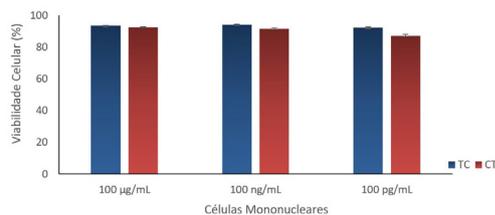
**Tabela 1.** Parâmetros reológicos das amostras

Material	Parâmetros			Classificação do fluido
	N	K	R <sup>2</sup>	
CI	0,516 <sup>a</sup>	55,852 <sup>g</sup>	0,997	Pseudoplástico
CP	0,537 <sup>a</sup>	55,852 <sup>g</sup>	0,998	Pseudoplástico
CB	0,558 <sup>a</sup>	47,281 <sup>h</sup>	0,999	Pseudoplástico
TC	0,513 <sup>a</sup>	66,433 <sup>d</sup>	0,995	Pseudoplástico
CT	0,518 <sup>a</sup>	63,822 <sup>e</sup>	0,996	Pseudoplástico
Controle	0,593 <sup>a</sup>	59,740 <sup>f</sup>	0,994	Pseudoplástico
Sangue + CB	0,526 <sup>a</sup>	75,777 <sup>e</sup>	0,995	Pseudoplástico
Sangue +TC	0,542 <sup>a</sup>	76,013 <sup>e</sup>	0,992	Pseudoplástico
Sangue +CI	0,487 <sup>a</sup>	102,125 <sup>a</sup>	0,992	Pseudoplástico
Sangue +CP	0,530 <sup>a</sup>	81,126 <sup>b</sup>	0,991	Pseudoplástico
Sangue +CT	0,569 <sup>a</sup>	64,129 <sup>c</sup>	0,992	Pseudoplástico

Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente e medias seguidas por letras diferentes diferem significativamente pelo teste de Tukey ( $p<0,05$ ). N: índice de comportamento ao escoamento (adimensional); K: índice de consistência ( $\text{Pa}\cdot\text{s}^n$ ); R<sup>2</sup>: coeficiente de correlação. Geotintas de cola branca (CB); cola de isopor (CI); cola de trigo (CT); cola de polvilho (CP); tinta comercial (TC).



**Figura 5.** Viscosidade aparente (a) das geotintas e da tinta comercial; (b) do sangue (controle) na presença das geotintas e da tinta comercial. Geotintas de cola branca (CB); cola de trigo (CT); cola de isopor (CI); cola de polvilho (CP); tinta comercial (TC).



**Figura 6.** Índice de Viabilidade das células mononucleares do sangue na presença da tinta comercial (TC) e da geotinta cola de trigo (CT).  $p > 0,05$  diferença não significativa.

### 3.4 Viabilidade celular

A utilização de linhagens de células *in vitro* tem sido validada como modelo para avaliar a biocompatibilidade e toxicidade de produtos químicos, devido ao baixo custo, maior produtividade e resultados mais rápidos [30]. Estudos relatam o uso de células sanguíneas em teste de viabilidade para uma variedade de produtos [24,31].

Neste estudo, a geotinta a base de cola de trigo (CT) apresentou estabilidade térmica (rampa de temperatura) e não gerou modificações estruturais no sangue, evidenciado pela análise de viscosidade (Figura 5b). Desta forma, esta geotinta foi escolhida para verificar sua biocompatibilidade através do teste de viabilidade celular. O índice de viabilidade celular, obtido através do método MTT, das células mononucleares (MN) do sangue, na presença da tinta comercial e da geotinta de Cola de Trigo, em diferentes concentrações estão apresentados na Figura 6.

Observa-se que independente da concentração das tintas, os índices de viabilidade, foram superiores a 87% (Figura 6), e não houve diferença significativa entre a TC e a geotinta CT. Os resultados demonstram que nenhuma tinta utilizada apresentou citotoxicidade frente às células MN, uma vez que, uma amostra é considerada citotóxica quando a porcentagem de viabilidade das células expostas é inferior a 70% [32].

As pessoas ficam expostas às tintas a maior parte de sua vida, seja devido a uma parede de casa pintada, ou no trabalho, em muros ao caminhar pela rua, entre outros lugares. Dessa forma, a dosagem citotóxica, ou seja, o quanto desse produtos podem ser tóxicos para uma determinada célula, deve ser conhecida para definir a possibilidade de testes *in vivo* e estabelecer uma margem de segurança para o produto em relação às suas atividades biológicas [33].

## 4 Conclusão

A proporção ideal para produção das geotintas foi de 64,10% de rejeito de mineração, 25,64% de água e 10,26% de cola. Quanto aos aspectos visuais, as geotintas à base de cola de trigo, cola branca e cola de polvilho apresentaram boa aparência, sem alteração da cor, sem formação de bolhas, rachaduras, emboloramento, fendilhamento ou descascamento até após 6 meses de aplicação. A geotinta à base de cola de isopor apresentou um aumento de vazios na pintura após 6 meses de aplicação.

No geral, a viscosidade aparente de todas as colas utilizadas se manteve constante ao longo da variação de temperatura. Pequenas alterações foram observadas nas colas de trigo (36,8 °C) e de polvilho (41,6 °C), sugerindo que as geotintas à base das colas utilizadas, apresentam boa estabilidade, mesmo em temperaturas mais elevadas.

Todas as geotintas apresentaram características de fluidos não newtonianos e pseudoplásticos, características similares às da tinta comercial. A geotinta desenvolvida com rejeito de mineração, água e cola de trigo (CT) não alterou a viscosidade aparente quando em presença de sangue periférico humano, sugerindo que ela não ocasionou mudanças estruturais nos componentes presentes no sangue. Esta geotinta também não alterou a viabilidade celular pelo ensaio de MTT, reforçando a biocompatibilidade do produto.

Estes dados sugerem que a geotinta a base de rejeito de mineração, água e cola de trigo é uma alternativa sustentável para a reutilização de rejeitos de mineração de calcário, que além de reduzir os impactos da mineração, pode agregar valor financeiro.

## Agradecimentos

Os autores agradecem a Fundação de Amparo à Pesquisa de Mato Grosso (FAPEMAT) pelo apoio financeiro. Processo Nº: FAPEMAT-PRO.000148/2023 e o Termo de Compromisso: PRO-2023/00623.

## Referências

- 1 Silva A, Viana J, Cavalcante A. Diagnóstico dos resíduos sólidos da atividade de mineração de substâncias não energéticas: relatório de pesquisa. Brasília: IPEA; 2012.
- 2 Azevedo GH, Vital AFM. Aproveitamento do rejeito das indústrias de beneficiamento do caulim para a produção de tinta ecológica à base de terra. *Tecnologica em Metalurgia, Materiais e Mineração*. 2018;15(3):242-247.
- 3 Yazbek Bitar O. Recuperación de áreas degradadas por la minería en regiones urbanas. In: II Curso Internacional de Aspectos Geológicos de Protección Ambiental; 2002; Campinas, SP, Brasil. Paris: UNESCO; 2002. p. 332-345.
- 4 Villa Verde RBDR, Alamino RDCJ, Fernandes FRC. O recorte da atividade mineral na região Centro-Oeste. Brasília: CETEM/MCTI; 2014.
- 5 Merten HO, Silva MB, Caldas LR, Sposto RM. Compostos Orgânicos Voláteis de Tintas imobiliárias e certificações ambientais: estudo de caso para subsolos. *REEC: Revista Eletrônica de Engenharia Civil*. 2017;13(1):128-139.
- 6 Uemoto KL. Projeto, execução e inspeção de pinturas. São Paulo: O Nome da Rosa; 2002.
- 7 Anghinetti ICB. Tintas, suas propriedades e aplicações imobiliárias [monografia]. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais; 2012.
- 8 Santos Silva MF, Silva EPL, Lima SF. Tinta ecológica. *Caderno de Graduação-Ciências Exatas e Tecnológicas-UNIT-ALAGOAS*. 2018;4(3):125-130.
- 9 Sales FHS, Costa TO. Tintas ecológicas a partir de minerais encontrados na costa maranhense. *HOLOS*. 2018;1:16-29.
- 10 Silva APMD, Viana JP, Cavalcante ALB. Diagnóstico dos resíduos sólidos da atividade de mineração de substâncias não energéticas. Relatório de pesquisa. Brasília: Ipea; 2012.
- 11 Bolzan MV. Estudo da utilização de resíduos da mineração de calcário na produção de blocos de concreto para construção civil. Bagé: Unipampa; 2015.
- 12 Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. ABNT NBR 6457: amostras de solo: preparação para ensaios de compactação e caracterização, com secagem prévia. Rio de Janeiro: ABNT; 2016
- 13 Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. ABNT NBR 7181: solo: análise granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT; 2016.
- 14 Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. ABNT NBR 13245: tintas para edificações não industriais: terminologia. Rio de Janeiro: ABNT; 2011.
- 15 Carvalho AF, Honório LM, Almeida M, Santos P, Quirino P. Cores da terra: fazendo tinta com terra. Viçosa: Departamento de Solos, Universidade Federal de Viçosa; 2009.
- 16 Gontijo MD. Manuseio e aproveitamento de estéréis em mineração. *Revista Engenharia de Interesse Social*. 2021;6(8):104-116.
- 17 Faria FC, Schmid AL. Avaliação do comportamento de tintas naturais para a construção civil frente ao intemperismo através de ensaio de envelhecimento acelerado. In: Anais do XIII Encontro Nacional e IX Encontro Latino-americano de Conforto no Ambiente Construído; 2015; Campinas. Porto Alegre: ANTAC; 2015.
- 18 Sato ACK, Cunha RL. Influence of temperature on the rheological behavior of jaboticaba pulp. *Food Science and Technology*. 2007;27:890-896.
- 19 Gratão ACA, Berto MI, Silveira V Jr. Reologia do açúcar líquido invertido: influência da temperatura na viscosidade. *Food Science and Technology*. 2004;24(4):652-656. <http://dx.doi.org/10.1590/S0101-20612004000400029>.
- 20 Lee WQ. Thermal characterization of solvent-free epoxy coatings by rheology and kinetics combined. *Journal of Coatings Technology and Research*. 2020;17(1):145-155.
- 21 Machado AML, Noberto CC, Damasceno FE Fo, Silva WMM, Babadopulos LFAL, Medeiros MS Jr. Estudo comparativo entre os parâmetros reológicos de tintas acrílicas arquitetônicas. *Ambiente Construído*. 2022;22(1):223-240.
- 22 Cotrim ACM, Honorio-Franca AC, França EL. Rheology analysis can be added in thermal stability test for design microemulsion materials. *Biointerface Research in Applied Chemistry*. 2016;6(2):1128-1136.
- 23 Scherer EF, Cantarini DG, Siqueira R, Ribeiro EB, Braga ÉM, Honório-França AC, et al. Cytokine modulation of human blood viscosity from vivax malaria patients. *Acta Tropica*. 2016;158:139-147.
- 24 Silva FH, Ribeiro AAL, Deluque AL. Effects of barium chloride adsorbed to polyethylene glycol (PEG) microspheres on co-culture of human blood mononuclear cell and breast cancer cell lines (MCF-7). *Immunopharmacology and Immunotoxicology*. 2018;40(1):18-24.

- 25 Silva CM, Silva TL Jr, Pinto IM Jr. Caracterização reológica de fluidos não newtonianos e sua aplicabilidade na indústria. *Caderno de Graduação-Ciências Exatas e Tecnológicas-UNIT-ALAGOAS*. 2019;5(2):285.
- 26 Teles CD, Flôres SH. Influência da adição de espessantes e leite em pó nas características reológicas do iogurte desnatado. *Boletim do Centro de Pesquisa e Processamento de Alimentos*. 2007;25(2):247-256.
- 27 Patiño Guío LM. Compostos orgânicos voláteis em tintas imobiliárias: caracterização e efeitos sobre a qualidade do ar em ambientes internos construídos [tese]. São Carlos: Universidade de São Paulo; 2014.
- 28 Schramm G. Reologia e reometria: fundamentos teóricos e práticos. São Paulo: Artliber; 2006.
- 29 Deka A, Dey N. Rheological studies of two component high build epoxy and polyurethane based high performance coatings. *Journal of Coatings Technology and Research*. 2013;10(3):305-315.
- 30 Heggendorf FL, Gonçalves LS, Cardoso DDS, Lutterbach MTS, Lione VOF. Testes de biocompatibilidade: cultivo de células animais e suas aplicações em estudo de toxicidade na odontologia. *Revista Conexão Ciência*. 2020;15(1):67-77.
- 31 Ribeiro AAL, Silva FH, Cotrim A, Deluque A, Marchi PGF, Fagundes DLG, et al. Herbal mixture adsorbed to polyethylene glycol microspheres induces apoptotic effects on breast cancer cells. *Current Drug Delivery*. 2018;15(2):227-234.
- 32 Cerqueira F, Cidade H, Van Ufford L, Beukelman C, Kijjoa A, Nascimento M. The natural prenylated flavone artelastin is an inhibitor of ROS and NO production. *International Immunopharmacology*. 2008;8(4):597-602.
- 33 Santos KKA, Rolón M, Vega C, Arias AR, Costa JGM, Coutinho HDM. Atividade leishmanicida *in vitro* de *Eugenia uniflora* e *Momordica charantia*. *Revista de Ciências Farmacêuticas Básica e Aplicada*. 2013;34(1):47-50.

Recebido em: 18 Mar. 2022

Aceito em: 18 Set. 2023