

OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE MOAGEM DO CONCENTRADO DE AZUL DE FTALOCIANINA

Igor Porto de Matos ¹

Josiane da Rocha Silvano ²

Resumo: Atualmente com um cenário de grande competitividade entre as indústrias fabricantes de tintas, as empresas deste segmento buscam cada vez mais por melhorias em qualidade, eficiência e custo de seus produtos e processos. Uma das etapas mais complexas do processo produtivo de revestimentos é a moagem de pigmentos, neste trabalho buscou-se desenvolver um método para avaliar a eficiência da moagem e a influência de variáveis como temperatura e viscosidade na qualidade final deste produto. Foi montado um protótipo em escala laboratorial para simular o processo de moagem e resfriamento, semelhante ao usado em processos de fabricação. Com este protótipo, foram realizadas quatro moagens em diferentes faixas de temperatura e viscosidade das moagens foram denominadas as amostras 2, 3, 4 e 5, e comparadas com a amostra 1, produzida nos moinhos industriais. Após a moagem os produtos foram caracterizados com os testes de teor de sólidos, viscosidade, cor, força tintorial e análise de tamanho de partículas por difração de raio laser. As análises mostraram que a temperatura de 54°C na moagem de concentrado para a amostra 5 favoreceram uma melhor dispersão dos pigmentos no meio e uma eficiência maior em poder tintorial e qualidade de cor.

Palavras-Chave: Moagem. Pigmentos. Indústria de Tintas. Otimização. Azul de Ftalocianina.

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é um dos maiores e mais competitivos fabricantes de tintas do mundo, dentre os diversos tipos de revestimentos, um dos ramos que mais destaca no mercado interno é o de repintura automotiva, segmento que acompanha a expansão da indústria automotiva nacional nas últimas décadas (GIULIO, 2007). De um modo geral, a tinta é uma mistura líquida geralmente com viscosidade modificada, que após passar por processo de secagem e cura forma um filme estável e coeso,

¹ Graduando em Engenharia Química. 2021-2. E-mail: igor-porto@hotmail.com

² Professor do Cento Universitário UniSATC. E-mail: Josiane.neves@satc.edu.br

com a capacidade de embelezar e proteger diferentes tipos de substratos (FAZENDA, 2005).

Os pigmentos são materiais particulados insolúveis no meio líquido, componentes de grande importância nas formulações de uma tinta, têm a finalidade de conferir a cor desejada ao filme, além de proporcionar opacidade, resistência mecânica e a intempéries em alguns casos. A incorporação dos pigmentos nas tintas necessita do processo de pré-dispersão e dispersão, nos quais as partículas são incorporadas ao meio líquido e submetidas a força de separação por cisalhamento, que desagregam os aglomerados de pigmentos, o produto resultante deste processo é conhecido como concentrado (YAMANAKA et al., 2006).

Segundo Pappas *et al.* (2007) moinhos verticais são amplamente usados por fabricantes de revestimentos no processo de moagem de concentrados, estes equipamentos operam utilizando agitação mecânica e carga de esferas em seu interior, maximizando choques entre partículas e corpos moedores. Devido à alta taxa de cisalhamento no interior do moinho, parte desta energia é dissipada em forma de calor e se acumula no volume de controle do processo. Para controlar este efeito é necessário a instalação de sistema de resfriamento para manter o moinho em uma temperatura de operação adequada.

Em uma indústria de tintas localizada na região de Criciúma-SC, foi constatada a ineficiência e ausência de controle de dados na refrigeração dos moinhos utilizados no processamento de concentrados para a linha de repintura automotiva. O sistema consiste em um circuito fechado, onde a água utilizada como fluido refrigerante passa por um resfriador do tipo *chiller*, que é um equipamento amplamente usado em refrigeração industrial.

Diante da grande preocupação da empresa com a otimização dos processos de fabricação, a preservação de recursos naturais e diminuição de impactos ambientais, foi levantada a necessidade de avaliar o desempenho e a eficiência energética do sistema de resfriamento de moinhos utilizando o *chiller*.

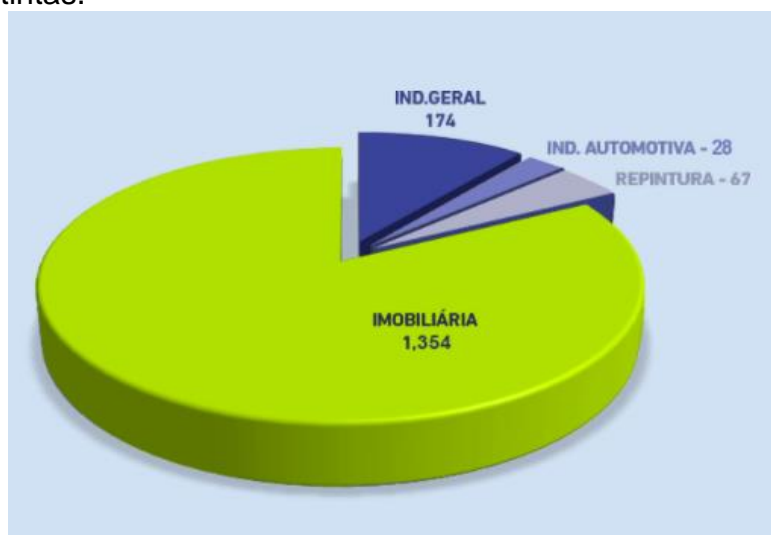
A proposta do presente trabalho é avaliar a influência das variáveis como temperatura, viscosidade, volume de esferas. Portanto será utilizado um protótipo do equipamento de moagem em escala laboratorial para realização dos testes, alterando as variáveis a fim de elencar as variáveis ou parâmetros mais significativos para o processo de moagem.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 MERCADO BRASILEIRO DE TINTAS

O Brasil é um dos maiores fabricantes de tintas do mundo, tendo larga escala de produção dos mais variados tipos e funções técnicas. A competitividade do mercado nacional pode ser comparada com os principais países produtores de tintas do mundo (SOUZA; GIANEZINI; WATANABE, 2018). Segundo levantamento da ABRAFATI (2020), o volume de produção de produtos de revestimentos no Brasil é representado por 83,4% de tintas imobiliárias, 10,7% voltado para pintura industrial, 4,1% para o segmento de repintura automotiva e 1,7% pintura automotiva original. É possível verificar na Fig. 1 o volume em bilhão de litros de tintas produzidas no mercado interno

Figura 1- Volume em bilhão de litros dos segmentos de tintas.



Fonte: Adaptado ABRAFATI (2020)

Pode-se considerar a indústria produtora de tintas um segmento consolidado na economia brasileira, o setor emprega cerca de 16.000 profissionais e conta com cerca de 300 fabricantes de diversos portes espalhados pelo território nacional. Por volta de 70 % do total de vendas do setor se concentra entre os 10

maiores produtores do país (SOUZA; GIANEZENI; WATANABE, 2018).

2.2 TINTAS E SEUS PRINCIPAIS COMPONENTES

Como mencionado na parte introdutória, de acordo com Anghinetti (2012) a tinta é uma dispersão de materiais sólidos particulados em meio líquido, que quando aplicada sobre um substrato sofre processo de cura e tem a função de proteger e decorar a superfície revestida. A principal finalidade deste produto é oferecer proteção contra degradantes do meio, como: umidade, radiação, poluição atmosférica.

De acordo com Pappas *et. al* (2007) a tinta é uma mistura complexa que pode ser resumida na combinação dos seguintes componentes: resina, solvente, aditivos e pigmentos.

A resina é o material polimérico que é responsável por formar um filme contínuo que adere ao substrato aplicado, e que aglomera as partículas de pigmento presentes na dispersão. Em alguns casos o polímero é previamente preparado e adicionado ao produto, em outros casos o processo de polimerização ocorre após a etapa de aplicação do revestimento." A resina denomina também o tipo de tinta ou revestimento empregado. Assim, por exemplo, temos as tintas acrílicas, alquídicas, epoxídicas, etc." (FAZENDA ,2006, p.9).

Os aditivos são materiais adicionados em pequenas quantidades em formulações de tintas que proporcionam características específicas ao sistema. Podem ser utilizados em diferentes etapas da fabricação e conferem características próprias para a aplicação. Exemplo: antiespumantes, dispersantes, secantes, modificadores reológicos (PAPPAS *et. al* 2007, FAZENDA 2006).

De acordo com Pappas *et. al* 2007 e Fazenda 2006, os solventes são os componentes em maior quantidade na dispersão, responsáveis por dissolver a resina, manter o sistema na forma líquida e apropriado para a aplicação. São componentes voláteis, que evaporam durante e após a aplicação. Estes líquidos podem ser compostos orgânicos voláteis e mais recentemente, com a necessidade da diminuição das emissões de COVS(compostos orgânicos voláteis), muitos sistemas de revestimentos vêm sendo adaptados a fim de usar água como veículo principal.

2.3 PIGMENTOS

De acordo com Anghinetti (2012), pigmentos são partículas sólidas finamente divididas, com diâmetro entre $0,05\mu\text{m}$ e $0,5\mu\text{m}$, sendo insolúveis no meio. Este material é adicionado à formulação das tintas para desempenhar cinco principais funções: promover cor, cobrir o substrato, modificar propriedades de aplicação, modificar características do filme e reduzir custos.

De acordo com Fazenda (2006) os pigmentos são divididos em dois tipos: pigmentos orgânicos e pigmentos inorgânicos.

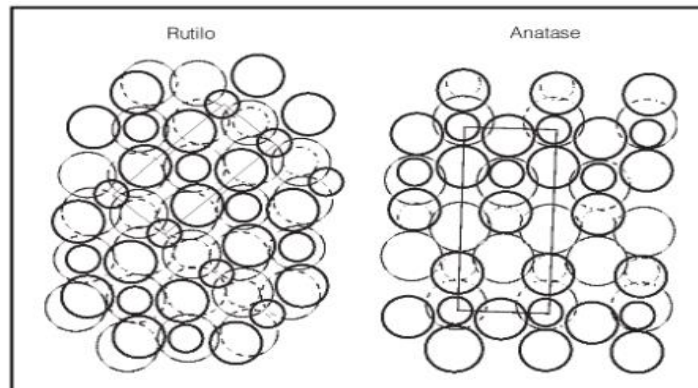
Pigmentos orgânicos são materiais corantes que normalmente não tem característica anticorrosiva. Um dos fatores mais importantes a serem observados é a durabilidade e permanência da cor, principalmente em ambientes externos. Essa classe de pigmentos é mais cara em relação aos pigmentos inorgânicos. Possuem propriedades específicas como: alto poder de tingimento, intensidade de cor, limpeza e tonalidade (ANGHINETTI, 2012).

Segundo Fazenda (2006) são considerados pigmentos inorgânicos todos os pigmentos brancos, cargas, e uma grande gama de pigmentos coloridos. Geralmente não apresentam brilho tão elevado quanto os orgânicos. Os colorantes inorgânicos são divididos em ativos e inertes.

Pigmentos ativos conferem cor e poder de cobertura ao sistema, um dos principais colorantes ativos utilizados na indústria de tintas é o dióxido de titânio (TiO_2), a forma mais usada deste mineral, cristais rutilo, tem como principal característica o alto poder de cobertura. O potencial opacificante de qualquer pigmento é essencialmente ligado à duas variáveis: o índice de refração e tamanho de partícula.

A Fig. 2 apresenta as diferentes estruturas de dióxido de titânio encontradas:

Figura 2- Estrutura dos cristais de TiO_2



Fonte: Fazenda (2006)

Outros exemplos de pigmentos inorgânicos ativos são os óxidos de ferro (Fe^2O^3), ocorrendo em uma ampla variedade de cores. Os pigmentos de óxido de ferro podem ser de origem sintética ou natural. Têm grande importância no mercado de tintas devido ao seu baixo custo, estabilidade e natureza não tóxica. Óxidos de ferro naturais são comumente utilizados em diversas indústrias incluindo a de tintas como pigmentos de cores primárias. Já óxidos de ferro naturais como o marrom metálico, são usados para revestimento de estrutura metálica como uma alternativa de bom poder de cobertura a baixo custo, também protege o veículo orgânico de degradação de luz e química. Óxidos de ferro vermelho sintético apresentam maior segmento de colorantes sintéticos, seguido dos óxidos de ferro amarelo (FAZENDA, 2006; ANGHINETTI, 2012).

Pigmentos inertes são atualmente chamados de cargas ou *extenders*, são encontrados geralmente em cores brancas e têm baixo índice de refração comparados com os pigmentos ativos. São utilizados para baixar custo de produtos e promover características específicas como: resistência mecânica, opacidade, nivelamento e propriedades específicas do filme.

O tamanho de partícula do pigmento influi diretamente nas propriedades e no desempenho do material, o processo produtivo de cada pigmento é projetado para fornecer uma faixa específica de distribuição granulométrica do produto. A fabricação destes materiais envolve na maioria das vezes, a operação unitária de precipitação em água, que auxilia na seleção de material a partir do tamanho de partícula. Após a precipitação, as partículas sólidas passam por processo de filtração e secagem para serem fornecidas ao fabricante de tintas como um pó seco.

As primeiras etapas do processo produtivo de tintas envolvem a dispersão de pigmentos, que consiste em desaglomerar os agregados de partículas, formados

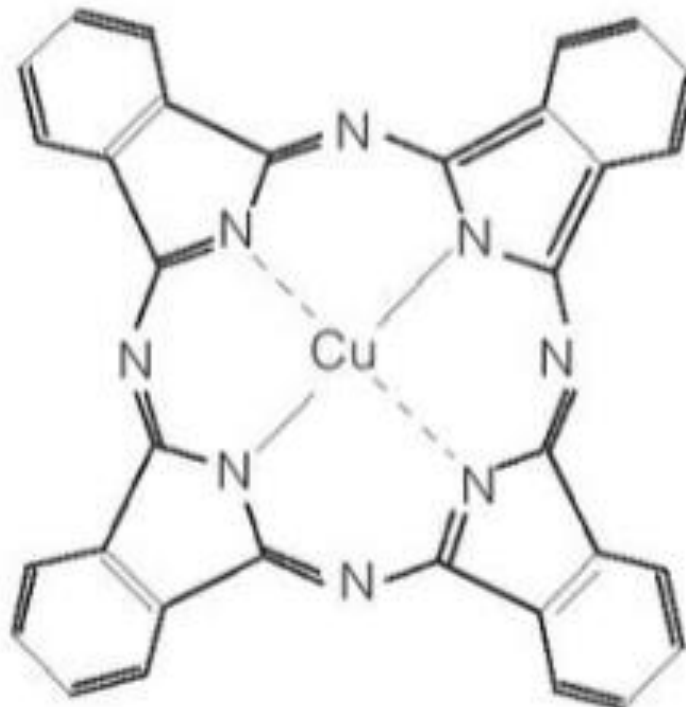
principalmente na filtragem e armazenagem do produto, a dispersão desagrega o material particulado quebrando-o novamente em seu tamanho original.

2.3.1 Azul de ftalocianina

Os azuis de ftalocianina são pigmentos orgânicos com alta solidez que podem em alguns casos superar os pigmentos inorgânicos nesta propriedade. Este pigmento pode ser encontrado em duas formas diferentes, a forma α possui tonalidade mais avermelhada e a forma β possui tonalidade mais esverdeada (FAZENDA, 2006).

Devido a sua boa relação custo/tingimento e a sua alta solidez o pigmento azul de ftalocianina é altamente utilizado na indústria para os mais diversos tipos de tintas. A Fig. 3 apresenta a fórmula estrutural da molécula azul de ftalocianina

Figura 3 – Fórmula estrutural da molécula Azul de Ftalocianina



Fonte: Fazenda (2006)

Segundo Bauer (2018) tintas formuladas com o pigmento azul ftalocianina sem qualquer tratamento pode favorecer a ocorrência de floculação e recristalização

em tintas formulada com solventes fortes como toluol e xilol, o que influencia na perda de poder tintorial e alteração na cor da tinta. Para evitar estas patologias é necessário que o pigmento passe por um tratamento específico de estabilização que impede esses efeitos.

2.4 DISPERSÃO DE PIGMENTOS

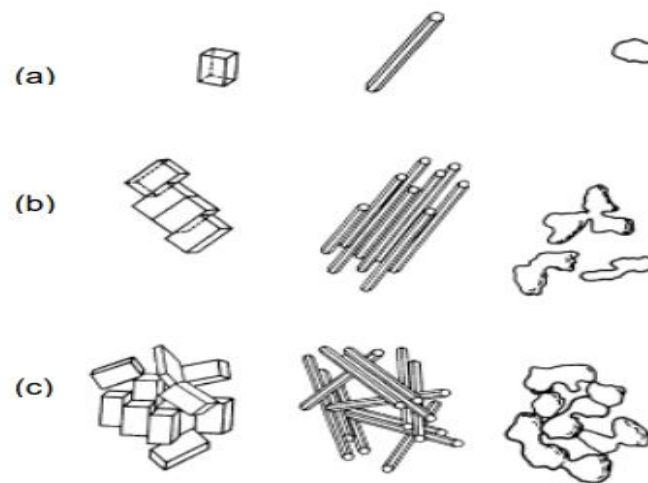
Segundo Parfitt (1969, apud FAZENDA, 2006), a dispersão refere-se ao processo de incorporação de um material sólido finamente particulado em um meio líquido, sendo ele aquoso ou orgânico. A dispersão de partículas finas é chamada de dispersão coloidal quando o material sólido está compreendido em uma faixa de 0,001 μm a 1 μm .

Como mencionado anteriormente, o pigmento é fabricado com um tamanho de partícula específico para otimizar suas propriedades, no entanto, durante o processo produtivo e de armazenamento formam-se agregados maiores do material. A dispersão dos pigmentos é um processo crítico na fabricação de tintas, tendo em vista que a obtenção de dispersões estáveis e com tamanho de partícula adequado afeta diretamente a qualidade dos produtos. Esta ação consiste em três principais etapas: a umectação das partículas, a quebra dos agregados e a estabilização (PAPPAS *et al*, 2007).

O trabalho de umectação do sistema consiste na substituição do ar presente nos poros do pigmento a partir da interação sólido-líquido entre a partícula e o veículo. Os principais aspectos que afetam a eficiência do processo estão relacionados a resistência difusiva na superfície do pigmento e a tensão superficial do veículo. O cisalhamento exercido sobre o material particulado é efetivo apenas existindo afinidade do meio com a superfície das partículas, além disso outro benefício da umectação é o auxílio na estabilização das partículas, com a substituição do ar nos poros diminui a atração entre os pigmentos (DUTRA, 2009).

A Fig. 4 evidencia a diferença entre as formas de agregação que se encontram as partículas sólidas.

Figura 4: Formas de agregação de partículas sólidas.



Fonte: Dutra (2009).

De acordo com Pappas *et. al* (2007) a quebra dos grupos de pigmentos é a principal finalidade da dispersão, nela ocorre o fracionamento de agregados e aglomerados buscando obter a forma primária do material. Neste processo podem ser empregados uma ampla variedade de equipamentos como: moinhos verticais, horizontais, moinhos de bolas, dispersores cowless. Este trabalho dará ênfase a abordagem do moinho vertical, equipamento utilizado no sistema em estudo. Estes mecanismos atuam aplicando tensões de cisalhamento sobre as partículas de pigmento e separando-as. Dependendo da natureza do pigmento, este irá demandar maior ou menor energia de separação.

A dispersão e a quebra dos aglomerados de partículas geram muitas colisões, cuja estabilidade será determinada pela interação dos materiais sólidos durante a colisão, neste processo podem ocorrer interações de atração e de repulsão entre os pigmentos. Quando predomina a repulsão as partículas se repelem e tendem a se espalhar no meio. Na predominância de atração de pigmentos ocorre a aderência sólido-sólido. A estabilidade do meio é determinada pelo balanço entre interações de atração e repulsão do sistema. Existem dois principais mecanismos de estabilização de uma mistura sólido-líquido, a primeira consiste na repulsão elétrica devido a igualdade de cargas na superfície das partículas, conhecido como estabilização eletrostática. Outro mecanismo consiste na repulsão feita por camadas não iônicas absorvidas nos interstícios da partícula, este é chamado de estabilização estérica. Os agentes umectantes e dispersantes utilizados nas indústrias de tintas e revestimentos

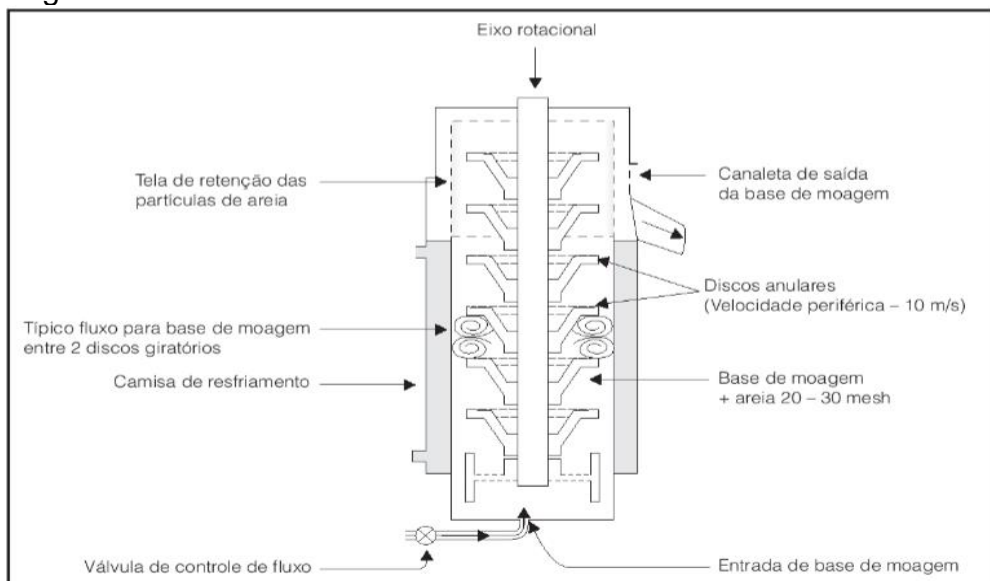
são responsáveis por essa ação, além de agir na modificação da tensão interfacial (SATO, 1993 apud FAZENDA, 2006).

2.5 MOINHO VERTICAL

De acordo com Pappas *et. al* o moinho vertical é um equipamento de dispersão em processo contínuo, nele a base de moagem flui através da altura do moinho, sendo submetida a alta agitação. O equipamento é composto por um eixo de alta velocidade com discos agitadores, inserido no interior de um cilindro vertical, os discos são responsáveis por impelir os corpos moedores (geralmente materiais cerâmicos esféricos) pela câmara de moagem, fornecendo a energia necessária para separar os aglomerados de pigmento, no topo da zona ativa o produto disperso atravessa a tela que retém o agente de moagem.

A dispersão deve ser conduzida em condições específicas de acordo com as características da base de moagem processada, uma das principais variáveis do processo é a viscosidade, a qual a eficiência da separação das partículas é diretamente dependente. Na maioria das vezes a viscosidade de operação no moinho é controlada a partir da temperatura, em muitas plantas a faixa de temperatura ocorre entre 43°C e 65°C, a faixa ótima de temperatura é mantida por um fluxo de água refrigerante que flui pela camisa de resfriamento, como pode se ver na Fig. 5 (FAZENDA, 2006).

Figura 5 – Funcionamento do moinho vertical



Fonte: Fazenda (2006).

2.6 SISTEMAS DE REFRIGERAÇÃO DE ÁGUA GELADA

De acordo Lopes (2007) com a maioria dos processos industriais e assim como no caso estudado pelo presente trabalho, a refrigeração industrial é obtida a partir de um fluido a baixa temperatura, muitas vezes água ou variações de soluções aquosas.

Os resfriadores de líquidos são também chamados de chillers, são o ponto principal de um sistema de resfriamento, nele o fluido cede a quantidade de calor ganha no processo, e retorna para continuar a operação.

Para Lopes (2007) os resfriadores de líquidos utilizam um ciclo de compressão a vapor, os principais componentes desse ciclo são:

- a) Evaporador: tem a função de ceder uma área de contato para ocorrer a troca térmica entre o fluido refrigerante e o fluido de processo.
- b) Tubulação de sucção: conduz o vapor de baixa pressão do evaporador para admissão no compressor.
- c) Compressor de vapor: succiona o vapor do evaporador para elevar a pressão e temperatura deste para que possa ser condensado com o agente de condensação
- d) Tubulação de descarga: fornece vapor de exaustão do compressor ao condensador
- e) Condensador: fornece superfície de troca de calor do vapor aquecido do refrigerante para o agente de condensação
- f) Tubulação de Líquido: conduz o refrigerante até o evaporador
- g) Válvula de expansão: reduz a pressão do líquido refrigerante até que este evapore ao trocar calor no evaporador.

O *chiller* instalado para realizar o resfriamento dos moinhos é do modelo GA-45-RI-380 Mecalor, o equipamento utiliza ar atmosférico como fluido de condensação e opera com capacidade térmica nominal de 45.000Kcal/h. A água de resfriamento é transferida para o processo por uma bomba de 30 mca de capacidade, a Tab. 1 mostra as características técnicas do chiller GA-45, referente ao aparelho em uso no sistema.

Tabela 1 – Informações técnicas da unidade de resfriamento de água

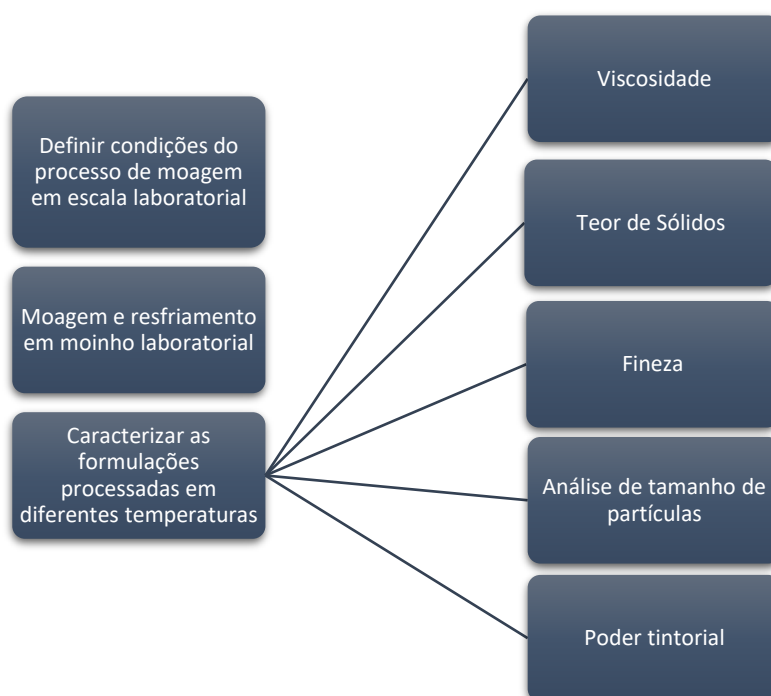
Modelo	Capacidade nominal	Bomba de processo	Potência máxima	Reservatório de água	Fluido de condensação
GA-45	45.000 Kcal/h	7,5m ³ /h	25Kw	170 litros	16.000 m ³ /h

Fonte: Adaptado Mecalor (2004)

3 PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

O procedimento experimental consistirá em fazer o levantamento de dados dos processos de moagem de concentrados e de resfriamento do mesmo, a partir destes dados e das informações técnicas dos equipamentos será feito o dimensionamento do processo. Esta secção do trabalho seguirá as etapas descritas no fluxograma da Fig. 6.

Figura 6: Fluxograma das etapas do procedimento experimental

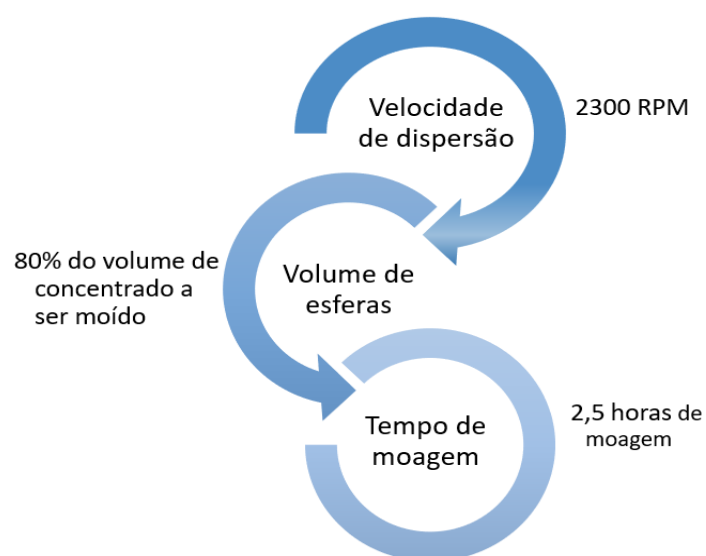


Fonte: Do autor (2021)

3.1 DEFINIR CONDIÇÕES DO PROCESSO DE MOAGEM EM ESCALA LABORATORIAL

O processo de moagem no laboratório será feito com o dispersor biuged BGD 571/2 conforme apresentado na Fig. 7 em um moinho de 1,25 litros com camisa de resfriamento.

Figura 7 – Variáveis fixadas para a moagem em laboratório.



Fonte: Do autor (2021).

Vale ressaltar que o procedimento será padronizado para todos os ensaios desse estudo. A carga moedora escolhida para realizar a dispersão dos pigmentos é a esfera de zircônio de 1mm de diâmetro, volume destas corresponde a 80% do volume de concentrado a ser moído, a rotação do dispersor será mantida em 2300 RPM durante toda a moagem. A Tab. 2 traz as principais especificações do dispersor utilizado no experimento.

Tabela 2 – Especificações técnicas do dispersor BGD 571/2

Modelo	Potência	Capacidade de rotação (r p/ min.)	Volume do moinho
BGD 571/2	750W	1000-6000	1,25L

Fonte: Adaptado Biuged (2021).

Cada moagem terá um tempo determinado de duas horas e trinta minutos, a fim de manter uma isonomia entre todos os ensaios realizados.

3.2 MOAGEM E RESFRIAMENTO EM MOINHO LABORATORIAL

Para a determinação das melhores condições de temperatura e viscosidade será realizada a simulação da moagem que é feita na produção da empresa Anjo Tintas, em um moinho vertical de laboratório.

As amostras a serem processadas são formuladas em laboratório, o resfriamento será feito no Banho Ultratermostático da marca Quims, modelo Q214M, o aparelho realiza circulação de água, podendo ajustar a temperatura desta a uma ampla faixa de temperatura que pode variar de -20°C a 120°C .

Os concentrados serão moídos com uma temperatura de água constante, iniciando com a temperatura da água em 25°C acrescentando-se 5°C a cada nova moagem, para cada uma destas serão peneiradas as amostras do produto processado para a posterior caracterização. Os testes em laboratório serão realizados com o concentrado do pigmento azul de ftalocianina, por ser o produto que exige maior número de passes, cerca de 5 passes no moinho por lote.

3.3 CARACTERIZAÇÃO DAS FORMULAÇÕES PROCESSADAS EM DIFERENTES TEMPERATURAS

As formulações realizadas no moinho laboratorial serão submetidas aos testes de fineza, com grindômetro 155-01 da marca Omicron, será avaliada a variação de cor e o poder tintorial em relação ao padrão utilizando o aparelho espectro2guide da marca BYK. Foi analisado no viscosímetro Krebs Stormer a viscosidade em KU (Kreebs Unity) de todas as amostras a 25°C e na viscosidade na temperatura que cada concentrado é processado.

As amostras de cada moagem serão submetidas ao teste de determinação teor de sólidos conforme a norma ABNT NBR 15315 e passarão por análise de distribuição granulométrica pelo aparelho PSA 1190 da marca Anton Paar.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na etapa experimental do estudo foi formulado o concentrado azul de ftalocianina e a partir deste foram realizadas quatro moagens no sistema montado em laboratório e retirada uma amostra de concentrado da produção para realizar as comparações. O processo em laboratório foi montado para simular o processo produtivo de concentrados de pigmentos na fábrica e principalmente para avaliar a influência da viscosidade e temperatura na eficiência da dispersão dos pigmentos no meio líquido. Para o experimento foi utilizado um moinho fechado, distinto do processo contínuo que é adotado na produção.

Para eliminar possíveis variações nos testes e padronizá-lo foram definidas para todas as moagens variáveis como: velocidade de rotação do dispersor, proporção de volume de esferas e volume e amostra, e tempo de moagem. Foi alternando somente a temperatura entre os ensaios. A Fig. 8 mostra o sistema de moagem e resfriamento.

Figura 8 – Sistema de moagem e resfriamento montado em laboratório para simular o processo produtivo.



Fonte: Do autor (2021).

As amostras após processadas foram peneiradas e denominadas como amostras 1, 2, 3, 4 e 5. A amostra 1 refere-se a amostra padrão retirada do processo produtivo da fábrica, as demais amostras foram realizadas em laboratório e classificadas de acordo com as temperaturas de água de resfriamento e a

temperatura do concentrado na moagem, a classificação ficou de acordo com a Tab. 3.

Tabela 3 – Classificação das amostras realizadas.

Amostra	1	2	3	4	5
Temperatura da água de resfriamento	-	25°C	35°C	45°C	53 °C
Temperatura do concentrado na moagem	41-43 °C	26-27,0°C	36-37°C	46-47°C	54-55°C

Fonte: Do autor (2021).

Com os dados de temperatura obtidos do processo pode-se notar a alta eficiência do sistema de resfriamento, isso porque os valores da temperatura do concentrado se mantiveram entre 1 a 2°C acima da temperatura da água que passa pela camisa de resfriamento, o que mostra que o controle de temperatura foi bastante preciso.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS.

As amostras moidas foram posteriormente caracterizadas com os testes de determinação de fineza, determinação de teor de sólidos e viscosidade em KU nas temperaturas de 25°C e nas respectivas temperaturas de moagem de cada concentrado. A Tab. 4 aponta os valores obtidos dos ensaios.

Tabela 4 – Caracterização das amostras após a moagem.

Amostra	1	2	3	4	5
Teor de sólidos (%)	45,33	45,50	47,50	50,50	52,00
Viscosidade 25°C (KU)	122,0	105,2	112,1	140,5	>141,0KU
Viscosidade na temperatura de moagem (KU)	97,6	95,5	105,0	115,6	118,2
Fineza (H)	7,0	5,1	6,0	6,1	5,5

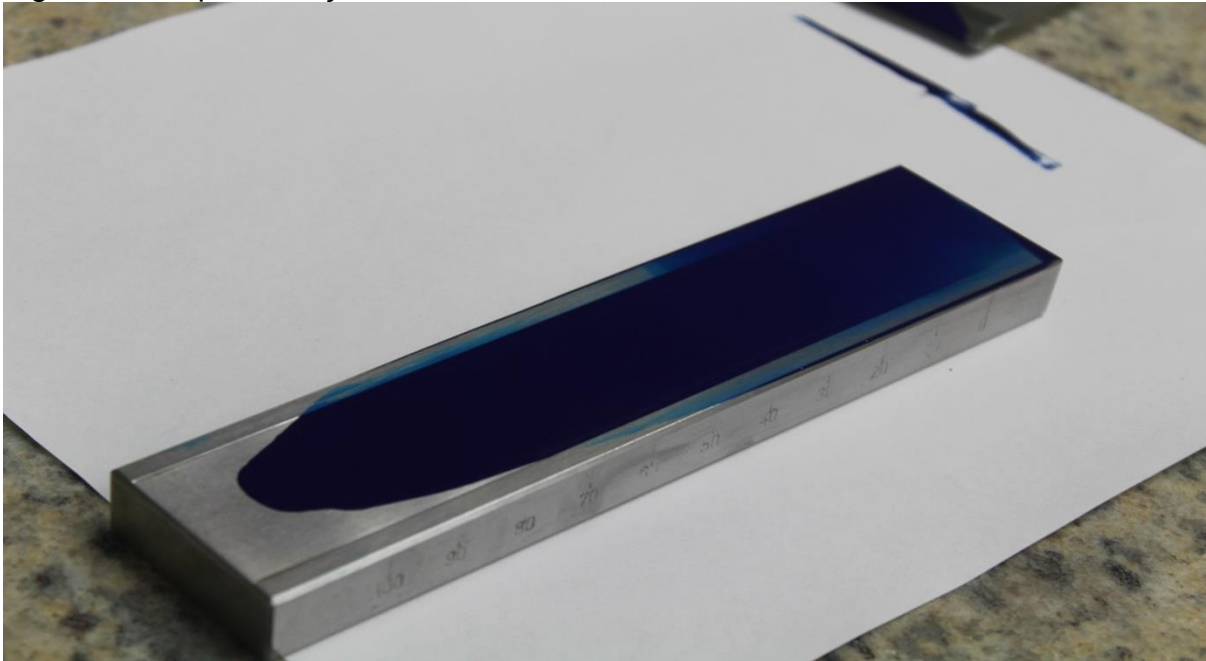
Fonte: Do autor (2021).

Os valores medidos de teor de sólidos e viscosidade de cada amostra tem relação direta entre si, de acordo com Kammer (2016) os solventes são capazes de

conferir a viscosidade fluida dos concentrados, logo a perda deste componente tem como consequência o aumento do teor de sólidos e de viscosidade.

É possível notar que o processo de moagem utilizado na produção apresenta uma perda menor de solvente, pois na produção o concentrado é moído a 41,0-42,0 °C e apresenta teor de sólidos de 45,33% menor que o teor de sólidos da amostra 3 com 45,33% de sólidos e que foi moída em laboratório a 36,0-37,0°C, indicando uma maior evaporação de solvente no processo de laboratório. A Fig. 9 representa o ensaio de fineza em um grindômetro.

Figura 9 – Representação de um ensaio de fineza



Fonte: Do autor (2021).

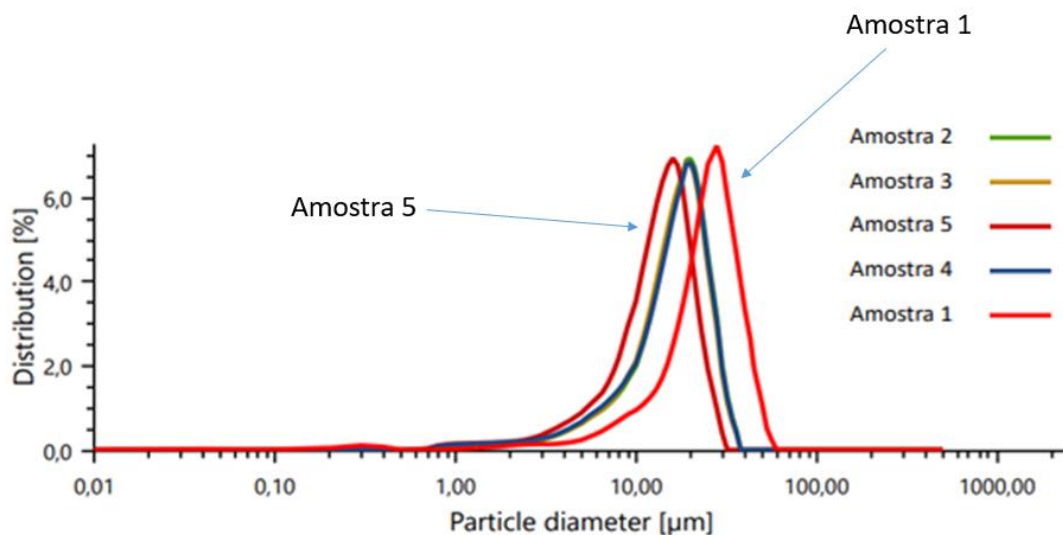
Os resultados de fineza mostram uma eficiência maior no processo de produção para a separação de agregados menores, de acordo com Fazenda (2007) as partículas são separadas no interior da câmara de moagem a partir de uma alta taxa de cisalhamento gerada pela agitação dos elementos de moagem, o que indica que a velocidade de rotação de 2300 RPM utilizada em laboratório pode não ser suficiente para atingir a fineza necessária.

4.2 ANÁLISE DE TAMANHO DE PARTÍCULAS.

A análise do tamanho de partículas das amostras estudadas foi obtida utilizando o equipamento PSA (Particle Size Analyser) Anton Paar modelo 1090, com a tecnologia de difração de raio laser que tem alta sensibilidade para a determinação de diâmetro de partículas via úmido ou a seco (ANTON PAAR, 2017)

O software de análise gera as curvas de distribuição do tamanho de partículas em volume e cumulativo e fornece os dados de diâmetro de partícula D10, D50, D90 e de diâmetro médio, de acordo com a Fig.10.

Figura 10 – Distribuição em tamanho de partículas (Volume)



Fonte: Do autor (2021).

Observando-se o gráfico comparativo de distribuição granulométrica das cinco amostras, é possível notar as curvas das amostras 2, 3, 4 e 5 que foram moídas em laboratório com faixa de tamanhos de partículas menores comparados ao concentrado feito em produção, uma possível causa deste efeito pode s'er a diferença de tempo de moagem adotada, já que no processo produtivo não existe um valor de tempo determinado para a moagem, o concentrado passa pelo moinho de forma contínua e com o número de passes necessários para atingir a fineza necessária.

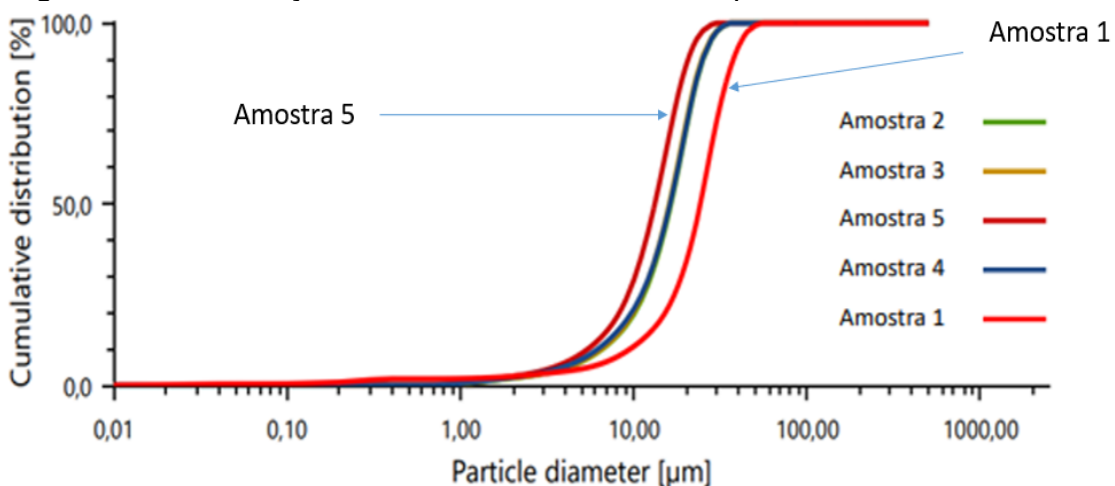
Realizando a comparação entre os concentrados produzidos no sistema de moagem em laboratório, é possível notar que a amostra 5 apresentou grau de dispersão superior as demais, que tem faixa de distribuição granulométrica muito semelhantes. Considerando que todas as moagens tiveram as mesmas condições variando somente a temperatura do processo, mostra que para a amostra 5 moída

com uma faixa de temperatura de 54-55°C para o concentrado favoreceu a separação dos aglomerados em partículas menores.

Uma influência importante que o tamanho de partícula exerce é na viscosidade de dispersão. Soluções com partículas maiores tendem a serem menos viscosas enquanto partículas mais finas geram mais interação e preenchimento no meio líquido, deixando este mais viscoso. Este fenômeno pode ser notado no com a viscosidade da amostra 5, a alta viscosidade desta amostra ocorre porque a mesma tem alto teor de sólidos e tamanhos de partículas muito pequenos. (COHEN E JACKIX, 2005).

A Fig. 11 faz o comparativo da distribuição cumulativa de partículas de todas as amostras estudadas.

Figura 11 – Distribuição cumulativa de tamanho de partículas.



Fonte: Do autor (2021).

O gráfico de distribuição cumulativa reforça o que se pode observar no gráfico de distribuição de tamanho de partícula em volume, onde a curva da amostra 5 tem aumento do percentual de acúmulo de partículas em diâmetros menores comparadas com as amostras 1, 2, 3 e 4. As amostras 2, 3 e 4 apresentam perfis qualitativos e quantitativos semelhantes enquanto a curva da amostra 1 é a que tem crescimento de acúmulo nos maiores tamanhos de partículas entre os concentrados estudados.

A curva de distribuição cumulativa auxilia de forma visual a compreender os diâmetros D90, D50, D10 os quais informam os tamanhos máximos de partícula compreendidos em 90%, 50% e 10% do total de partículas respectivamente. A Tab. 5

traz os valores de diâmetro de partícula das amostras analisadas.

Tabela 5 – Valores de diâmetros de partícula.

Amostra	1	2	3	4	5
D10[μm]	9,073	5,567	5,460	5,180	4,645
D50[μm]	23,333	14,144	13,995	14,070	11,683
D90[μm]	36,679	22,793	22,573	22,955	18,895
Tamanho Médio [μm]	23,976	14,751	14,586	14,645	12,262

Fonte: Do autor (2021).

A tabela 5 traz a média dos valores lidos pelo PSA, que faz o ensaio em triplicata, os valores demonstram de forma quantitativa a maior eficiência na moagem da amostra 5 em relação as demais.

Os dados de diâmetro médio de partícula fornecidos pelo equipamento reiteram que a moagem da amostra 5 com tamanho médio de 12,262 μm , teve dispersão mais eficiente que as demais amostras, incluindo a amostra padrão que tem tamanho de partícula significativamente maior, de 23,976 μm . As amostras 2, 3, e 4 todas realizadas em laboratório apresentaram valores de diâmetro médio muito próximos de 14,751 μm , 14,586 μm e 14,645 μm respectivamente, o que indica que para estas moagens a temperatura de processamento não teve influência significativa.

4.3 ANÁLISE DE FORÇA TINTORIAL

Para analisar a cor e força tintorial dos concentrados foi utilizado o espectrofotômetro spectro2guide Pro 45/0 da marca BYK.

Foi escolhida uma base clara de esmalte sintético para receber a pigmentação das amostras de concentrado azul, visando equalizar a quantidade de pigmento sólido nos cortes a serem feitos, foi realizada uma normalização que consistia em pesar a mesma quantidade de sólidos em 200g de base de esmalte sintético. A normalização foi realizada com o auxílio da eq 1.

$$m = \frac{1}{T} \quad (1)$$

Onde:

m [g] Massa de concentrado a ser pesada

T [%] Teor de sólidos da amostra

Feitos os ajustes como teor de sólidos das amostras, as pesagens ficaram de acordo com a Tab. 6.

Tabela 6 – Massas para o corte do concentrado.

Amostra	1	2	3	4	5
Massa de base	200g	200g	200g	200g	200g
Massa do concentrado	2,2060	2,1978	2,1052	1,9801	1,9230

Do Autor (2021)

Pode-se notar pela tabela que da amostra 1 a amostra 5 foi pesada uma massa cada vez menor de concentrado, isso porque e o teor de sólidos também aumenta neste sentido. Com as amostras pigmentadas e dispersas, foi realizada uma extensão das amostras 2, 3, 4 e 5 sempre contra a amostra 1, o padrão. A Fig. 12 demonstra uma extensão realizada, comparando o padrão com uma amostra teste.

Figura 12 – Extensão em cartela Padrão *versus* Teste.



Do autor: (2021).

As extensões foram feitas em cartelas de avaliação de cor (Papel Leneta) e cobertura utilizando um extensor barra de 150 μm , a aplicação cobria por completo o fundo da cartela, sendo assim próprio para análise.

Após aplicação e secagem das extensões foi realizada a comparação entre

as amostras e o padrão no espectrofotômetro, cada faixa de aplicação (padrão ou amostra) foi medida em triplicata e o aparelho fornece a média aritmética das medições. Os valores obtidos são apresentados na Tab. 7.

Tabela 7 – Comparativo de poder tintorial.

Amostra	1	2	3	4	5
Poder tintorial	100%(Padrão)	93,88%	94,43%	98,43%	102,23%

Fonte: Do autor (2021)

Os resultados obtidos de força tintorial demonstram a influência do perfil de tamanho de partícula nas propriedades dos concentrados de pigmentos, a amostra 5 que apresentou perfil de distribuição granulométrica em diâmetros de partículas menores teve também maior força de tingimento (102,23%) entre todas as amostras analisadas, incluindo o produto padrão (100%) produzido na fábrica. O tamanho das partículas influencia no poder de tingimento e cobertura uma vez que partículas menores tem maior capacidade de preenchimento comparadas a partículas de tamanho maior (FAZENDA, 2007).

A obtenção de um processo de concentrado mais eficiente pode melhorar a produtividade deste, sendo necessário um número menor de passes para se obter a qualidade necessária. A produção de concentrados com poder tintorial superior também pode trazer economia, tendo em vista que será usado um volume menor desta matéria prima nas tintas devido ao seu poder de tingimento maior.

5 CONCLUSÕES

Com a crescente busca das indústrias fabricantes de tinta por melhorias em processos e produtos, a realização de estudos aplicáveis na melhoria de fabricação são fundamentais para o avanço tecnológico destas empresas. Devido à essa necessidade, buscou-se estudar o processo de moagem do concentrado azul de ftalocianina na Indústria Anjo Tintas e a sua possível otimização. Utilizou-se um protótipo de moagem em laboratório estudando quatro diferentes amostras em temperaturas distintas, as amostras foram comparadas entre si e com o produto atual, produzido na produção.

A caracterização das amostras processadas mostra que o controle da temperatura de processo modifica significativamente a característica do produto final, com o aumento da temperatura de moagem empregada notou-se um aumento da viscosidade e teor de sólidos das amostras. Foi possível verificar que o tipo de processo também influencia nestas características, tendo em vista que a amostra 1, feita nos moinhos industriais apresentou teor de sólidos e viscosidade menor em relação as amostras 3 e 4 que foram processadas com uma temperatura de concentrado de 37,5°C e 47,0°C respectivamente, contra 42,0°C da amostra 1.

A comparação das amostras evidencia que a amostra 5 realizada com uma temperatura de concentrado de 54°C teve o processo de dispersão favorecido devido a esta temperatura adotada, o resultado fica claro a partir da análise de tamanho de partículas por difração de raio laser onde a amostra 5 apresenta curva de distribuição granulométrica mais concentrada em tamanhos de partículas menores comparadas com as demais amostras processadas no protótipo de laboratório. A qualidade superior da amostra 5 é comprovada também com a análise de força tintorial, onde esta mostra capacidade de tingimento maior do que as demais amostras moídas em laboratório e a amostra retirada da produção.

Os resultados foram satisfatórios tendo em vista que foi possível comprovar a melhora da qualidade do produto apenas com a modificação da temperatura de processo, além desta melhoria seria possível ter redução de custos, pois a temperatura empregada para a moagem da amostra 5 é superior a utilizada atualmente, o que exige menor consumo energético do sistema de resfriamento. Outro fator importante para a economia com esse processo é o aumento do poder tintorial do concentrado, o que possibilita utilizar quantidades menores desta matéria prima considerada custosa nas fórmulas das tintas.

REFERÊNCIAS

ANGHINETTI, Izabel Cristina Barbosa. **Tintas, suas propriedades e aplicações imobiliárias**. 2012. 62 f. Monografia (Especialização) - Curso de Curso de Especialização em Construção Civil, Escola de Engenharia Ufmg, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

COHEN, Kelly de Oliveira; JACKIX, Marisa de Nazaré Hoelz. **Estudo do licor de cupuaçu**. Food Science and Technology, v. 25, p. 182-190, 2005.

DI GIULIO, Gabriela. **Setor de tintas cresce, inova e foca na questão ambiental.** Inovação Uniemp , Campinas, v. 3, n. 6, dezembro de 2007. Disponível em <http://inovacao.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1808-23942007000600007&lng=en&nrm=iso>. acesso em 25 de maio de 2021.

DUTRA, Regiane Defácio. **Estudo da dispersão de pigmentos orgânicos em resina de polipropileno para aplicação em fibras e filamentos.** 2009. 175 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Materiais, Ufscar, São Carlos, 2009.

FAZENDA, Jorge M. R.. **Tintas Ciência e Tecnologia.** 4. ed. São Paulo: E. Blucher, 2009

KAMMER, Eduardo Hobold. **Influência de resinas alquídicas na dispersão de pigmentos.** 2017. 63 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Química, Unesc, Criciúma, 2017.

LOPES, Marco Aurélio. **Projeto e simulação de resfriadores de líquidos.** 2007. 139 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007. Disponível em: https://teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3150/tde-12092007-150005/publico/Dissertacao_final_rev6.pdf. Acesso em: 04 abr. 2021.

JUNIOR, Miguel Jafelicci; VARANDA, Laudemir Carlos. **O mundo dos colóides.** Química nova na escola, v. 9, p. 9-13, 1999.

MECALOR .Manual de Instruções UMAG- **Unidade de água gelada.** Brasil:, 2004.

PAAR, Anton. **Particle Size Analyzer.** 2017. Disponível em: <https://www.anton-paar.com/?eID=documentsDownload&document=59711>. Acesso em: 20 out. 2021.

PAPPAS ,S. Peter. et al. **Organic Coatings Science and Technology.** 3. ed. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2007.

SOUZA, Ana Gabriela Rocha de; GIANEZINI, Miguelangelo; WATANABE, Melissa. **Panorama do setor de tintas no brasil: mercado, gestão e tecnologias para o segmento de tintas imobiliárias.** Aracaju/Se: Revista Geintec, 2018.

YAMANAKA, Hélio Tadashi et al (ed.). **Tintas e Vernizes: guia técnico ambiental tintas e vernizes** - série p+l. São Paulo: Governo do Estado de São Paulo, 2008. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/consumosustentavel/wp-content/uploads/sites/20/2013/11/tintas.pdf>. Acesso em: 29 mar. 2021

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais por sempre me apoiarem durante essa jornada. Agradeço a minha orientadora a professora Dra. Josiane da Rocha Silvano pelo conhecimento compartilhado e por me guiar na construção deste

trabalho, a Anjo Tintas por ceder tempo e a estrutura necessários, aos meus colegas de trabalho por toda a ajuda e por fim a UniSatc, que me proporcionou o conhecimento necessário para desenvolver este trabalho.