

## **INFLUÊNCIA DO TEOR DE PÓ METÁLICO RECICLADO NA ADESÃO DE TINTAS EM SUPERFÍCIES DE AÇO SAE 1020**

Higor Trindade, 840hig@gmail.com<sup>1</sup>

Lisiane Trevisan, lisiane.trevisan@farroupilha.ifrs.edu.br<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul – Câmpus Farroupilha, Avenida São Vicente, 785, Bairro Cinquentenário, CEP 95174-274, Farroupilha – RS.

**Resumo:** *Resíduos metálicos são constantemente gerados pela indústria. A maior parte dos resíduos é encaminhada para reciclagem em fundições. No entanto, este estudo busca uma alternativa para separar e reutilizar esses materiais diretamente na indústria que os produz. Para isso, foram empregados métodos de segregação do pó proveniente de máquinas industriais como moto esmeril. A segregação desse material consistiu na separação magnética, separação por densidade e limpeza do pó metálico. Em seguida, o material magnético foi peneirado e incorporado a uma tinta para revestimento de metais. Diferentes tamanhos de partículas metálicas e em concentrações diferentes foram misturados à tinta para avaliar a aderência de cada um deles em superfícies de aço SAE 1020. Os resultados demonstraram que em aplicações onde é necessária a atração magnética ou aprimoramento da aderência entre a superfície pintada com outra superfície, a tinta pode ser interessante. Contudo, observou-se uma redução na aderência da tinta na superfície com o aumento do tamanho das partículas e do teor de metal na tinta. Além disso, estima-se limitações quanto às propriedades anticorrosivas, o que afetaria o revestimento se comparado a tinta sem partículas metálicas.*

**Palavras-chave:** *Reciclagem de metais, reutilização de resíduos, aderência de tinta, aderência de tinta.*

### **1. INTRODUÇÃO**

Devido às propriedades dos metais, como sua longa vida útil, estão sendo desenvolvidos estudos para expandir os métodos de reciclagem desses materiais na própria indústria. Entre esses resíduos, destacam-se os provenientes de máquinas que geram pós metálicos, como serras, moto esmeril, retíficas, lixadeiras, entre outros. Apesar de seu tamanho ser significativamente menor em comparação com os cavacos de usinagem, esses resíduos são descartados juntamente com os demais cavacos de metal.

A proposta deste estudo é investigar uma alternativa para a reutilização desses metais na própria indústria geradora, possibilitando o processamento e reaproveitamento desses materiais. A metodologia empregada envolveu a separação dos pós magnéticos, limpeza e classificação granulométrica. Posteriormente, o pó magnético obtido foi incorporado à tinta e aplicado sobre superfícies de aço SAE 1020 para avaliar a aderência do revestimento.

Este trabalho é de relevância significativa ao explorar a capacidade da tinta de absorver resíduos sem comprometer suas propriedades de aderência e proteção. Além disso, amplia as possibilidades de estudo no campo da reciclagem de metais, contribuindo para práticas mais sustentáveis na indústria.

### **2. RESÍDUOS INDUSTRIAIS**

Na era contemporânea, o impulso substancial para a expansão das atividades industriais de reciclagem surgiu a partir da década de 1970, com a publicação do livro "Os Limites do Crescimento" pelo Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT), apoiado pelo Clube de Roma. Nesse momento, foi cientificamente constatada uma rápida diminuição nos estoques de recursos naturais, juntamente com um aumento notável e, em muitos casos, desordenado, na produção industrial, resultando conseqüentemente em um aumento da poluição (Ortega, 2004).

#### **2.1. Resíduos metálicos industriais**

Os metais são um dos poucos materiais que preservam suas características e propriedades essenciais ao serem reciclados. Em princípio, os metais podem passar por ciclos de reciclagem praticamente indefinidamente. De fato, a reciclagem de metais é uma prática global que remonta a tempos antigos na história (Lund, 1993).

É também fato demonstrado por vários estudos que ainda há muito a ser praticado em escala global para que a reciclagem de metais seja inserida no bojo dos negócios sustentáveis (UNEP, 2002 e 2009).

Nos países desenvolvidos, a constante pressão dos consumidores levou as empresas a adotarem programas de reciclagem como uma solução para a gestão sustentável de matérias-primas. Isso reduz o risco de esgotamento acelerado de recursos não-renováveis e resulta em economia de energia. A prática da reciclagem implica em aproximadamente 74% menos poluição do ar, cerca de 35% menos poluição da água, e gera um ganho de energia na ordem de 64% (Wang et al., 2009; Luken, Navratil, 2004; Worrel, Reuter, 2014).

Há aproximadamente 15 anos, a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos estabeleceu que a redução de resíduos consiste na “diminuição tanto quanto possível de resíduos gerados, tratados, estocados ou dispostos. Inclui qualquer atividade de redução na fonte ou na reciclagem, nas quais o resíduo é submetido a operações que reduzam seu volume total ou sua toxicidade” (Matos, 2002).

A legislação atual no Brasil determina que a responsabilidade pela adequada gestão dos resíduos industriais recai sobre o próprio produtor. Contudo, devido à escassez de informações e de profissionais especializados em questões ambientais dentro das organizações, este tema enfrenta desafios significativos. Esta situação ocorre em razão dos processos produtivos nas empresas que frequentemente resultam na geração de resíduos e, conseqüentemente, em impactos ambientais que não recebem a atenção devida (Moraes, Simon e Vargas, 2015).

O aço destinado à reciclagem totaliza aproximadamente 630 milhões de toneladas anuais. Para que esse material chegue às usinas siderúrgicas, onde se dá o processo de reciclagem, conta-se com o trabalho indispensável de profissionais-chave: os sucateiros e as cooperativas de catadores. Eles têm um papel essencial na coleta, separação, transporte e comercialização da sucata de aço para as empresas da indústria (Instituto Aço Brasil, 2023).

## 2.2. PROTEÇÃO SUPERFICIAL AÇO SAE 1020

O aço SAE 1020 destaca-se na indústria devido à sua excelente relação custo-benefício, soldabilidade e conformabilidade. Essas características o tornam amplamente aplicável em diversos projetos, especialmente na indústria automobilística, onde sua conformabilidade é crucial, e também na construção civil, para a produção de elementos como corrimãos, portas, janelas e mezaninos. Entretanto, por ser um aço carbono, sua resistência à corrosão é limitada, o que pode motivar a consideração de materiais alternativos em projetos com maior exposição à corrosão. Em ambientes úmidos ou submersos, a tendência é a ocorrência de corrosão de forma mais acelerada. Para mitigar esse efeito, uma das estratégias é a aplicação de revestimentos por pintura, funcionando como uma barreira física (Silva, 2019).

Neste método de proteção, uma película é aplicada para agir como uma barreira entre o substrato e o ambiente corrosivo, devendo ser o mais impermeável possível. No entanto, as películas apresentam uma permeabilidade parcial, o que possibilita a difusão de substâncias como o cloreto de sódio. Nessa situação, o processo corrosivo é iniciado. A eficácia deste mecanismo tende a crescer com o aumento da espessura do revestimento e com a resistência da tinta ao meio corrosivo (Gentil, 2014).

Na indústria, o processo de pintura pode ser executado de diversas maneiras, variando desde métodos mais sofisticados, que envolvem o uso de equipamentos de alta precisão e exaustores para a recuperação da tinta, até técnicas mais simples, realizadas de forma manual. Em geral, a aplicação é realizada por meio de pistolas, sendo a diferença entre os métodos a consistência ou a base da tinta. Na pintura eletrostática, a tinta é aplicada na forma de pó por meio de uma pistola, utilizando cargas elétricas para atrair o material para a superfície, o que reduz o desperdício. Já na aplicação da pintura epóxi, é empregada uma máquina *airless*, que, devido à alta viscosidade da tinta, dispensa o uso de ar comprimido. Esse processo é totalmente automatizado, utilizando um pistão para pressionar a tinta no recipiente, que posteriormente é pulverizada por meio de uma pistola. Por fim, a forma mais tradicional, de custo mais acessível e com uma padronização uniforme, envolve o uso de um compressor e pistola, com a utilização de ar comprimido para a pulverização da tinta (Mochnacz, 2008).

O propósito deste estudo é encontrar uma solução de reciclagem para o pó gerado a partir de resíduos industriais, com o intuito de formular uma tinta para utilização industrial. Essa aplicação visa revestir estruturas metálicas industriais, especialmente de aço SAE 1020. Neste contexto, será analisada a capacidade de aderência da tinta. Isso se deve à possibilidade de as partículas metálicas adicionadas à tinta influenciarem as ligações entre as moléculas do revestimento, o que pode impactar na aderência da tinta.

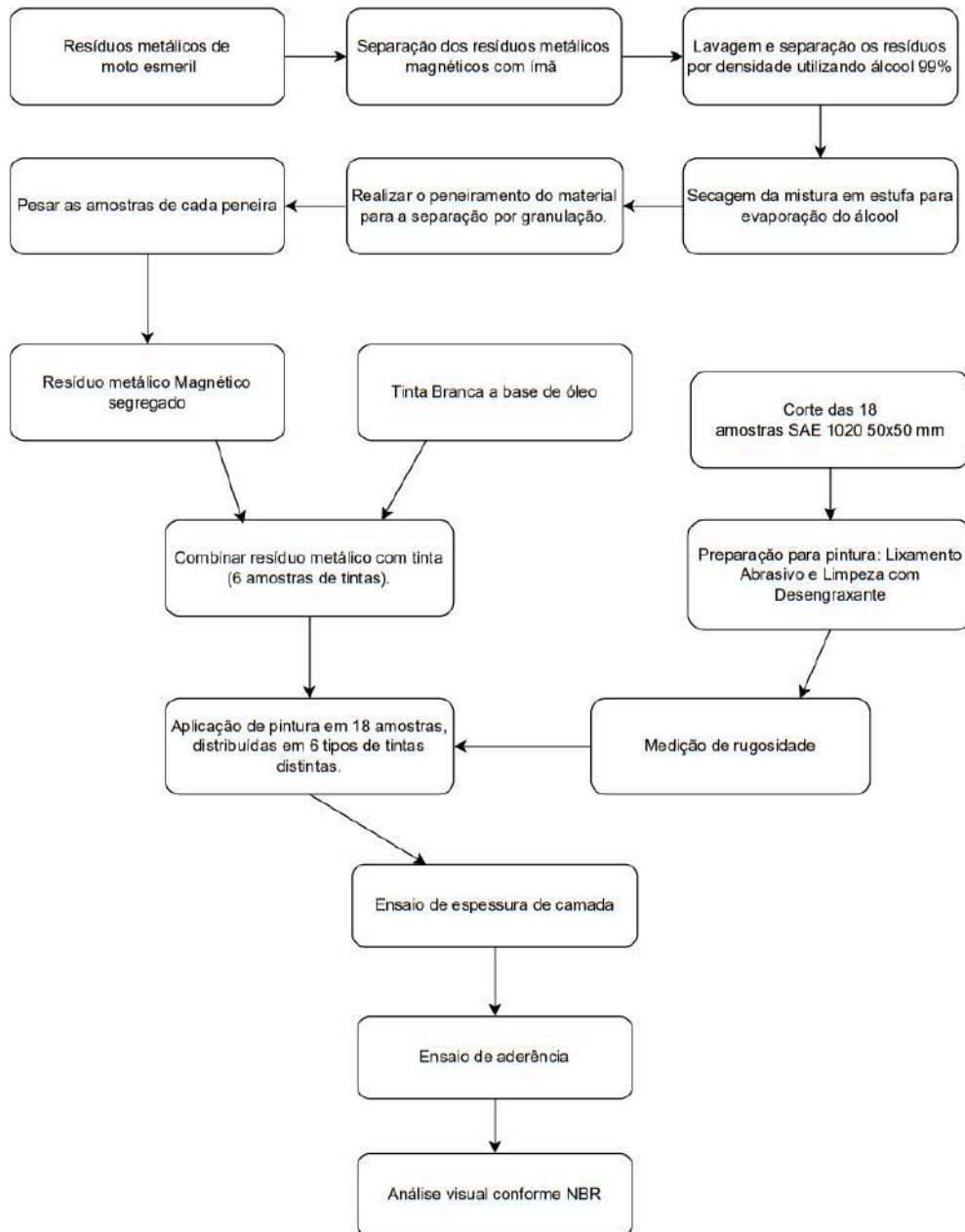
## 3. METODOLOGIA

A etapa inicial da separação do material envolveu a coleta dos resíduos provenientes de um moto esmeril. A escolha desse equipamento se justifica pelo fato de que o processo do moto esmeril resulta na geração de resíduos em forma de pó. O moto esmeril utilizado neste estudo desempenhava funções em uma oficina mecânica de máquinas, sendo empregado para afiação de brocas, pequenos acabamentos e remoção de rebarbas de peças. Além disso, devido à sua utilização compartilhada, poderia conter uma variedade de resíduos, como restos de rebolos do esmeril, de aço rápido, de cobre, aço inoxidável e acúmulo de graxas, entre outros materiais. Para determinar a composição exata, seria necessária uma análise mais detalhada. Uma vez coletado, o material do esmeril foi transferido para um becker

volumétrico de 600 ml e submetido a uma pesagem para determinar o peso total dos resíduos antes do processo de separação, resultando em 1169,62 gramas de resíduos.

A metodologia de separação do material é uma etapa crucial neste estudo. Consiste em um processo composto por três etapas distintas: separação magnética, separação por densidade e peneiramento. A separação magnética é empregada para isolar componentes metálicos do resíduo, aproveitando suas propriedades magnéticas. A etapa de separação por densidade envolve a utilização de um líquido de densidade controlada para separar materiais de diferentes densidades, permitindo a segregação eficaz dos componentes. Por fim, o peneiramento é uma técnica fundamental que consiste na passagem do material através de uma série de peneiras de granulações diferentes, permitindo a classificação precisa dos componentes.

O fluxograma da figura 1 ilustra a metodologia empregada neste estudo, que incluiu a preparação dos corpos de prova, aplicação da tinta, ensaios e classificação.



**Figura 1: Fluxograma esquemático indicando a metodologia empregada .** Fonte: Autor.

O procedimento detalhado no fluxograma da figura 1 demonstra os processos realizados na separação dos resíduos, preparação das tintas e das amostras, assim como a pintura e análise das amostras.

### 3.1. Matéria-prima e Requisitos para o Processo

Para realizar cada etapa indicada no fluxograma da Figura 1, é necessário utilizar os respectivos materiais listados na tabela 1.

| <b>Materiais Utilizados em cada etapa</b>              |   |
|--|---|
| <b>Etapa</b>   | <b>Materiais utilizados</b>   |
| Separação dos resíduos metálicos magnéticos            | - Resíduos provenientes de moto esmeril;<br>- Imã de neodímio;<br>- 5 chapas de MDF (20x20 mm) para manipular resíduos;   |
| Lavagem e separação dos resíduos por densidade         | - Resíduos da separação magnética;<br>- Álcool etílico, 1,5 litros;<br>- Becker 250 ml (medir quantidade de álcool)<br>- Bastão de vidro;<br>- 2 béqueres de 600 ml (misturar e descartar álcool);  |
| Secagem da mistura em estufa para separação térmica    | - Resíduos da separação por densidade;<br>- Estufa;   |
| Peneiramento do material para separação por granulação | - Resíduos da separação térmica;<br>- Conjunto de peneiras granulométricas ASTM com agitador;   |
| Pesagem de cada amostra das peneiras                   | - Resíduos da separação por peneiramento;<br>- Becker 250 ml (depositar materiais e realizar a tara da balança);<br>- Balança de precisão;  |
| Combinação de resíduos metálicos com tinta             | - Resíduos separados por peneiramento;<br>- 1 Litro de tinta;<br>- 1 litro de Solvente (thinner);<br>- Becker 250 ml (realizar pesagem e mistura);<br>- Bastão de vidro;<br>- Balança de precisão (pesagem da tinta);   |
| Corte das 18 amostras SAE-1020                         | - Barra chata de SAE 1020, dimensões de 1000x50x2 mm;<br>- Serra manual;  |
| Preparação para pintura                                | - Amostras cortadas 50x50x2 mm;<br>- Conjunto de lixas nas granulações 150, 200, 220 e 320;<br>- Pincel cerdas de gris Suvinil;<br>- 100 ml de solvente (thinner);<br>- Recipiente (limpeza e desengraxe das amostras com solvente);<br>- Marcador permanente (classificar amostras); |
| Medição de rugosidade                                  | - Amostras classificadas;<br>- Rugosímetro (Mitutoyo SJ-301);   |
| Aplicação de pintura em cada amostra                   | - Amostras classificadas;<br>- Tinta preparada;<br>- Pistola de pintura profissional;   |
| Ensaio de espessura de camada                          | - Amostras pintadas;<br>- Medidor de espessura de tinta bases metálicas;  |
| Ensaio de aderência                                    | - Amostras pintadas;<br>- Goniômetro;<br>- Estilete;<br>- Fita adesiva;   |

Tabela 1: Materiais utilizados em cada processo. Fonte: Autor

A tabela 1 apresenta a relação entre os processos realizados durante a prática e os materiais correspondentes. As informações detalhadas sobre a utilização de cada material em cada processo, será abordado na sequência. A metodologia foi estruturada visando a minimização de resíduos não metálicos, ao mesmo tempo em que utiliza materiais comuns encontrados em laboratórios.

## 3.2. Procedimento de Segregação do Resíduo

### 3.2.1. Separação magnética

A preferência pela separação magnética se dá pela sua praticidade e capacidade de ser empregada na indústria, necessitando de poucos equipamentos e apresentando possibilidade de aplicação em larga escala. O método envolveu a utilização de um ímã de neodímio e três chapas MDF devidamente limpas, para dispersão do material.

Inicialmente, uma das chapas de MDF foi utilizada como superfície para a dispersão do material. Em seguida, a segunda chapa de MDF, equipada com um ímã em sua parte superior, era aproximada do material disperso. O material magnético era então atraído para a segunda chapa MDF quando ela era aproximada, pode ser visualizado na figura 2.

A chapa contendo os resíduos era deslocada para a parte superior da terceira chapa de MDF. Neste momento, procedia-se à separação do ímã. Esse processo resultava no desprendimento dos resíduos da chapa superior pela força da gravidade, fazendo com que se dispersassem sobre a terceira chapa, posicionada na parte inferior.



Figura 2: Procedimento para Separação Magnética utilizando ímã. Fonte: Autor.

Durante o processo de aproximação do ímã, nota-se que a captura de resíduos magnéticos também inclui outros materiais que se alojam nos vazios dos componentes magnéticos. Portanto, o resíduo que já passou por uma primeira separação, será submetido a novos processos de separação. Esse procedimento resulta em um redução gradual de contaminantes no material magnético a cada ciclo. Esse fenômeno é claramente observado na Figura 3.



Figura 3: Procedimentos para Separação Magnética utilizando ímã. Fonte: Autor.

Ao longo das coletas realizadas com o ímã, é notável o incremento na concentração de partículas mais escuras, representativas do metal magnético. Simultaneamente, à medida que os ciclos avançam, observa-se uma redução gradativa na presença de impurezas e resíduos não magnéticos. Ao alcançar a décima separação do metal magnético, foi obtido um resultado visual satisfatório, como evidenciado no béquer contendo as partículas mais escuras, conforme ilustrado na Figura 4.



Figura 4: Materiais após a Separação Magnética. Fonte: Autor.

O béquer contendo o resíduo mais escuro corresponde ao material magnético, enquanto o béquer com o resíduo mais claro consiste no material não magnético. Em seguida, os resíduos magnéticos e não magnéticos foram alocados, respectivamente, em béqueres de 600 ml, e submetidos à pesagem. Posteriormente, os resíduos magnéticos seguiram para o processo de separação por densidade.

### 3.2.2. Separação por densidade

A segunda etapa da separação envolveu o processo de separação por densidade. Inicialmente, o material magnético foi colocado em um becker e gradualmente misturado com 200 ml de álcool etílico. Utilizando um bastão de vidro, a mistura foi agitada para assegurar a dispersão homogênea das partículas no álcool. Em seguida, aguardou-se o processo de decantação por aproximadamente 2 minutos, conforme figura 5.



Figura 5: Resíduo magnético combinado e decantado com álcool etílico. Fonte: Autor.

É possível observar que o aço, sendo mais denso, permanece no fundo do becker, enquanto na parte superior é visível a presença de resíduos não metálicos misturados ao álcool. Esses resíduos foram facilmente identificados devido à diferença de densidade entre as partículas. O material magnético, mais denso, foi então alocado no fundo do becker. Com o auxílio do ímã posicionado abaixo do becker, o álcool contendo os resíduos na parte superior foi transferido para um segundo becker de 250 ml, separando, assim, o metal magnético dos contaminantes.

Para melhorar a limpeza, o procedimento de separação por densidade foi replicado em 10 iterações, envolvendo a adição de álcool, agitação e subsequente separação do álcool contaminado em relação ao resíduo magnético. Dessa forma foram utilizados cerca de 2 litros de álcool em todo o procedimento. Em seguida, para eliminar os resquícios de álcool presentes no metal magnético, o becker contendo o resíduo magnético foi inserido em uma estufa a 200 graus Celsius por 2 horas, possibilitando a evaporação do álcool e a consequente separação do mesmo do resíduo magnético.

O álcool contaminado produzido durante o processo foi preservado para análises subsequentes, uma vez que os contaminantes presentes nele precisam ser avaliados em conjunto com os resíduos provenientes do processo de separação por ímã.

Em seguida, os resíduos magnéticos foram encaminhados para o processo de peneiramento, a fim de classificar a granulometria dos materiais.

### 3.2.3. Separação por peneiramento

A terceira etapa foi o peneiramento que envolveu o uso de uma peneira vibratória composta por oito malhas de diferentes granulações. As especificações de cada peneira utilizada podem ser observadas na tabela 2.

| Malha |       | Abertura (mm) |
|-------|-------|---------------|
| ASTM  | Tyler |               |
| 12    | 10    | 1,700         |
| 20    | 20    | 0,850         |
| 30    | 28    | 0,500         |
| 40    | 35    | 0,425         |
| 50    | 48    | 0,300         |
| 70    | 65    | 0,212         |
| 100   | 100   | 0,150         |
| 140   | 150   | 0,106         |
| 200   | 200   | 0,075         |
| 270   | 270   | 0,053         |

Tabela 2: Malhas utilizadas para peneiramento dos resíduos. Fonte: Autor.

Cada peneira possui uma abertura que permite a passagem das partículas. Elas são dispostas em ordem crescente de abertura, com a peneira mais aberta no topo e a mais fechada na parte inferior. Isso possibilita que o resíduo mais grosso fique retido em sua respectiva peneira, enquanto o mais fino passa para a próxima, resultando na separação do material em diferentes granulometrias em cada peneira.. A figura 6 representa a forma que os resíduos foram dispostos antes do peneiramento.



Figura 6: Material Pré-Peneiramento. Fonte: Autor

Ao iniciar a vibração, o aço foi classificado em diversas granulometrias, em conformidade com a norma ABNT NBR NM-ISO 3310-1 para peneiramento com telas de tecido metálico. O material permaneceu no processo de peneiramento pelo período de 20 minutos, conforme orientação normativa, até a desativação do equipamento e a subsequente remoção dos metais.

Os materiais que não foram retidos por nenhuma das malhas da peneira foram coletados no reservatório localizado abaixo da mesma. Esse reservatório continha os resíduos com granulação mais fina que a malha mais fechada, uma vez que passaram por todas as granulações. Foi realizada a pesagem de cada material retirado de suas respectivas peneiras, com o intuito de analisar a distribuição de diferentes granulometrias e estabelecer uma relação entre granulação e massa que será exibido na seção dos resultados. Na sequência partiu-se para a etapa de preparação dos corpos de prova.

### 3.3. Preparação dos corpos de prova

A partir da mesma chapa plana de aço carbono SAE 1020, foi obtido o material para a confecção do corpo de prova, o qual possui dimensões de 50x50x2mm. Antes de receber o revestimento, é essencial submeter o material a um processo de preparação de superfície. Este procedimento visa eliminar quaisquer contaminantes que possam prejudicar a aderência da tinta, como destacado por GNECCO (2006). A etapa de preparação da superfície incluiu lixamento, limpeza e desengraxe.

#### 3.3.1. Lixamento e preparação da superfície a ser pintada

O processo de lixamento e preparação da superfície consistiu em lixamento unidirecional utilizando uma lixadeira orbital na face selecionada do corpo de prova. Foram empregadas diferentes granulometrias de lixa, começando com a granulação de 150, após 200, 220 e finalizando com 320, seguindo as recomendações do fabricante, visando obter a

rugosidade ideal para assegurar a aderência da tinta. Todos os corpos de prova foram submetidos a esse procedimento de lixamento de maneira uniforme, seguido pela medição da rugosidade de cada amostra.

Para a limpeza e desengraxe, as amostras foram submersas em um recipiente contendo thinner e, em seguida, esfregadas manualmente com auxílio de um pincel para remoção físicas dos resíduos provenientes do lixamento. Foi selecionado um pincel com cerdas gris da marca Suvinil, conforme orientações do fabricante da tinta. Devido à sua flexibilidade ele é incapaz de causar riscos superficiais em peças metálicas, sendo indicado para a remoção física de resíduos resultantes da etapa de lixamento.

### 3.3.2. Classificação dos corpos de prova

Após o processo de lixamento, os corpos de prova foram categorizados e marcados no verso com seu respectivo código para identificação pós pintura. Optou-se por utilizar apenas três granulações, pois essas representam o maior percentual de massa das amostras, o que será detalhadamente abordado na seção de resultados. Este código é composto por uma letra, indicativa da granulação da partícula empregada na pintura, tabela 3.

| Nomenclatura | ASTM | Abertura (mm) |
|--------------|------|---------------|
| A            | 40   | 0,425         |
| B            | 50   | 0,3           |
| C            | 70   | 0,212         |

Tabela 3: Classificação da granulação nas amostras. Fonte: Autor.

De acordo com a tabela 3, as amostras marcadas com a letra A apresentam uma adição de partículas com diâmetro igual ou superior a 0,425 mm na tinta. Já as amostras marcadas como B têm partículas entre 0,3 mm e 0,425 mm, e as amostras C possuem partículas entre 0,212 mm e 0,3 mm.

A letra representa o tamanho da partícula adicionada à tinta, enquanto o número indica a concentração de partículas de material magnético na mistura. Esse número reflete a porcentagem de resíduo adicionada à tinta utilizada na pintura da amostra. A relação entre concentração de resíduo e amostra pode ser visualizada na tabela 4.

| Classificação | Teor de Metal na Tinta |
|---------------|------------------------|
| 10            | 10%                    |
| 20            | 20%                    |

Tabela 4: Classificação da granulação nas amostras. Fonte: Autor.

As peças categorizadas como "10" e "20", de acordo com a Tabela 4, correspondem a 10% e 20%, respectivamente, da concentração total de massa em partículas magnéticas na composição da tinta. Através das combinações das classificações foram classificadas três amostras de cada tipo, as quais foram numeradas no final do código de cada amostra com números de 1 a 3, como demonstradas na tabela 5:

| Amostra | Granulação (ASTM) | Teor de Metal na Tinta |
|---------|-------------------|------------------------|
| A-10-1  | 40                | 10%                    |
| A-10-2  | 40                | 10%                    |
| A-10-3  | 40                | 10%                    |
| A-20-1  | 40                | 20%                    |
| A-20-2  | 40                | 20%                    |
| A-20-3  | 40                | 20%                    |
| B-10-1  | 50                | 10%                    |
| B-10-2  | 50                | 10%                    |

|        |    |     |
|--------|----|-----|
| B-10-3 | 50 | 10% |
| B-20-1 | 50 | 20% |
| B-20-2 | 50 | 20% |
| B-20-3 | 50 | 20% |
| C-10-1 | 70 | 10% |
| C-10-2 | 70 | 10% |
| C-10-3 | 70 | 10% |
| C-20-1 | 70 | 20% |
| C-20-2 | 70 | 20% |
| C-20-3 | 70 | 20% |

Tabela 5: Classificação das amostras. Fonte: Autor.

A Tabela 5 apresenta as nomenclaturas das três amostras de cada tipo. Após a marcação das peças, passou-se para a etapa de medição da rugosidade.

### 3.3.3. Medição de Rugosidade

A rugosidade da superfície desempenha um papel importante na promoção da aderência da tinta. Para medir a rugosidade superficial, empregou-se um rugosímetro Mitutoyo SJ-301, conforme ilustrado na figura 7, onde a sonda que contém a agulha de medição foi acoplada a um relógio comparador, que atuou exclusivamente como um suporte para posicionar a agulha na peça, sem qualquer função de medição.



Figura 7: Rugosímetro Mitutoyo SJ-30. Fonte: Autor.

A sonda de medição está equipada com um sistema automático de deslocamento da agulha, o qual percorre uma distância de 20mm e exibe a rugosidade média correspondente no visor. Conseqüentemente, foram conduzidas um total de seis medições em cada peça, divididas igualmente em três medições ao longo de um sentido e três medições em um sentido perpendicular, como ilustrado na figura 8.

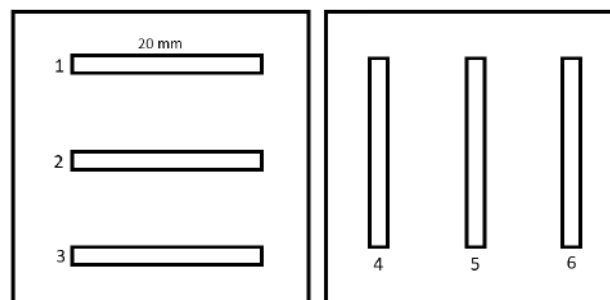


Figura 8: Áreas de medição de rugosidade. Fonte: Autor.

Conforme figura 8, a medição da rugosidade foi conduzida em seis áreas delimitadas. A rugosidade média foi obtida somando as medições e dividindo pelo total de seis, que representa o número de pontos de medição. As medições de rugosidade, assim como a média calculada, estão detalhadas na seção de resultados.

### 3.3.4. Pintura dos corpos de prova

Cada amostra foi submetida aos seguintes procedimentos de preparação da tinta. Primeiramente, foi selecionada a tinta branca à base de óleo da marca Suvinil, uma escolha que facilita a visualização das características do metal, incluindo possíveis riscos relacionados à aderência da tinta. Cerca de 50 ml de tinta foram medidos e depositados no reservatório do aplicador. O resíduo foi pesado de maneira proporcional para atender à proporção desejada para cada amostra e, em seguida, adicionado ao mesmo reservatório. Utilizando um bastão de vidro de laboratório, a mistura foi agitada por aproximadamente 2 minutos até atingir uma homogeneidade visual satisfatória. Após a preparação da mistura, esta foi diluída de acordo com as recomendações do fabricante, utilizando uma diluição de 30% de solvente.

Posteriormente, a tinta foi transferida para o reservatório da pistola de pintura, preparando-se para a aplicação nas três amostras de cada tipo de tinta. Optou-se por uma única demão em cada amostra, visando facilitar a detecção de possíveis aderência em situações mais críticas, nas quais apenas uma demão seria aplicada. Após a aplicação, a tinta foi removida do reservatório da pistola, que foi devidamente limpo com thinner, estando pronto para a próxima aplicação nas amostras subsequentes.

Posteriormente, as amostras passaram pelo processo de secagem da tinta, conforme indicado pelo fabricante, que se estende por três dias, em um local bem ventilado e livre de umidade, seguindo as orientações presentes no rótulo do produto,

### 3.3.5. Medição de espessura da tinta

Para as medições da espessura da película de tinta seca, empregou-se um medidor digital de espessura da marca Minipa, modelo MCT-401. Cinco medições foram realizadas de forma equidistante na superfície pintada, com a disposição indicada na figura 9.

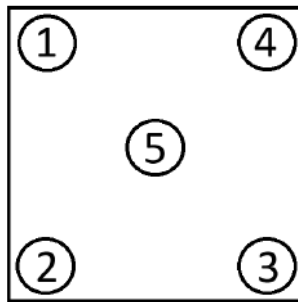


Figura 9: Caracterização das medições de espessura da tinta. Fonte: Autor.

Na Figura 9, é possível observar que a medição em cinco pontos separados é necessária para se obter a espessura média da tinta na superfície.

### 3.3.6. Teste de aderência da tinta

Todas as amostras passaram pela avaliação da aderência das camadas de revestimento conforme estabelecido na norma ABNT NBR 11003:2009, a qual descreve o teste de aderência por meio do corte em formato de X. Esse método é determinado pela espessura das camadas aplicadas. Dado que, neste caso, apenas uma demão foi aplicada, a espessura medida correspondeu à norma A, a qual especifica o uso do Método A (corte em X) para espessuras de película seca iguais ou superiores a 70  $\mu\text{m}$ . A figura 10 apresenta a representação da marcação feita em uma das amostras.



Figura 10: Caracterização das marcações nas amostras. Fonte: Autor.

Utilizando um estilete e um transferidor de grau, foram realizadas marcações diagonais, utilizando um goniômetro, formando um ângulo de 60° em relação a superfície inferior (conforme demonstrado na figura 10). Em seguida, uma fita adesiva foi aplicada na área e removida de maneira rápida. Para avaliar o deslocamento da tinta na superfície metálica, foi observado o quanto de tinta foi removida em relação ao material base durante a retirada da fita, em conformidade com o procedimento descrito na norma ABNT NBR 11003:2009.

## **4. RESULTADOS**

### **4.1. Separação magnética**

No que diz respeito à separação magnética, o primeiro resultado evidenciou que devido à presença de uma elevada quantidade de ligas metálicas e resíduos contaminantes misturados com tamanhos de partículas altamente variáveis, a eficácia do processo foi significativamente comprometida. Isso ocorreu devido à tendência dos cavacos não magnéticos infiltrarem-se nos espaços entre os cavacos magnéticos, os quais estavam sob influência do campo magnético, exigindo, assim, a repetição de ciclos para aprimorar progressivamente a pureza do material magnético. Escalando isso em grande escala, poderia aumentar consideravelmente os custos associados à separação do material, mesmo quando se utilizam esteiras transportadoras e vibratórias, além de eletroímãs.

Considerando o teor de magnetismo total do processo, foram obtidos 221,37 gramas de material magnético após a realização de 10 ciclos de separação, a partir do total inicial de 1128,8 gramas de resíduos coletados. Esse resultado refletiu em um percentual de apenas 16,27% da massa na recuperação de materiais magnéticos a partir dos resíduos iniciais, indicando a necessidade de implementar etapas adicionais para otimizar o processo de separação de resíduos.

Os materiais utilizados desempenharam funções específicas dentro do processo. O recipiente com a maior quantidade de material também continha resíduos não magnéticos que seriam gerados como subprodutos do procedimento, ao passo que o béquer com uma quantidade inferior de material simbolizou os materiais magnéticos que foram extraídos.

Após a separação do material não magnético da amostra, o material magnético prosseguiu para o estágio subsequente de separação por densidade. Enquanto isso, o material não magnético foi direcionado para descarte como sucata, com o objetivo de posteriormente ser submetido ao procedimento de descarte adequado, juntamente com os materiais descartados provenientes do moto esmeril.

### **4.2. Separação por densidade**

Durante o processo de separação por densidade, foi claramente observado que, após agitar a mistura, os metais mais pesados, incluindo os metais magnéticos, se depositaram no fundo em poucos segundos, semelhante à sedimentação de partículas em um recipiente. Essa observação permitiu uma separação visualmente eficaz, visto que a maioria dos materiais não magnéticos consistia em partículas notavelmente mais finas, como será ilustrado nos resultados da análise de peneiramento.

O béquer contendo o material metálico foi pesado inicialmente antes da separação por densidade e novamente após a remoção do álcool na estufa. A segunda medição indicou uma massa final ligeiramente inferior, reduzindo de 221,37 gramas antes da separação magnética para 183,19 gramas. Esse valor reflete uma proporção magnética de 82,78% em relação à quantidade total inicial, resultando em 38,8 gramas de resíduos não magnéticos removidos.

### **4.3. Separação por peneiramento**

O material resultante da separação por densidade, totalizando 183,19 gramas, foi submetido ao processo de peneiramento. Este procedimento resultou na segregação do material em diferentes peneiras, sendo que cada fração foi pesada, resultando na distribuição de material conforme apresentado na figura 11.

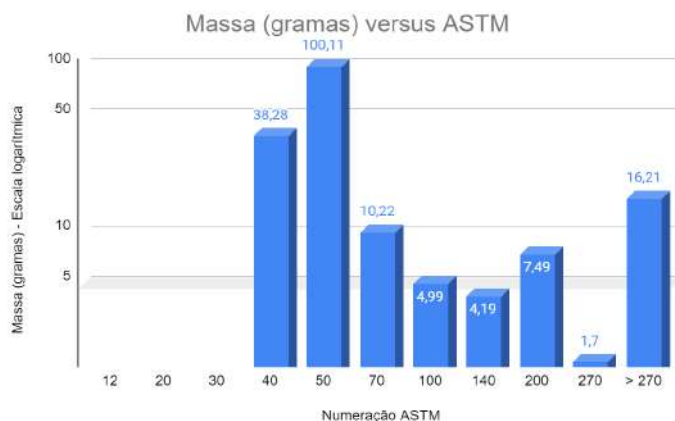


Figura 11: Distribuição de peso classificada por granulação nas amostras. Fonte: Autor.

A figura 11 apresenta o eixo y, representando a massa em gramas, em escala logarítmica para destacar de forma mais clara os valores menores de massa.

Ao examinar a distribuição de materiais no gráfico, notou-se que a maior parte dos resíduos não metálicos permaneceu no compartimento final, juntamente com uma pequena porção de materiais metálicos. Essa pequena porção foi observada devido a sua interação com o ímã. Dado que essa parcela era mais fina do que a granulação da menor peneira, ela passou por todas as peneiras e se acumulou no fundo, totalizando 16,21 gramas. Os materiais provenientes do fundo da peneira foram posteriormente reunidos aos resíduos gerais, os quais foram descartados como sucatas.

Analisando as frações retidas nas peneiras, observou-se que a maioria dos materiais estava distribuída nas peneiras ASTM:40, ASTM:50 e ASTM:70. A soma das massas dessas três peneiras totalizou 148,61 gramas, representando 81,12% da massa total peneirada, que foi de 183,19 gramas. Devido a essa predominância em massa e ao tamanho das partículas, optou-se por utilizá-las para compor as três diferentes granulações a serem adicionadas à tinta das amostras durante a etapa de pintura.

Os materiais das três peneiras escolhidas foram direcionados para a etapa de pintura, enquanto o restante do material peneirado foi armazenado separadamente para possíveis estudos futuros, caso não tenha uso poderá ser descartado como sucata.

#### 4.3.1. Medição da rugosidade

Durante a etapa de medição da rugosidade, foram obtidos os dados de rugosidade para cada área da amostra, como apresentado na tabela 6.

| Área | Rugosidade ( $\mu\text{m}$ ) |
|------|------------------------------|
| 1    | 0,69                         |
| 2    | 0,68                         |
| 3    | 0,72                         |
| 4    | 0,65                         |
| 5    | 0,68                         |
| 6    | 0,74                         |

Tabela 6: Medições de rugosidade. Fonte: Autor.

A partir das medições de rugosidade, foi calculada uma média de 0,69  $\mu\text{m}$ , obtida ao somar todas as rugosidades e dividir pelo número total de medições. O desvio padrão ficou de apenas 0,032  $\mu\text{m}$ . Dado que todas as amostras têm origem na mesma barra metálica e passaram pelo mesmo processo de lixamento, a variação na rugosidade, conforme o desvio padrão calculado, não é significativa o suficiente para afetar a qualidade da tinta. Portanto, a medição da rugosidade foi aplicada em uma única amostra.

#### 4.4. Pintura das amostras

Ao longo do procedimento de pintura, foram notadas variações nas características da aplicação da tinta em relação ao tamanho das partículas. Partículas menores resultaram em um aumento da viscosidade da tinta, mesmo quando a proporção de solvente estava ideal. No entanto, isso não teve um impacto na aplicação da tinta com partículas menores.

A aplicação das tintas com partículas metálicas menores e percentuais reduzidos (amostras B-10, B-20, C-10 e C-20) foi relativamente fácil, exigindo o mesmo cuidado que a tinta convencional. No entanto, as tintas com partículas de maior tamanho (amostras A-10 e A-20) tendiam a obstruir parcialmente o bico da pistola de tinta em alguns momentos. Isso se devia ao peso das partículas, que propiciava sua decantação no fundo do reservatório da pistola de pintura mais rapidamente que as partículas mais finas. Durante a aplicação, pequenas partículas acumuladas eram pulverizadas em conjunto pela pistola, isso propiciava um pequeno relevo na pintura, como ilustrado na figura 11.

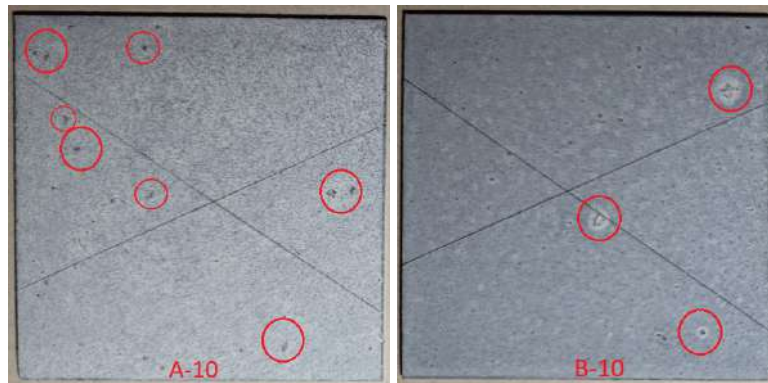


Figura 11: Relevos na pintura das amostras A-10 e B-10. Fonte: Autor.

A figura 11 revela que as partículas metálicas não se distribuem de forma completamente homogênea, apresentando um acúmulo de partículas que resulta em relevos na superfície.

É fundamental destacar que, neste experimento, a pintura foi pulverizada na superfície para assegurar a máxima homogeneidade e garantir a confiabilidade do teste de aderência. Assim também é importante ressaltar que as partículas metálicas podem promover a abrasão do bico da pistola, afetando a geometria de pulverização. Na indústria, outros métodos de aplicação, como pincéis e rolos, podem se tornar mais interessantes para aplicação, assim como também podem apresentar diferentes fenômenos durante o processo, e o acúmulo de resíduos metálicos pode não ser observado da mesma maneira.

##### 4.4.1. Medição de espessura da tinta

Durante a medição da primeira amostra, notou-se que o valor de medição permanecia constantemente em zero. Após uma revisão no manual do dispositivo, identificou-se que a presença de partículas magnéticas na camada de tinta ou acima dela interferiam na precisão do equipamento, resultando na ausência de valores diferentes de zero em todas as amostras analisadas.

Dado que o aparelho atual não foi adequado para medir a espessura da camada de tinta com partículas magnéticas, é aconselhável empregar um dispositivo específico para tintas em base ferrosa e não ferrosa, como o Highmed HM-1250, que segundo o fabricante “O medidor de espessura de camada tinta base ferrosa e não ferrosa HM-1250 mede a espessura de camadas de revestimento (ex.: tintas) tanto em bases ferrosas (Fe) quanto em bases não ferrosas (NFe), identificando automaticamente o tipo de base (2 em 1). Pode ser utilizado também para medir a espessura de plástico filme, papel e outros materiais com alto grau de exatidão.”

#### 4.5. Teste de aderência da tinta

As figuras 12, 13, 14, 15, 16 e 17 exibem as amostras após o ensaio de aderência da tinta.

- C-10:

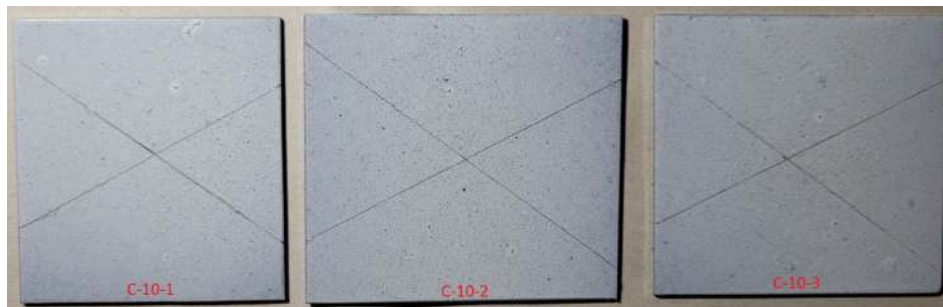


Figura 12: Teste de adesão das amostras C-10. Fonte: Autor

- C-20:

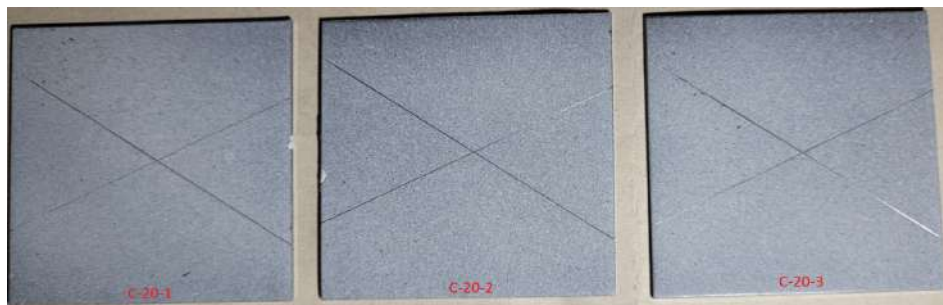


Figura 13: Teste de adesão das amostras C-20. Fonte: Autor

- B-10:



Figura 14: Teste de adesão das amostras B-10. Fonte: Autor

- B-20:

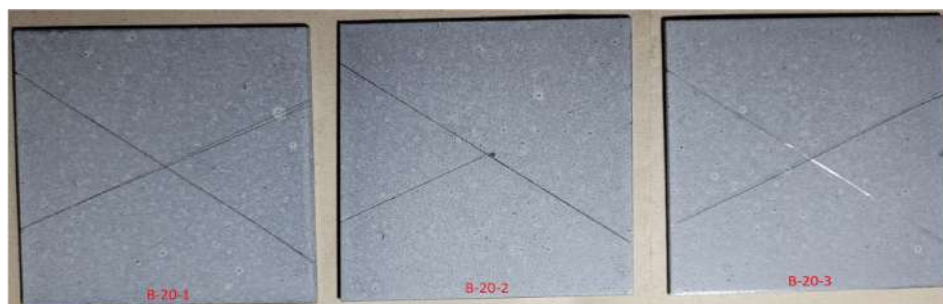


Figura 15: Teste de adesão das amostras B-20. Fonte: Autor

- A-10:

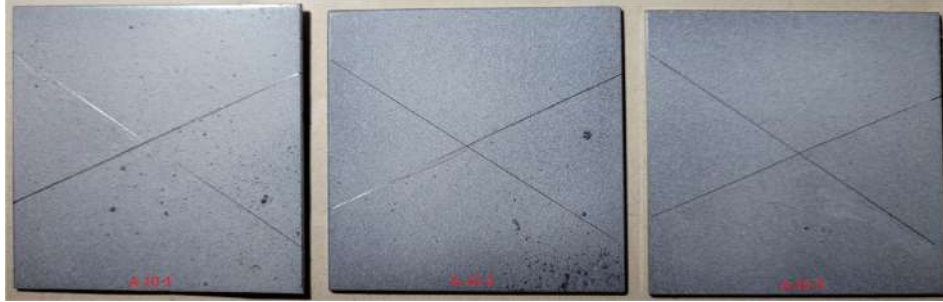


Figura 16: Teste de adesão das amostras A-10. Fonte: Autor

- A-20:

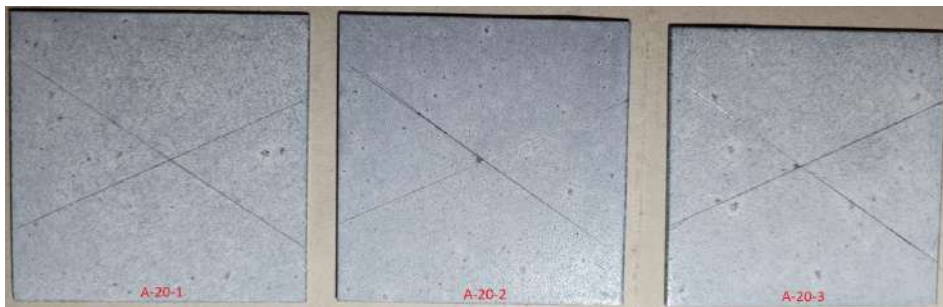


Figura 17: Teste de adesão das amostras A-20. Fonte: Autor

Nas amostras C-10 (figura 12), C-20 (figura 13), B-10 (figura 14), e A-10 (figura 16), não foram observados desprendimentos ao longo das incisões. Isso foi influenciado pelo processo de lixamento e pela limpeza adequada, resultando em uma aderência satisfatória do revestimento nas amostras. De acordo com a garantia do fabricante e contanto que as instruções de aplicação sejam seguidas, não deveria ocorrer descolamento da tinta, mesmo que as propriedades da tinta dessas amostras foram alteradas com a adição das partículas metálicas.

Ao analisar as amostras B-20 (Figura 15) e A-20 (Figura 17), é evidente que apresentaram um aderência de 1 a 2 mm em um dos lados do cruzamento das incisões, figura 18.

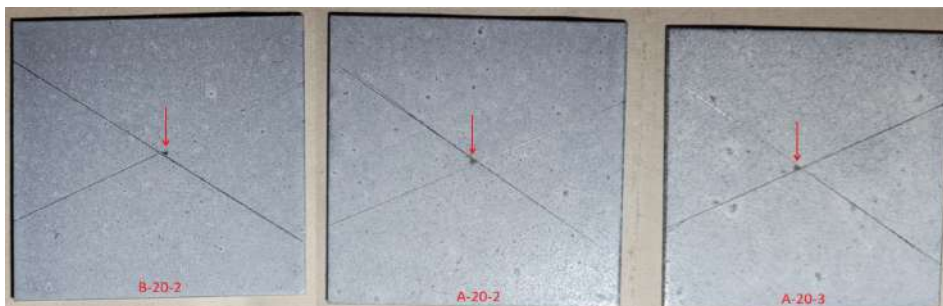


Figura 18: Amostras com desprendimento de tinta. Fonte: Autor

De acordo com a orientação da norma (Figura 19), esse descolamento é classificado como Y1, pois ele é menor que 2 mm, conforme estipulado pela norma técnica ABNT NBR 11003:2009.

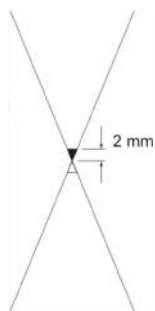


Figura 19: Classificação do tipo do descolamento como Y1 após o teste de aderência, de acordo com a norma técnica ABNT NBR 11003:2009.

A partir dos resultados obtidos, foi possível analisar as particularidades de cada etapa do processo prático, as quais serão discutidas na conclusão.

## 5. CONCLUSÃO

A prática demonstrou que a separação eficiente entre materiais magnéticos e não magnéticos requer métodos além do uso exclusivo de um ímã. A inclusão da separação por densidade no álcool para eliminação de resíduos e o emprego do processo de peneiramento para uma separação mais precisa se mostraram essenciais. Contudo, é importante ressaltar que todos os processos adicionam complexidade e custo ao processo de separação em comparação com a aplicação única do ímã. Isso pode ser um problema na indústria.

É relevante notar nos resultados da separação por densidade que, para uma identificação completa de todos os resíduos e contaminantes resultantes do processo, seria necessário enviar o material a um laboratório especializado para uma análise mais aprofundada.

Com base nos resultados do peneiramento, fica evidente que a origem dos materiais exerce um impacto direto nos resultados. A peneira que contém a maior massa de pó, pode variar dependendo da fonte dos materiais e dos materiais utilizados no equipamento em que o pó metálico foi extraído.

A etapa de lixamento e a realização de uma limpeza adequada são cruciais para garantir a aderência do revestimento na superfície. Além disso, o tempo de secagem desempenhou um papel importante na obtenção de uma aderência adequada, assim como o fabricante recomenda, resultando em amostras onde a integridade da tinta foi mantida.

A presença de metais na tinta influenciou a aderência como já era esperado. O uso de partículas maiores teve maior impacto nos resultados, pois nota-se que as amostras B-20-2, A-20-2 e A-20-3 obtiveram os piores resultados de adesão. As amostras da família A possuem maior tamanho de partículas metálicas e apresentaram desprendimentos em duas amostras: A-20-2 e A-20-3, enquanto a família B apresentou em apenas uma das amostras: B-20-2. Também foi observado que concentrações mais elevadas prejudicam a fixação, pois as amostras A-10 com menor concentração de partículas não obtiveram desprendimento. Por outro lado, ao utilizar partículas menores e concentrações menores, a aderência foi satisfatória, permitindo a inclusão de um percentual de metal na tinta. Recomenda-se a aplicação com pincel ou rolo, uma vez que a utilização de bico de pulverização pode resultar em desgaste devido à abrasão das partículas no pulverizador.

A adição de metal à tinta provocou alterações em algumas de suas propriedades, as quais se tornaram evidentes tanto durante quanto após a aplicação. Durante o processo, houve obstruções parciais no bico da pistola de pulverização, resultando em pequenos acúmulos de metal na superfície. Após a secagem, esses acúmulos se tornaram pontos de vulnerabilidade à corrosão, o que pode ser problemático para estruturas expostas a ambientes corrosivos.

Após a aplicação, a superfície da tinta apresentou uma textura muito áspera. Isso pode representar um obstáculo se a tinta for utilizada em um material com o objetivo de reduzir o atrito entre duas superfícies ou facilitar o deslizamento. No entanto, essa rugosidade pode ser benéfica em situações que demandem uma boa aderência como escadas metálicas por exemplo, onde é necessário aderência ao calçado.

Com base nesse estudo, foi observado que a aplicação da tinta pode apresentar desafios em determinadas aplicações, principalmente em relação à falta de proteção contra corrosão. No entanto, em situações específicas, ela pode ser uma solução útil. Por exemplo, poderia ser explorada a aplicação da tinta em superfícies plásticas para conferir propriedades magnéticas a esses materiais.

## 6. AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar meus sinceros agradecimentos à professora Lisiane Trevisan por seu apoio, confiança e pela troca de conhecimentos ao longo dos anos em que estive no IFRS. Seu comprometimento foi fundamental para a realização deste trabalho e para o meu desenvolvimento acadêmico e profissional.

Aos meus pais, Lademir e Marinês, por todo o apoio e contribuição para minha formação acadêmica. O incentivo e apoio de vocês em todos os desafios foram essenciais.

Agradeço aos demais professores do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul – Câmpus Farroupilha, pelo auxílio na minha formação e pelos ensinamentos aprendidos.

Também agradeço ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul – Câmpus Farroupilha, pelo suporte dos laboratórios e pela ajuda dos funcionários envolvidos durante a realização deste trabalho.

Agradeço ainda aos demais familiares, amigos e colegas que tive o prazer de conhecer ao longo do curso. Suas contribuições de diversas formas foram fundamentais para a conclusão da graduação e deste trabalho.

## 7. REFERÊNCIAS

- ORTEGA, E. Análise emergética: Uma ferramenta para quantificar a sustentabilidade dos agro-ecossistemas. Disponível em <<https://www.unicamp.br/fea/ortega/livro/c02-aemergsustentab.pdf>>. Acesso em 02 de set de 2023.
- MORAES, C.A.M, SIMON, L, VARGAS, M. Análise de Métodos de Reaproveitamento de Cavaco Metálico Contaminado Considerando Abordagens de Ecoeficiência e Ecoefetividade. Publicado maio 2015. Disponível em <[http://www.advancesincleanerproduction.net/fifth/files/sexoes/4B/6/moraes\\_cam\\_et\\_al\\_academic.pdf](http://www.advancesincleanerproduction.net/fifth/files/sexoes/4B/6/moraes_cam_et_al_academic.pdf)> Acesso em: 12 set. 2023.
- Instituto Aço Brasil. Cartilha "Aço novo de novo", publicada em outubro de 2021. Disponível em: <https://acobrasil.org.br/site/wp-content/uploads/2021/10/aco-novo-de-novo.pdf>. Acesso em: 12 set. 2023.
- LUND, Herbert F. The McGraw-hill recycling handbook. 1992.
- UNEP – MAP Special Publications, Promoting Cleaner Production in the Industrial Sector, 2002.
- LUKEN, RALPH & NAVRATIL, JAROSLAV. A programmatic review of UNIDO/UNEP national cleaner production centres. Journal of Cleaner Production. 12. 195-205. (2004).
- MATOS, Stelvia Vigolvinho e SCHALCH, Valdir. Alternativas de minimização de resíduos da indústria de fundição. Fundição e Serviços, n. 115, p. 90-98, 2002. Acesso em: 07 out. 2023
- SILVA, R. S.; FERREIRA, J. Z.; MENEGUZZI, A. Anticorrosive acrylic intelligent paint. Chemical Papers, [S.l.], v. 74, n. 2, p. 631-639, Aug. 2019.
- GENTIL, V. Corrosão. Ed. LTC, Rio de Janeiro, 2014.
- MOCHNACZ, Sandro. Caderno de Orientação Técnica: curso de pintura industrial. Curitiba, 2008.
- GNECCO, C.; MARIANO, R.; FERNANDES, F. Tratamento de superfície e pintura. 2. ed. Rio de Janeiro: IBS/CBCA, 2006. (Série Manual de Construção em Aço).
- NBR NM-ISO 3310-1: Peneiras de ensaio - Requisitos técnicos e verificação - Parte 1: Peneiras de ensaio com tela de tecido metálico. Rio de Janeiro: ABNT, [1997].
- NBR 11003:2009. Tintas — Determinação da aderência. 29 de setembro de 2009.

## INFLUENCE OF RECYCLED METAL POWDER CONTENT ON PAINT ADHESION ON SAE 1020 STEEL SURFACES

Higor Trindade, 840hig@gmail.com<sup>1</sup>

Lisiane Trevisan, lisiane.trevisan@farroupilha.ifrs.edu.br<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Federal Institute of Education, Science and Technology of Rio Grande do Sul – Câmpus Farroupilha, Avenida São Vicente, 785, Bairro Cinquentenário, CEP 95174-274, Farroupilha – RS.

***Abstract.** Among the industrial waste generated, metallic residues are included. The majority of these residues are sent for recycling in blast furnace foundries. However, this study seeks an alternative to separate and reuse these materials directly within the industry that produces them. To achieve this, segregation methods were employed on powder from industrial machines such as bench grinders, grinders, and saws. The segregation of this material involved magnetic separation, density separation, and cleaning of the metallic powder. Subsequently, the magnetic material was sieved and incorporated into a metal coating paint. Different sizes of metallic particles and at different concentrations were mixed with the paint to assess their adhesion on SAE 1020 steel surfaces. The results indicated that, in some applications, the paint may be of interest. However, a reduction in adhesion was observed with an increase in particle size and metal content in the paint. Additionally, limitations were identified regarding anti-corrosive properties, affecting the coating compared to paint without metallic particles.*

***Keywords:** Metal recycling, waste reuse, paint adhesion, paint detachment.*