

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS

GIOVANNI BRUNO FARIA

Otimização da produtividade de um processo de micronização

São Carlos  
2021



GIOVANNI BRUNO FARIA

Otimização da produtividade de um processo de micronização

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Materiais e Manufatura, da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro de Materiais e Manufatura.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Aparecido Chinelatto

São Carlos

2021



AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTA TRABALHO,  
POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS  
DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Prof. Dr. Sérgio Rodrigues Fontes da  
EESC/USP com os dados inseridos pelo(a) autor(a).

Bruno-Faria, Giovanni  
B512o Otimização da produtividade de um processo de  
micronização / Giovanni Bruno-Faria; orientador  
Marcelo Aparecido Chinelatto. São Carlos, 2021.  
  
Monografia (Graduação em Engenharia de Materiais  
e Manufatura) -- Escola de Engenharia de São Carlos da  
Universidade de São Paulo, 2021.  
  
1. Micronização. 2. Micronizador. 3.  
Produtividade. 4. Granulometria. I. Título.

Eduardo Graziosi Silva - CRB - 8/8907

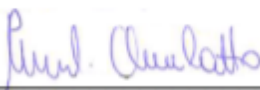
## FOLHA DE APROVAÇÃO

### FOLHA DE APROVAÇÃO

<b>Candidato / Student:</b> Giovanni Bruno Faria
<b>Título do TCC / Title:</b> Otimização da produtividade de um processo de micronização
<b>Data de defesa / Date:</b> 02/12/2021

<b>Comissão Julgadora / Examining committee</b>	<b>Resultado / Result</b>
Professor Doutor Marcelo Aparecido Chinelatto (orientador)	Aprovado
Instituição / Affiliation: EESC - SMM	
Professora Doutora Márcia Cristina Branciforti	Aprovado
Instituição / Affiliation: EESC - SMM	
Professor Doutor Fábio Edson Mariani	Aprovado
Instituição / Affiliation: EESC - SMM	

Presidente da Banca / Chair of the Examining Committee

  
\_\_\_\_\_  
**Professor Doutor Marcelo Aparecido Chinelatto**



## DEDICATÓRIA

*Dedico aos meus pais que com seu  
apoio, presença e esforço tornaram  
possível a minha formação  
profissional*





## AGRADECIMENTOS

Aos meus pais e meu irmão que por estarem sempre comigo me deram apoio para sempre prosseguir e seguir sendo uma pessoa melhor;

Ao meu orientador Prof. Dr. Marcelo Aparecido Chinelatto, que se manteve presente e disposto a me ajudar, sempre com comentários muito valiosos;

A Empresa Moinhos Brasil onde fiz estágio, por todo o conhecimento, ajuda e experiências adquiridas no período em que lá estive, e também pelo suporte financeiro do estudo em questão;

Aos meus avós por todo amor, apoio, carinho e incentivo que nunca vou esquecer;

Para toda minha família que é muito presente e incentivadora da minha trajetória de vida;

Aos meus irmãos da Republica Toca do Porco por todas as experiencias vividas e ensinamentos fundamentais para me tornar alguém melhor.



## RESUMO

FARIA, G. B. **Otimização da produtividade de um processo de micronização**. 2021. 58f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2016.

A linha de micronização de arroz biológico apresentava um rendimento abaixo do esperado, o que motivou a realização de um estudo para buscar alternativas que potencializassem os resultados. O presente estudo tem como objetivo melhorar os parâmetros da linha operacional, como produtividade, granulometria do produto final e da matéria prima que retorna pelo classificador de partículas, que é chamado de retorno, assim como o seu rendimento. Foram efetuadas análises de diversos parâmetros da linha do micronizador como a mudança da frequência de vários inversores, troca dos seus bicos de ar, substituição das mangas utilizadas no filtro de manga, mudança do exaustor e análise completa das possíveis falhas da linha como saídas de ar, inspeções, manutenções e componentes que poderiam estar comprometendo o rendimento. A aplicação das mudanças mencionadas resultaram na melhora dos parâmetros desejados, principalmente o aumento da produtividade que foi de 54%, este que era o objetivo principal do trabalho que foi alcançado com a mudança dos bicos de saída de ar comprimido e com a adição de um classificador de partículas dentro do micronizador, alcançando também a granulometria desejada de 100% das partículas menores do que 150  $\mu\text{m}$  que passem pela malha 100. Com relação ao produto de retorno avaliou-se que com um exaustor com um rotor maior que aumente a força que leva as partículas do classificador para o filtro manga, chamada de puxada do exaustor, possa melhorar seu rendimento assim como sua granulometria.

Palavras-chave: Micronização. Micronizador. Produtividade. Granulometria.



## ABSTRACT

FARIA, G. B. **Optimization of the productivity of a micronization process** 2021. 58f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2016.

The line of micronization of biological rice had a productivity below expectations, which motivated a study to be carried out to seek alternatives that would enhance the results. This study aims to improve the line parameters, such as productivity, granulometry of the final product and the raw material that returns through the particle classifier, which is called return, as well as of the aforementioned return. Analyzes of several parameters of the micronizer line were carried out, such as changing the frequency of several inverters, changing their air nozzles, replacing the sleeves used in the sleeve filter, changing the exhauster and complete analysis of possible line failures such as air leaks, inspection, maintenance and components that could be compromising the performance. The application of the mentioned changes resulted in the improvement of the desired parameters, mainly the increase of the productivity in 54%, which was the study main objective, that was achieved with the change of the compressed air outlet nozzles and with the addition of a particle classifier inside the micronizer, achieving also the desired particle size, of 100% of the particles smaller than 100 mesh. Regarding the returned product, it was not possible to carry out conclusive tests, but it is estimated that with an exhauster with a larger rotor that increases the force that takes the particles from the classifier to the sleeve filter, called exhauster pull, its performance can be improved as well as its particle size.

Keywords: Micronizer. Micronization. Productivity. Particle size.



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Relação granulométrica .....	27
Tabela 2 -	Tabela de frequência da rosca 2 pela sua vazão .....	47
Tabela 3 -	Parâmetros Gerais do teste 1 .....	49
Tabela 4 -	Resultados Gerais do teste 1 .....	49
Tabela 5 -	Parâmetros Gerais do teste 2 .....	50
Tabela 6 -	Resultados Gerais do teste 2 .....	50
Tabela 7 -	Parâmetros Gerais do teste 3 .....	51
Tabela 8 -	Resultados Gerais do teste 3 .....	51
Tabela 9 -	Parâmetros Gerais do teste 4 .....	52
Tabela 10 -	Resultados Gerais do teste 4 .....	53
Tabela 11 -	Parâmetros Gerais do teste 5 .....	54
Tabela 12 -	Resultados Gerais do teste 5 .....	54
Tabela 13 -	Parâmetros Gerais do teste 6 .....	55
Tabela 14 -	Resultados Gerais do teste 6 .....	55
Tabela 15 -	Parâmetros Gerais do teste 7 .....	56
Tabela 16 -	Resultados Gerais do teste 7 .....	56
Tabela 17 -	Parâmetros Gerais do teste 8 .....	57
Tabela 18 -	Resultados Gerais do teste 8 .....	57
Tabela 19 -	Parâmetros Gerais do teste 9 .....	58
Tabela 20 -	Resultados Gerais do teste 9 .....	59





## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Foto do moinho de martelo da empresa Lippel .....	28
Figura 2 -	Foto de um micronizador semelhante ao utilizado no presente estudo...	30
Figura 3 -	Foto de um Misturador helicoidal .....	31
Figura 4 -	Foto de um Ciclone do grupo EDUGEL .....	32
Figura 5 -	Ilustração de um Aero Classificador de partículas .....	33
Figura 6 -	Foto de um Filtro de Mangas .....	34
Figura 7 -	Esquema da linha de produção do arroz biológico com os equipamentos marcados por letras .....	37
Figura 8 -	Misturador fechado .....	38
Figura 9 -	Misturador aberto .....	38
Figura 10 -	Moinho de martelo do processo .....	39
Figura 11 -	Ciclone .....	40
Figura 12 -	Micronizador com o compartimento de retorno ao seu lado .....	41
Figura 13 -	Aero Classificador de partículas .....	42
Figura 14 -	Filtro Manga visto por fora; fechado .....	43
Figura 15 -	Mangas vistas com o filtro aberto .....	43
Figura 16 -	Coleta do produto e final do processo .....	44
Figura 17 -	Gráfico de frequência da Rosca 2 pela sua vazão .....	47



## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	22
2 OBJETIVOS .....	24
3 REVISÃO DA LITERATURA .....	26
3.1 Moagem .....	26
3.2 Granulometria .....	26
3.3 Moinho de martelo.....	28
3.4 Micronização .....	29
3.5 Micronizador .....	29
3.6 Misturador .....	30
3.7 Ciclone .....	31
3.8 Aero – classificador de partículas .....	32
3.9 Filtro Manga .....	33
3.10 Exaustor .....	35
3.11 Parâmetros que afetam a micronização .....	35
4 MATERIAIS E MÉTODOS .....	36
4.1 Produto – Arroz biológico .....	36
4.2 Linha de Micronização .....	36
4.3 Parâmetros Inversores .....	45
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	46
5.1 Teste Vazão da Rosca 2 Rosca que alimenta o micronizador.....	46
5.2 Teste 1 .....	48
5.3 Teste 2 .....	50
5.4 Teste 3 .....	51
5.5 Teste 4 .....	52
5.6 Testes 5 e 6 .....	53
5.7 Teste 7 .....	56
5.8 Teste 8 .....	57
5.9 Teste 9 – Mudança do exaustor .....	58
6 CONCLUSÃO .....	60
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	62



## 1 INTRODUÇÃO

A micronização é um processo sofisticado de moagem que visa reduzir o tamanho das partículas que apresenta algumas vantagens em relação a outros moinhos já conhecidos como o moinho de bola ou o moinho de martelo.

Entre as principais vantagens do processo destacam-se a melhor eficiência da micronização possibilitada por colisões entre as partículas que geram forças mecânicas de impacto, atrito e compressão, sendo assim possível controlar o comportamento entre as partículas para que choques mais efetivos sejam realizados.

Outra vantagem de suma importância é que a micronização não gera calor nos materiais, uma vez que mesmo com os choques as partículas são constantemente bombardeadas com jatos de ar comprimido, que é o ar que gera o contato dos produtos, ajudando a diminuir a sua temperatura, desta forma possibilitando a redução do tamanho do produto sem que seja gerado calor.

O estudo foi realizado com um tipo de arroz, que possui um fungo específico, que ao ser utilizado em diferentes culturas como fertilizante, as protege do ataque de nematoides ingerindo seus ovos e evitando assim sua proliferação.

Como dito anteriormente o processo não gera calor o que é fundamental para que os fungos permaneçam vivos no arroz durante todo o processo e possam realizar seu trabalho posteriormente.

Devido à baixa produtividade de uma linha de micronização recém instalada buscou-se alternativas e soluções no processo de produção para otimizar os resultados.

No estudo foram utilizados inversores de frequência nos equipamentos principais como roscas e válvulas rotativas e substituindo componentes da linha de montagem como os bicos de vazão de ar e o exaustor.

Desta forma são mostrados no estudo fatores que podem interferir no processo, como a velocidade, a qualidade e a homogeneidade da alimentação de produto no micronizador.

Adicionalmente também é visto como classificar e filtrar particulados, além de conhecer formas comuns de quebra de partículas como o já muito conhecido e amplamente utilizado moinho de martelo.



## 2 OBJETIVOS

Analisar, identificar e implementar parâmetros operativos nos equipamentos em uma planta de micronização de arroz biológico para alcançar a máxima produtividade e otimizar as perdas de matéria prima bem como o retrabalho.

Buscar um maior conhecimento do processo de micronização que apesar de não ser recente é bastante sofisticado, visto que no Brasil não é amplamente utilizado como outros tipos de moagem.





### 3 REVISÃO DA LITERATURA

Na presente seção serão exemplificados todos os componentes de uma linha de micronização e termos importantes que fazem parte deste estudo.

#### 3.1 Moagem

Um processo de moagem se dá basicamente pela diminuição do tamanho das partículas de um material sólido de modo a deixar o material com maior área superficial específica, aumentando assim a eficácia de processos e reações que aquele material possa vir a ser usado (TECNAL, 2021).

Para moagem é necessário energia, o material é reduzido pela combinação de impacto, compressão, abrasão e atrito, a um tamanho de acordo com as características do equipamento. Reduzir o tamanho da partícula tem também influência nas propriedades e no comportamento dos diversos materiais que possam vir a ser moídos. Seu rendimento pode ser influenciado pela forma inicial das partículas, dureza e abrasividade do material, homogeneidade, umidade e também a sua tendência a aglomeração (CETEM, 2021).

Para o processo de moagem industrial os principais tipos, são: moinhos de martelo, moinhos de bola contínuos, moinhos de bola intermitentes, moinhos de faca, moinhos de rolo e moinhos de ar comprimido (*jet mill*). Exemplo de aplicações típicas de materiais moídos são: corantes, pigmentos, cerâmicas, óxidos, ceras, materiais para agricultura, ração animal, polimentos dentre outras (CETEM, 2021).

Na moagem convencional são esperadas partículas menores do que 1000 micrometros que podem chegar a ter até aproximadamente 100 micrometros (MOINHOS BRASIL, 2020).

#### 3.2 Granulometria

O principal fundamento da moagem como já dito, é diminuir o tamanho das partículas, isso é, alterar sua granulometria. Nestes processos são comumente usadas tabelas de conversão que relacionam o tamanho da partícula (milímetros ou micrometros) para uma certa malha (peneira). Essa relação é inversamente proporcional, quanto maior o tamanho da partícula menor é o valor da malha (MOINHOS BRASIL, 2020).

Na Tabela 1 é apresentada a relação granulométrica, onde pode-se observar que por exemplo; uma malha (US – MESH) 100 possui um tamanho de partícula de 150 micrometros ou 0,15 milímetros, enquanto uma malha 10 possui um tamanho de partículas bem maior (2 milímetros).

Tabela 1 – Relação granulométrica

<b>Tamanho em micrometros</b>	<b>Malha</b>
4750	4
4000	5
3350	6
2800	7
2000	8
1700	10
1400	12
1180	16
1000	18
850	20
710	25
600	30
500	35
425	40
355	45
300	50
250	60
212	70
180	80
150	100
125	120
106	140
90	170
75	200
63	230
53	270
45	325
38	400
25	550
20	635
13	1000
6	2300

Fonte: (Adaptado) Moinhos Brasil (2020).

Existem alguns meios de verificar a granulometria de um certo material. A forma mais fácil é peneirando-o na malha desejada e observando o quão passante ele é. Este processo pode

ser feito a seco ou utilizando água e depois secando a porcentagem do material retido e averiguando seu real peso (MOINHOS BRASIL, 2020).

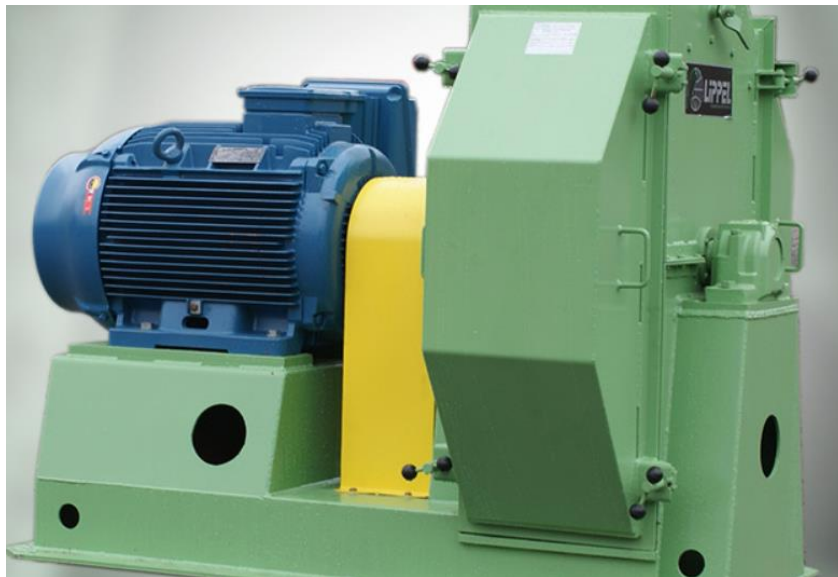
Outra forma é utilizando um agitador de peneiras, com peneiras de diversos tamanhos para averiguar uma curva granulométrica de retenção por tamanho.

E existe também a forma mais sofisticada que é a análise de um sedígrafo, que por meio da difração de raios X analisa toda a distribuição do tamanho das partículas em análise, sendo feito de forma rápida e com alta produtividade (MOINHOS BRASIL, 2020).

### 3.3 Moinho de martelo

Um moinho de martelo possui um eixo girando em alta rotação, no qual são encontrados diversos martelos ou até mesmo pequenos ou grandes blocos retangulares. Possui uma alimentação na parte superior do equipamento e um motor como pode ser visto na Figura 2 (LONDE; FINZER, 2017).

Figura 1 – Foto de um moinho de martelo da empresa Lippel



Fonte: LIPPEL (2021)

As partículas entram e sofrem o impacto do martelo e são levadas até a parte interna da câmara que pode ou não possuir uma tela (ou peneira) com a granulometria desejada para o processo. Normalmente a granulometria predominante final do processo é 1/3 do tamanho da tela utilizada (MOINHOS BRASIL, 2020).

É um processo que gera muita abrasividade, atrito e aumento de temperatura, necessitando manutenções constantes pois o desgaste do equipamento é muito intenso. Desta forma, não se aconselha seu uso para materiais muito abrasivos como minérios (LONDE; FINZER, 2017).

Adicionalmente, o desgaste gera a contaminação do material do moinho no produto que está sendo moído, isso pode inviabilizar o processo. As principais áreas de atuação do moinho são: indústria química, cerâmica, cal, calcário, carvão mineral e alimentícios (MOINHOS BRASIL, 2020).

### 3.4 Micronização

Micronização é simplesmente um processo de moagem que alcança melhores resultados de tamanho de partícula em relação às moagens convencionais, notadamente moagem através de moinhos de bola e também de moinho de martelo.

Uma partícula micronizada chega a ter entre 10 a 100 micrometros (menores que a malha 325 que é extremamente fina) (FELIPE, 2019; MOINHOS BRASIL, 2020).

Para alcançar este tipo de fragmentação de partículas a micronização usa a força do choque entre as partículas que constitui-se em um processo de extremo gasto energético (FELIPE, 2019).

### 3.5 Micronizador

O micronizador possui uma câmara onde as partículas entram e bicos de ar comprimido, que injetam o ar possibilitando o choque entre as partículas e causando sua quebra por atrito.

Ele consegue reduzir o tamanho das partículas, pois faz com que partículas que estão dentro da câmara e acionada por ar comprimido se choquem com alta velocidade causando a redução do seu tamanho (LONDE; FINZER, 2017).

Além de jatos de ar, os micronizadores também podem funcionar com gases e vapores em altas pressões. Os moinhos de jato de ar (*air jet mil*) ou micronizadores são bastante usados para moagem de produtos químicos, farmacêuticos, alimentos, cosméticos, pigmentos, corantes, tintas e minerais (LONDE; FINZER, 2017).

Sua principal vantagem em relação a processos de moagem convencionais é que nos impactos das partículas não é gerado calor.

Portanto é possível moer materiais com bastante umidade e também, aqueles sensíveis a altas temperaturas que ocorrem, por exemplo, nos choque com moinhos de martelo ou com as bolas de alta alumina que geram ruído proporcional a geração de energia e calor (MOINHOS BRASIL, 2020).

Ele é composto por uma câmara de moagem cilíndrica plana com vários bicos dispostos tangencialmente na parede periférica, um injetor de alimentação pneumático e um funil de alimentação, além de uma saída do material pela parte de cima dele como exemplificado na Figura 1 (LONDE; FINZER, 2017).

Figura 2 – Foto de um micronizador semelhante ao utilizado no presente estudo



Fonte: MFRURAL (2021)

### 3.6 Misturador

Misturadores industriais são utilizadas basicamente para mistura de diversos materiais diferentes em uma única substância. Eles também emulsificam e homogeneízam estes materiais. Podem ser usados para misturas sólidas ou líquidas ou até mesmo sólidos e líquidos.

Eles são formados geralmente por 2 lâminas helicoidais em sentidos opostos e possuem 2 motores, como apresentado na Figura 3:

Sua aplicação varia de alimentícias, químicas, farmacêuticas, o de bebidas entre outras e desempenha papel fundamental nestas indústrias (FERNANDES, 2005).

Figura 3 – Foto de um misturador helicoidal



Fonte: MECAMAU (2021)

### 3.7 Ciclone

Um ciclone é um equipamento industrial que usa a resultante entre forças de arraste, peso, centrífuga e inércia para a separação de partículas sólidas.

Dentro do ciclone as partículas sólidas são separadas da corrente gasosa sob ação de uma força centrífuga. Depois disso o vórtex do ciclone envia as partículas radialmente em direção ao fundo do ciclone. Sua eficiência depende do diâmetro do tubo do ciclone e do particulado utilizado no processo (ANTARCTICA, 2017).

Na figura 4 é apresentado um modelo de equipamento.

Figura 4 – Foto de um ciclone do grupo EDUGEL.



Fonte: IDUGEL (2021)

### 3.8 Aero – Classificador de partículas

Este tipo de equipamento serve basicamente como separador de partículas finas e grossas (pesadas e leves). O material separado é dispersado por meio de um disco giratório, na Figura 5 é apresentado um desenho esquemático do equipamento (GRZECA, 2018).

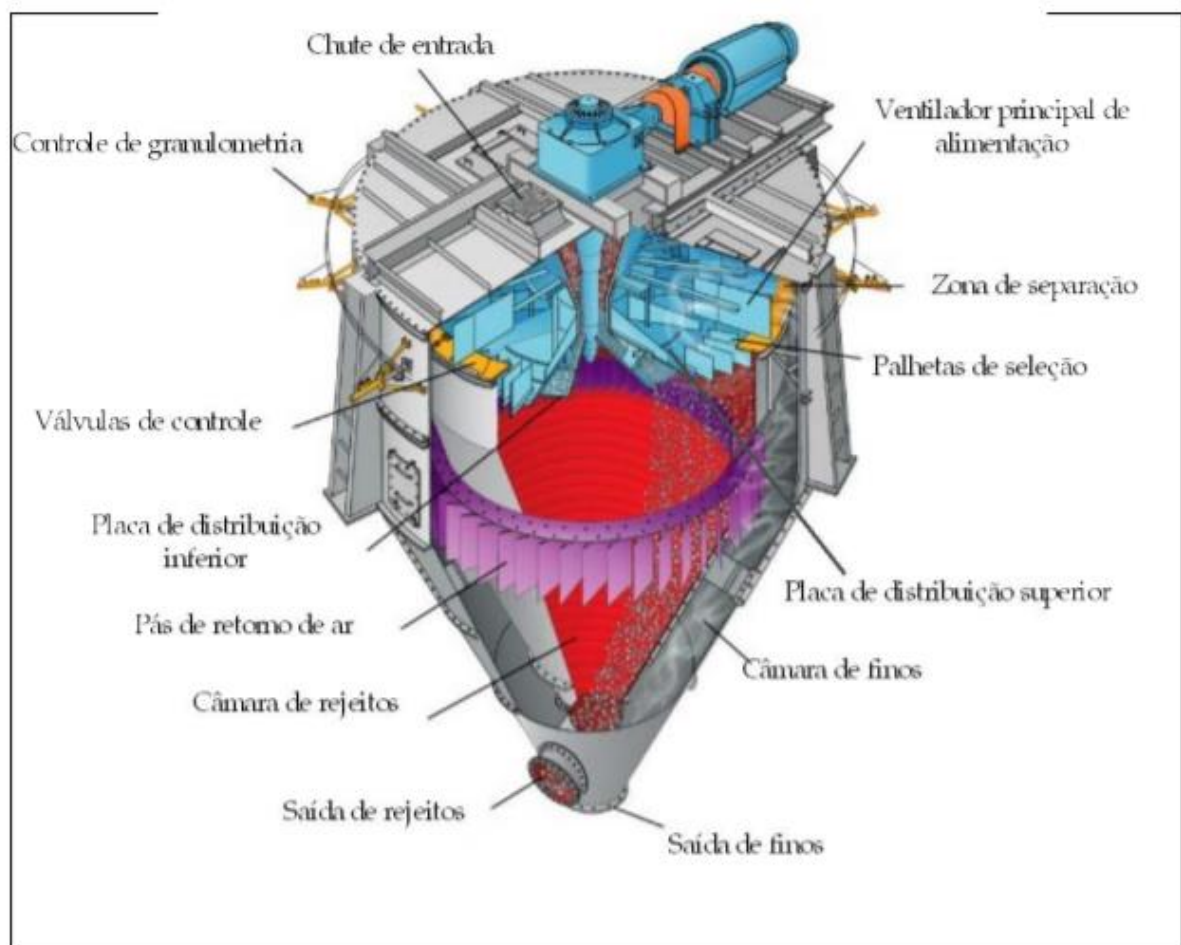
Seu fluxo consiste em material que entra pelo tubo embaixo do equipamento e o material cai no disco giratório. Sua rotação gera uma corrente de ar carregando o material pelo disco, atuando nele uma força centrífuga, força ascendente de arraste do ar e a força da gravidade, tentando impedir que as partículas mais pesadas passem (GRZECA, 2018).



O disco giratório juntamente com a força da gravidade faz com que as partículas mais grossas e pesadas sejam lançadas para fora do disco e por ação da gravidade caiam de volta para o processo, dessa forma apenas partículas mais finas passam.

É um processo bastante eficiente, porém não é possível quantificar o tamanho da partícula que irá passar, cuja forma usual para eliminar o problema é aumentar a vazão de ar do sistema (GRZECA, 2018).

Figura 5 – Ilustração de um Aero Classificador de partículas.



Fonte: BRAGA (2007)

### 3.9 Filtro Manga

Os “filtros manga” são utilizados como filtros de partículas sólidas suspensas num fluxo de ar. As mangas têm uma gramatura que funciona de forma inversamente proporcional, quanto

maior a gramatura, menor a área filtrante da manga, como observado na Figura 6 (MARQUES, 2017).

A filtragem se dá pela introdução de ar com as partículas do processo em que estão as mangas. O particulado fica retido e depois com um jato de ar, ele cai com a ação também da gravidade e vai em direção a um silo final onde as partículas já têm o tamanho desejado. Existem basicamente 3 mecanismos de limpeza do filtro. São eles: Ar Reverso, Agitação Mecânica (sacudimento) e Jato Pulsante (Jet Pulse) (MARQUES, 2017).

Figura 6 – Foto de um filtro de mangas.



Fonte: Corbari (2021)

### 3.10 Exaustor

O exaustor é o equipamento que puxa o ar, sendo de suma importância em processos de classificação e transporte de particulados que estão sobre a ação de vazões de ar.

Composto por um duto coletor, dutos de condução de ar, ventilador centrífugo que é movido por um motor elétrico (CARLESSO, 2015).

### 3.11 Parâmetros que afetam a micronização

Para realizar o processo de moagem podem ser alterados diversos parâmetros da linha de micronização e do micronizador.

Entre eles podemos citar o tamanho do diâmetro dos bicos de saída de ar do micronizador, a potência do compressor que injeta o ar comprimido, assim como a alimentação que é feita do material dentro da câmara do micronizador.

Outros fatores também podem ser a velocidade e a frequência do classificador de partículas, as mangas utilizadas no filtro de mangas e também a força de exaustão do exaustor que puxa o ar do classificador para o filtro.

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 Produto – Arroz biológico

O produto base do estudo, é o arroz biológico utilizado como fertilizante na agricultura. Ele possui dentro de si um fungo inoculado.

O arroz atua como hospedeiro para o fungo, este sendo o motivo principal no qual o processo não poderá sofrer ação de altas temperaturas, para que o fungo possa sobreviver.

Por conta disso, antes e depois do processo de micronização, o arroz biológico é armazenado em *containers* com refrigeradores para sua conservação.

A função principal do fungo é o controle de nematoides, que são animais invertebrados capazes de retirar substâncias nutritivas de plantas e viabilizam a ingestão de substâncias tóxicas dentro das células vegetais.

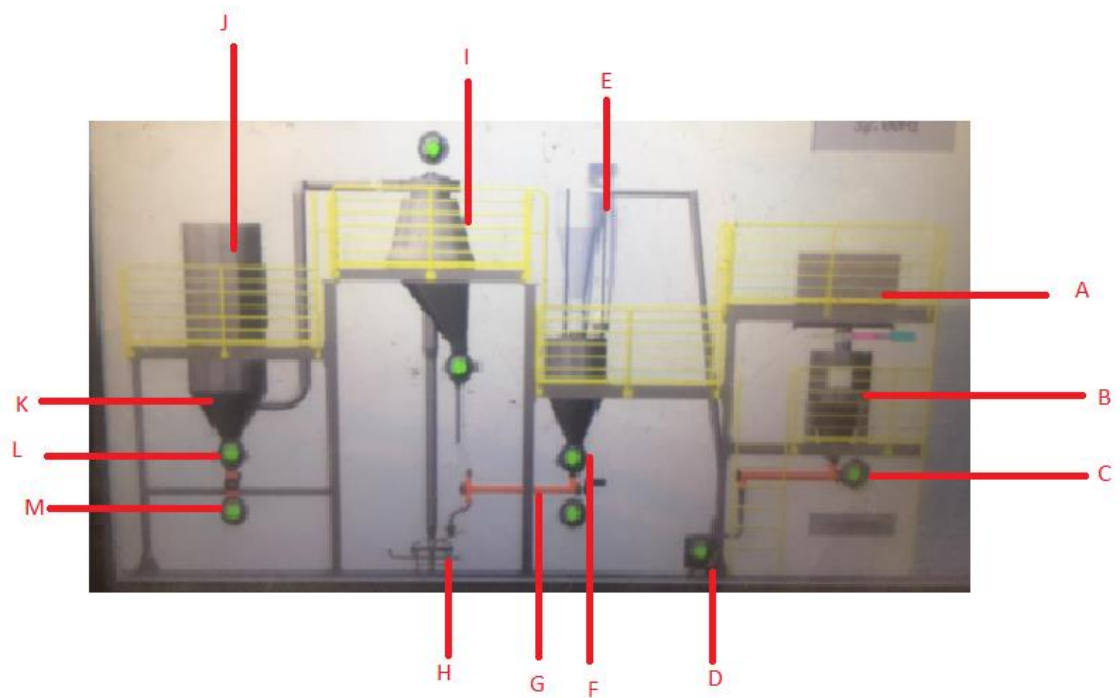
O fungo age como um nematófago, ingerindo os ovos dos nematoides e impedindo assim a sua proliferação. Ele também não necessita dos nematoides para sua sobrevivência, pois se alimenta absorvendo substâncias orgânicas.

O produto final deverá ser 100% passante na malha 100 (150  $\mu\text{m}$ ).

### 4.2 Linha de micronização

Para explicar como foram feitos os testes, primeiro é necessário demonstrar toda a linha de montagem de micronização que estava operando antes do estudo, exemplificado na Figura 7 e com os componentes indicados por letras explicadas posteriormente.

Figura 7 – Esquema da linha de produção do arroz biológico com os equipamentos marcados por letras



Fonte: Próprio autor (2021)

#### A) Misturador

O primeiro equipamento é um misturador visto na Figura 8, com duas pás rotacionando em direções opostas como na Figura 9 e que mistura o arroz com um produto especial sólido para a sobrevivência do fungo.

Figura 8 – Misturador fechado



Fonte: Próprio autor (2021)

Figura 9 – Misturador aberto



Fonte: Próprio autor (2021)



#### B) Silo alimentador e C) Rosca transportadora 1

Depois de misturados, o produto cai em um silo alimentador que irá alimentar a primeira rosca transportadora (Rosca 1), esta irá levar o material até um moinho de martelo que faz a pré-moagem do material.

#### D) Moinho de martelo

Esta pré-moagem ocorre num moinho de martelo, como o da Figura 10, pois o arroz utilizado é extremamente heterogêneo e também pontiagudo, diminuindo a efetividade dos choques durante a micronização. Portanto a solução utilizada foi essa pré-moagem que homogeneíza o produto numa tela 0,3 mm (malha 50).

É importante saber que nessa moagem é gerado calor. Porém não é o suficiente para matar o fungo do arroz, sendo assim, permitido dentro do processo.

Figura 10 – Moinho de martelo



Fonte: Próprio autor (2021)

#### E) Ciclone

No moinho de martelo existe uma saída de ar falsa que irá conduzir o produto para cima, onde ele irá para um ciclone conforme apresentado na Figura 11.

Figura 11 – Ciclone



Fonte: Próprio autor (2021)

#### F) Válvula Rotativa 1 e G) Rosca transportadora 2

Do ciclone o produto cai na válvula rotativa (Válvula rotativa 1) que irá distribuir o produto para uma segunda rosca transportadora (Rosca 2) e transportá-lo até a boca de alimentação do micronizador.



#### H) Micronizador

Dentro do micronizador, demonstrado na Figura 12, ocorrem a exaustão e a vazão de ar comprimido. Com a vazão de ar as partículas já moídas irão se chocar para atingir a granulometria ideal do produto final (150  $\mu\text{m}$  – malha 100).

O equipamento também possui um classificador que ajuda a manter as partículas no processo por mais tempo, impedindo que partículas maiores sejam enviadas para o filtro manga e consequentemente realizando uma moagem mais efetiva.

Figura 12 – Micronizador com o compartimento de retorno ao seu lado



Fonte: Próprio autor (2021)

#### I) Aero Classificador

Com a exaustão, as partículas de arroz são transportadas para cima, onde irão passar pelo processo de aero classificação por gravidade, podendo ser visualizado o equipamento na Figura 13.

As partículas de maior massa (muito pesadas) voltam gravitacionalmente para baixo, sendo coletadas em sacos de retorno como visto na Figura 12.

Um dos objetivos principais do projeto é diminuir a quantidade de partículas finas (menores que 150  $\mu\text{m}$ ) que vão para este retorno, melhorando assim a classificação.

Figura 13 – Aero Classificador de partículas



Fonte: Próprio autor (2021)

J) Filtro Manga, K) Silo Alimentador final, L) Válvula Rotativa 2 e M) Rosca Transportadora 3

Depois da classificação o filtro manga, exemplificado fechado na Figura 14 e aberto na Figura 15, irá reter as partículas nas mangas e com um jato de ar comprimido dos seus solenoides irá fazer elas caírem em um novo silo alimentador.

Ele é seguido por uma válvula rotativa (Válvula rotativa 2) que irá alimentar a última rosca transportadora (Rosca 3), que é a rosca final que irá levar o produto até o seu compartimento final visto na Figura 16, onde ele será pesado (25 kg por saco), selado, armazenado e posteriormente comercializado.

Figura 14 – Filtro manga; fechado



Fonte: Próprio autor (2021)

Figura 15 – Mangas vistas com o filtro aberto



Fonte: Próprio autor (2021)

Figura 16 – Compartimento de coleta do produto



Fonte: Próprio autor (2021)

Todos os equipamentos dessa linha possuem motores com inversores de frequência. Determinar a frequência utilizada durante o processo de testes possibilita alterar parâmetros que afetam diretamente a produtividade.

### 4.3 Parâmetros inversores

As frequências dos inversores da linha quando foram iniciados os testes foram os seguintes:

- Misturador: 60 Hz.
- Rosca 1: 31 Hz.
- Moinho de martelo pré-quebra: 60 Hz.
- Válvula Rotativa 1: 22,5 Hz (Válvula do Micronizador).
- Rosca 2: 45 Hz (Rosca Micronizador).
- Classificador: 14 Hz.
- Exaustor: 75 Hz.
- Válvula Rotativa 2: 60 Hz (Válvula Ensaque).
- Rosca 3: 64,5 Hz (Rosca Ensaque).

Durante o estudo os parâmetros foram alterados para que se obtivesse a otimização do processo.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Inicialmente foram verificados e aferidos todos os parâmetros dos inversores para que se determinassem as bases de controle através de 4 fatores que são considerados fundamentais para avaliação do processo:

- A) Produtividade
- B) Porcentagem de retorno
- C) Granulometria do produto
- D) Granulometria do retorno

A apuração inicial de resultados ocorreu através do processo de micronização durante 10 minutos registrando a produtividade de 68 kg/h e uma porcentagem de retorno de 50% trabalhando com os parâmetros conforme apresentados no tópico 4.3.

Posteriormente foi realizado o teste na malha 100 para o retorno e para o produto final, e foi observado que o produto era 100% passante nesta malha enquanto o retorno teve uma retenção de 60%.

Concluindo assim que 40% do material retornado atendia a exigência do processo e não deveria ter sido retornado.

Desta forma juntamente com a produtividade este seria um fator importantíssimo para ser otimizado.

### 5.1 Teste de Vazão da Rosca 2 (Rosca que alimenta o micronizador)

Um dos princípios da micronização é que a alimentação seja contínua e uniforme com um material igualmente uniforme, entretanto o arroz biológico não possui uma forma homogênea o que dificulta o processo.

Adicionalmente o fato do arroz biológico ser pontiagudo prejudica o choque entre as partículas dificultando a micronização.

Portanto, o primeiro teste realizado foi averiguar a alimentação utilizando um único fator; a vazão de massa da Rosca 2.

Para isso foi pesado a massa de produto que era alimentado pela rosca no período de 1 minuto para facilitar e acelerar o teste.

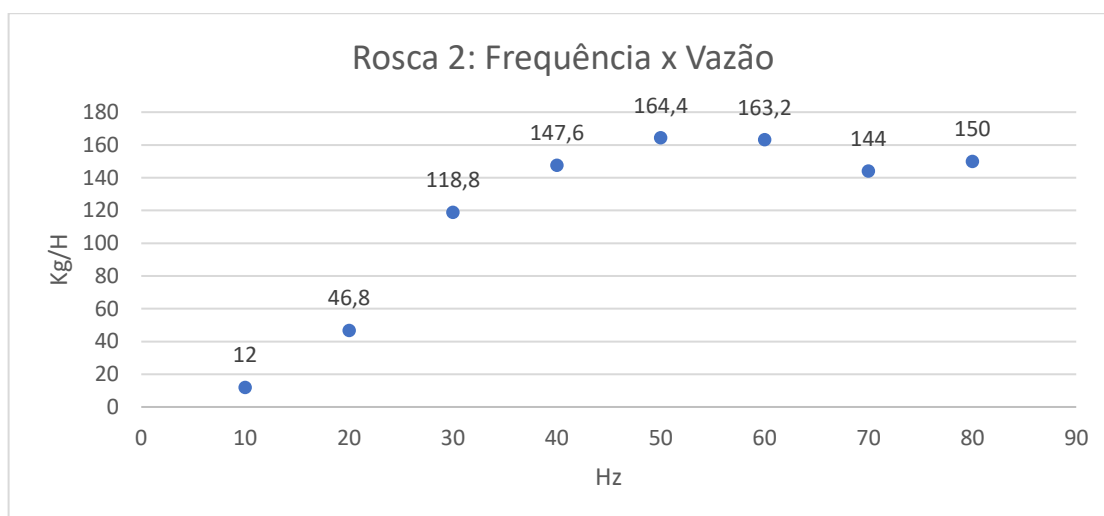
Foi testada a frequência da rosca de 10 Hz até 80 Hz com períodos de 10 Hz para averiguar qual seria a máxima vazão e foram obtidos os dados para traçar a curva de frequência por razão apresentados na Figura 17 e na Tabela 2:

Tabela 2 – Tabela de frequência da rosca 2 pela sua vazão

Frequência rosca 2 (Hz)	Vazão Rosca (kg/h)
10	12
20	46,8
30	118,8
40	147,6
50	164,4
60	163,2
70	144
80	150

Fonte: Próprio autor (2021).

Figura 17 –Gráfico de frequência da rosca 2 pela sua vazão



Fonte: Próprio autor (2021).

Foi averiguada a máxima vazão em 50 Hz e concluiu-se que o pico da curva estaria entre 40 Hz e 60 Hz.

Finalizados os testes de vazão iniciaram-se as primeiras mudanças na linha de micronização.

Inicialmente foi realizada a inspeção do micronizador para verificar o estado de seus componentes, e averiguou-se que estava em ótimas condições, quase sem marcas de desgaste.

Desta forma pode se perceber que a abrasividade do material é quase nula e não compromete o equipamento bem como o processo.

Com base nisso iniciou-se a substituição de componentes visando a melhoria de produtividade.

Com o micronizador aberto foram substituídos os 8 bicos de saída de ar comprimido que tinham abertura de 2 mm de diâmetro em aço inox por bicos de 3,2 mm também em aço inox.

Estima-se que o aumento das saídas de ar comprimido iria aumentar a velocidade das partículas e assim a força dos choques efetivos e do atrito entre elas, portanto aumentando a qualidade e a produtividade da moagem.

Foi identificado que o classificador de partículas do micronizador não estava operando corretamente, por estar incorretamente posicionado dentro do equipamento.

Foi reposicionado de forma que ele tomasse metade da altura da câmara do micronizador, fazendo com que as partículas ficassem mais tempo dentro da câmara e dessa forma produzissem maior quantidade de choques efetivos entre elas.

Concluídas as alterações iniciou-se o processo de testes, a cada teste foi coletado uma amostra de produto e uma amostra de retorno que posteriormente foram analisados por meio de um sedígrafo (Malvern).

## 5.2 Teste 1

Análise após a substituição dos bicos de ar e a utilização do classificador dos 4 parâmetros principais citados na seção 5.

Os parâmetros utilizados no teste 1 estão definidos na Tabela 3, sendo que as alterações nos parâmetros em todos os testes serão feitas em comparação com o teste imediatamente anterior (neste caso o teste base) e serão anotadas em verde para facilitar a visualização.



Tabela 3 – Parâmetros Gerais do Teste 1

Teste 1 Parâmetros dos Inversores									
Componentes	Misturador	Rosca 1	Moinho de Martelo	Válvula Rotativa 1	Rosca 2	Classificador	Rosca 3	Válvula Rotativa 2	Exaustor
Frequência (Hz)	60	31	60	22,5	45	14	64,5	60	75
	Quantidade	Diâmetro	Material						
Bicos de saída de ar	8	3,2mm	Aço inox						
	Material	Gramatura							
Mangas	Poliestireno	450 µg/cm <sup>2</sup>							
	Sim	Não							
Retorno	X								
	Sim	Não							
Classificador	X								

Fonte: Próprio autor (2021).

Os resultados apurados são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Resultados Gerais do Teste 1

Teste 1					
Material Final					
d(mínimo)	d(0.1)	d(0.5)	d(0.9)	%Acima de 150 µm	Produtividade
0,55 µm	4,865 µm	31,120 µm	99,006 µm	1,43%	107,56 kg/h
Material de Retorno					
d(mínimo)	d(0.1)	d(0.5)	d(0.9)	%Abaixo de 150 µm	Rendimento
0,631µm	24,015 µm	160,558 µm	339,818 µm	49,38%	49,40%

Fonte: Próprio autor (2021).

De acordo com a análise do sedígrafo realizada em laboratório concluiu-se que o produto teve uma retenção de apenas 1,43% na malha 100 especificada no projeto (150 µm).

A possível explicação para os resultados satisfatórios apresentados baseia-se na substituição pelos bicos maiores que injetaram mais ar e possibilitaram mais choques efetivos e maior atrito entre o particulado.

O classificador também possibilitou que o produto ficasse na câmara de micronização por mais tempo, aumentando ainda mais os choques e resultando neste melhor resultado obtido.

Inversamente aos resultados positivos de melhoria de processo verificados no produto final, verificou-se que o produto retornado não apresentou melhoras significativas sendo que o percentual abaixo de 150 µm (abaixo da malha 100) foi de 49,38%.

As hipóteses o resultado são:

- A frequência de rotação do classificador não estava adequada

- A força do exaustor que puxa o ar e o produto do classificador para o filtro manga não está sendo muito eficiente por isso a alta quantidade de produto fino no retorno.

### 5.3 Teste 2

O segundo teste foi realizado com o classificador a 14,5 Hz e com a frequência do exaustor a 50 Hz.

Os parâmetros utilizados no teste 2 estão definidos na Tabela 5.

Tabela 5 – Parâmetros Gerais do Teste 2

Teste 2 Parâmetros dos Inversores									
Componentes	Misturador	Rosca 1	Moinho de Martelo	Válvula Rotativa 1	Rosca 2	Classificador	Rosca 3	Válvula Rotativa 2	Exaustor
Frequência (Hz)	60	31	60	22,5	45	14,5	64,5	60	50
Bicos de saída de ar	Quantidade	Diâmetro	Material						
	8	3,2mm	Aço inox						
Mangas	Material	Gramatura							
	Poliestireno	450 µg/cm <sup>2</sup>							
Retorno	Sim	Não							
	X								
Classificador	Sim	Não							
	X								

Fonte: Próprio autor (2021).

Os resultados apurados são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 – Resultados Gerais do Teste 2

Teste 2					
Material Final					
d(mínimo)	d(0.1)	d(0.5)	d(0.9)	%Acima de 150 µm	Produtividade
0,55 µm	6,186 µm	44,36 µm	118,622 µm	3,12%	88,32 kg/h
Material de Retorno					
d(mínimo)	d(0.1)	d(0.5)	d(0.9)	%Abaixo de 150 µm	Rendimento
0,55 µm	12,798 µm	131,412 µm	300,539 µm	58,29%	36,80%

Fonte: Próprio autor (2021).

A alteração da frequência do exaustor para 50 Hz e do classificador para 14,5 Hz resultou em um aumento do produto retido na malha 100 para 3,12% que foi semelhante ao resultado do teste 1, portanto este parâmetro do exaustor não interferiu significativamente na granulometria do produto final.

Obteve-se um resultado abaixo do primeiro teste (que foi próximo de 50%) considerando a granulometria do retorno que foi próximo a 60% abaixo de 150  $\mu\text{m}$ , o que leva-se a conclusão de que a força de puxada de ar que o exaustor exerce no classificador diminuiu consequentemente interferindo na porcentagem de material considerado fino, como já dito abaixo de 150  $\mu\text{m}$ .

#### 5.4 Teste 3

O terceiro teste foi realizado para analisar a produtividade com o material do retorno sendo redirecionado ao micronizador junto com o produto que vem da rosca 2, ou seja, sem segregar o retorno.

Na Tabela 7 são observados os parâmetros gerais do teste 3.

Tabela 7 – Parâmetros Gerais do Teste 3

Teste 3 Parâmetros dos Inversores									
Componentes	Misturador	Rosca 1	Moinho de Martelo	Válvula Rotativa 1	Rosca 2	Classificador	Rosca 3	Válvula Rotativa 2	Exaustor
Frequência (Hz)	60	31	60	22,5	45	14,5	64,5	60	75
	Quantidade	Diâmetro	Material						
Bicos de saída de ar	8	3,2mm	Aço inox						
	Material	Gramatura							
Mangas	Poliestireno	450 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$							
	Sim	Não							
Retorno		X							
	Sim	Não							
Classificador	X								

Fonte: Próprio autor (2021).

Os resultados apurados são apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 – Resultados Gerais do Teste 3

Teste 3					
Material Final					
d(mínimo)	d(0.1)	d(0.5)	d(0.9)	%Acima de 150 $\mu\text{m}$	Produtividade
0,631 $\mu\text{m}$	4,706 $\mu\text{m}$	28,725 $\mu\text{m}$	75,562 $\mu\text{m}$	0,00%	68,24 kg/h
Material de Retorno					
d(mínimo)	d(0.1)	d(0.5)	d(0.9)	%Abaixo de 150 $\mu\text{m}$	Rendimento
não houve	não houve	não houve	não houve	não houve	não houve

Fonte: Próprio autor (2021).

Devido ao fato das partículas de retorno terem sido redirecionadas para a câmara de micronização, adicionadas as partículas grandes de matéria prima observou-se que não houve formação de material retido na malha 100, porém a produtividade foi significativamente prejudicada.

Conclui-se que com o material retornado entrando junto da alimentação no micronizador as partículas ficam ainda menos homogêneas gerando choques muito improdutivo de partículas grandes com partículas pequenas.

Isso resultou na queda da produtividade, sendo assim não é eficiente misturar a matéria prima com o material retornado.

### 5.5 Teste 4

Neste teste efetuou-se a substituição das mangas do filtro manga, para avaliar a hipótese de que o ar comprimido necessitasse de mais espaço para circulação.

Desta forma, aumentou-se a gramatura das mangas substituindo as mangas atuais de  $450 \mu\text{g}/\text{cm}^2$  de poliestireno por uma manga de  $350 \mu\text{g}/\text{cm}^2$  também de poliestireno.

Na Tabela 9 são observados os parâmetros gerais do teste 4.

Tabela 9 – Parâmetros Gerais do Teste 4

Teste 4 Parâmetros dos Inversores									
Componentes	Misturador	Rosca 1	Moinho de Martelo	Válvula Rotativa 1	Rosca 2	Classificador	Rosca 3	Válvula Rotativa 2	Exaustor
Frequência (Hz)	60	31	60	22,5	45	14,5	64,5	60	75
	Quantidade	Diâmetro	Material						
Bicos de saída de ar	8	3,2mm	Aço inox						
	Material	Gramatura							
Mangas	Poliestireno	$350 \mu\text{g}/\text{cm}^2$							
	Sim	Não							
Retorno	X								
	Sim	Não							
Classificador	X								

Fonte: Próprio autor (2021).

Os resultados apurados são apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 – Resultados Gerais do Teste 4

Teste 4					
Material Final					
d(mínimo)	d(0.1)	d(0.5)	d(0.9)	%Acima de 150 µm	Produtividade
0,55 µm	7,339 µm	49,638 µm	129,106 µm	4,77%	90,52 kg/h
Material de Retorno					
d(mínimo)	d(0.1)	d(0.5)	d(0.9)	%Abaixo de 150 µm	Rendimento
0,631 µm	21,333 µm	132,069 µm	294,425 µm	59,34%	57,30%

Fonte: Próprio autor (2021).

O teste gerou uma quantidade de material retido na malha 100 (acima de 150 µm) de 4,77%, que também está muito próximo dos valores verificados nos testes anteriores, portanto sem variações significativas.

Entretanto o teste apresentou uma elevação na quantidade de material retornado em relação aos testes anteriores, de 59,34% abaixo de 150 µm.

O aumento significativo de material abaixo da malha 100, justifica-se pela hipótese de que a menor gramatura das mangas do filtro manga não gerou pressão suficiente para coletar as partículas menores em comparação com o filtro de maior gramatura.

A substituição da manga fez com que saísse material pela chaminé do exaustor o que indica que as mangas não estavam segurando eficientemente os particulados do produto e assim comprometendo a produtividade.

## 5.6 Testes 5 e 6

Os testes foram efetuados nas frequências da rosca 2 de 45 Hz e 60 Hz e utilizando desta vez material retornado, pois o intuito era de comparar apenas a frequência da rosca e o material não importaria neste caso.

Na tabela 11 são observados os parâmetros gerais do teste 5 que são exatamente iguais aos do teste 4, a única diferença é o material que neste caso era material retornado.

Tabela 11 – Parâmetros Gerais do Teste 5

Teste 5 Parâmetros dos Inversores															
Componentes	Misturador	Rosca 1	Moinho de Martelo	Válvula Rotativa 1	Rosca 2	Classificador	Rosca 3	Válvula Rotativa 2	Exaustor						
Frequência (Hz)	60	31	60	22,5	45	14,5	64,5	60	75						
Bicos de saída de ar	Quantidade	Diâmetro	Material												
	8	3,2mm	Aço inox												
Mangas	Material	Gramatura													
	Poliestireno	350 µg/cm <sup>2</sup>													
Retorno	Sim	Não													
	X														
Classificador	Sim	Não													
	X														

Fonte: Próprio autor (2021).

Os resultados apurados são apresentados na Tabela 12 a seguir:

Tabela 12 – Resultados Gerais do Teste 5

Teste 5					
Material Final					
d(mínimo)	d(0.1)	d(0.5)	d(0.9)	%Acima de 150 µm	Produtividade
0,55 µm	27,410 µm	83,493 µm	156,996 µm	9,60%	58,84 kg/h
Material de Retorno					
d(mínimo)	d(0.1)	d(0.5)	d(0.9)	%Abaixo de 150 µm	Rendimento
0,724 µm	28,712 µm	156,489 µm	294,057 µm	50,88%	67,00%

Fonte: Próprio autor (2021).

Este teste gerou uma quantidade muito grande de produto retido na malha 100; aproximadamente 9,6%, a principal hipótese é porque o produto utilizado como matéria prima durante este teste era produto retornado e não material virgem.

A quantidade de material abaixo da malha 100 no retorno foi de 50,88% um resultado semelhante aos testes anteriores, porém o rendimento do retorno foi muito maior pois foi usado material retornado (que é mais fino que o material virgem).

Desta forma diminuindo a produtividade como constatado (58,84 kg/h) e também aumentando o rendimento do retorno (67%).

Na Tabela 13 são observados os parâmetros gerais do teste 6 com a rosca 2 a 60 Hz.

Tabela 13 – Parâmetros Gerais do Teste 6

Teste 6 Parâmetros dos Inversores									
Componentes	Misturador	Rosca 1	Moinho de Martelo	Válvula Rotativa 1	Rosca 2	Classificador	Rosca 3	Válvula Rotativa 2	Exaustor
Frequência (Hz)	60	31	60	22,5	60	14,5	64,5	60	75
Bicos de saída de ar	Quantidade	Diâmetro	Material						
	8	3,2mm	Aço inox						
Mangas	Material	Gramatura							
	Polipropileno	400 µg/cm <sup>2</sup>							
Retorno	Sim	Não							
	X								
Classificador	Sim	Não							
	X								

Fonte: Próprio autor (2021).

Os resultados apurados são apresentados na Tabela 14.

Tabela 14 – Resultados Gerais do Teste 6

Teste 6					
Material Final					
d(mínimo)	d(0.1)	d(0.5)	d(0.9)	%Acima de 150 µm	Produtividade
0,55 µm	7,930 µm	60,879 µm	142,956 µm	6,76%	83,6 kg/h
Material de Retorno					
d(mínimo)	d(0.1)	d(0.5)	d(0.9)	%Abaixo de 150 µm	Rendimento
1,445 µm	81,309 µm	174,079 µm	304,617 µm	42,48%	67,00%

Fonte: Próprio autor (2021).

O aumento da frequência da rosca 2 em relação ao teste 5 para 60 Hz apresentou uma redução no produto retido na malha 100 de 6,76%, decorrente de uma alimentação mais eficiente e homogênea pelo aumento da frequência.

O número elevado de quase 7% se dá pois o teste foi feito com retorno e não com matéria prima.

Este teste apresentou uma quantidade menor de material abaixo da malha 100 no produto retornado entre todos os testes realizados, 42,48%, a hipótese deste bom resultado dá-se pela alimentação mais homogênea com a rosca a 60 Hz.

A produtividade também foi melhor que a do teste 6 (83,6 kg/h em relação á 58,84 kg/h) o que implica que a frequência de 60 Hz irá gerar melhores resultados na linha de produção.

### 5.7 Teste 7

Para o teste 7 foram substituídas as mangas do filtro manga alterando o material para polipropileno que é um material mais utilizado na indústria alimentícia e desta vez com a gramatura de  $400 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ .

Na Tabela 15 são observados os parâmetros gerais do teste 7 com a rosca 2 a 60 Hz, exatamente igual ao teste 6, porém agora com material virgem e as novas mangas.

Tabela 15 – Parâmetros Gerais do Teste 7

Teste 7 Parâmetros dos Inversores									
Componentes	Misturador	Rosca 1	Moinho de Martelo	Válvula Rotativa 1	Rosca 2	Classificador	Rosca 3	Válvula Rotativa 2	Exaustor
Frequência (Hz)	60	31	60	22,5	60	14,5	64,5	60	75
	Quantidade	Diâmetro	Material						
Bicos de saída de ar	8	3,2mm	Aço inox						
	Material	Gramatura							
Mangas	Polipropileno	400 µg/cm <sup>2</sup>							
	Sim	Não							
Retorno	X								
	Sim	Não							
Classificador	X								

Fonte: Próprio autor (2021).

Os resultados apurados são apresentados na Tabela 16.

Tabela 16 – Resultados Gerais do Teste 7

Teste 7					
Material Final					
d(mínimo)	d(0.1)	d(0.5)	d(0.9)	%Acima de $150 \mu\text{m}$	Produtividade
$0,55 \mu\text{m}$	$5,242 \mu\text{m}$	$34,854 \mu\text{m}$	$103,998 \mu\text{m}$	1,75%	107,52 kg/h
Material de Retorno					
d(mínimo)	d(0.1)	d(0.5)	d(0.9)	%Abaixo de $150 \mu\text{m}$	Rendimento
$0,55 \mu\text{m}$	$11,465 \mu\text{m}$	$139,049 \mu\text{m}$	$356,162 \mu\text{m}$	60,57%	64,40%

Fonte: Próprio autor (2021).

A nova manga de gramatura  $400 \mu\text{g}/\text{cm}^2$  não apresentou resultado muito diferente da manga inicial de  $450 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ , em relação a produtividade e também a porcentagem de material acima da malha 100 no produto final.

Em relação a porcentagem de material abaixo da malha 100 no retorno e do rendimento de retorno foram obtidos resultados inferiores aos anteriores especialmente se comparados aos resultados com a manga original de  $450 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ .



## 5.8 Teste 8

No teste 8 foram novamente substituídos os bicos de saída de ar, os originais eram de 2 mm de diâmetro, já na primeira substituição foram utilizados bicos de 3,2 mm e agora foram substituídos por bicos de ar de 4 mm.

Este aumento do diâmetro das saídas de ar foi realizado para averiguar se uma maior entrada de ar poderia influenciar em choques mais fortes e efetivos entre as partículas, pois a vazão de ar seria maior dentro da câmara de micronização.

Desta forma com choques mais fortes, a hipótese é de que as partículas iriam ser moídas com mais facilidade e eficiência.

Na Tabela 17 são observados os parâmetros gerais do teste 8.

Tabela 17 – Parâmetros Gerais do Teste 8

Teste 8 Parâmetros dos Inversores									
Componentes	Misturador	Rosca 1	Moinho de Martelo	Válvula Rotativa 1	Rosca 2	Classificador	Rosca 3	Válvula Rotativa 2	Exaustor
Frequência (Hz)	60	31	60	22,5	60	14,5	64,5	60	75
	Quantidade	Diâmetro	Material						
Bicos de saída de ar	8	4mm	Aço inox						
	Material	Gramatura							
Mangas	Polipropileno	400 µg/cm <sup>2</sup>							
	Sim	Não							
Retorno	X								
	Sim	Não							
Classificador	X								

Fonte: Próprio autor (2021).

Os resultados apurados são apresentados na Tabela 18.

Tabela 18 – Resultados Gerais do Teste 8

Teste 8					
Material Final					
d(mínimo)	d(0.1)	d(0.5)	d(0.9)	%Acima de 150 µm	Produtividade
0,55 µm	5,373 µm	34,264 µm	82,280 µm	0,00%	105 kg/h
Material de Retorno					
d(mínimo)	d(0.1)	d(0.5)	d(0.9)	%Abaixo de 150 µm	Rendimento
0,55 µm	22,212 µm	183,753 µm	380,159 µm	46,22%	53,00%

Fonte: Próprio autor (2021).

Os bicos de 4 mm geram mais vazão de ar na câmara e possibilitam maior quantidade e efetividade dos choques entre as partículas, isso fez com que não fosse gerado produto retido na malha 100, e com uma produtividade bastante alta de 105 kg/h.

Adicionalmente este teste apresentou um percentual bem baixo de material passante na malha 100 no retorno, alcançando 46,22%, mostrando que os bicos de 4 mm podem ser uma alternativa eficiente para este processo.

### 5.9 Teste 9 – Mudança do exaustor

Na tentativa de se avaliar o material passante na malha 100 do retorno, a capacidade do exaustor também foi estudada, desta vez utilizando um exaustor com um motor maior para avaliar a nova puxada do ar entre o classificador e o filtro manga.

Desta forma poderia ser testado se seria possível diminuir o material abaixo de 150  $\mu\text{m}$  do retorno, pois com uma maior pressão de ar sendo puxada o material mais leve poderia estar retornando menos depois de passar pelo classificador.

Para este teste a granulometria tanto do produto quanto do material retornado foi medida com uma peneira de malha 100 no teste de peneiras convencional.

Na tabela 19 são observados os parâmetros gerais do teste 9 com os mesmos parâmetros gerais do teste 8, porém agora com o novo exaustor.

Tabela 19 – Parâmetros Gerais do Teste 9

Teste 9 Parâmetros dos Inversores									
Componentes	Misturador	Rosca 1	Moinho de Martelo	Válvula Rotativa 1	Rosca 2	Classificador	Rosca 3	Válvula Rotativa 2	Exaustor
Frequência (Hz)	60	31	60	22,5	60	14,5	64,5	60	75
	Quantidade	Diâmetro	Material						
Bicos de saída de ar	8	4mm	Aço inox						
	Material	Gramatura							
Mangas	Polipropileno	400 µg/cm²							
	Sim	Não							
Retorno	X								
	Sim	Não							
Classificador	X								

Fonte: Próprio autor (2021).

Os resultados apurados são apresentados na Tabela 20 a seguir, sem a análise do sedígrafo, porém comparando quanto o exaustor iria alterar no material retornado

Tabela 20 – Resultados Gerais do Teste 9

Teste 9	
Material Final	
%Acima de 150 $\mu\text{m}$	Produtividade
1,00%	86 kg/h
Material de Retorno	
%Abaixo de 150 $\mu\text{m}$	Rendimento
48,00%	não houve

Fonte: Próprio autor (2021).

Como a produtividade para este teste caiu muito e o material abaixo de 150  $\mu\text{m}$  teve uma porcentagem próxima de 50% pode-se constatar de que o exaustor com o motor mais potente não resolveu o problema proposto para ele.

## 6 CONCLUSÕES

Os melhores resultados foram atingidos nos testes descritos a seguir:

- a) Produtividade: Testes 1 e 8
- b) Menor porcentagem de produto acima da malha 100 (150  $\mu$ m): Testes 8 e 9
- c) Rendimento do retorno: Testes 1 e 2
- d) Menor porcentagem de material retornado abaixo da malha 100: Testes 8 e 9

Conclui-se que a melhor configuração da linha de produção para micronização do arroz biológico a ser utilizado como fertilizante na agricultura esteve presente no teste 8, pois ele obteve o melhor resultado em 3 dos 4 parâmetros principais de análise.

A finalização dos testes foi realizada com o novo exaustor para verificar a possibilidade de melhorar o problema da granulometria do retorno e tentar diminuir a sua quantidade, por isso foi usado um exaustor com um motor maior imaginando que iria aumentar e otimizar os parâmetros de retorno.

Uma outra hipótese que foi estudada porém que não foi possível de se realizar, é a de que se o exaustor tivesse um rotor maior e não apenas um motor de maior potência, isso poderia aumentar a vazão de ar entre o classificador e o filtro manga diminuindo a quantidade de material abaixo da malha 100 no produto retornado e reduzindo assim o retrabalho.

Portanto uma conclusão das grandes melhoras que foram identificadas que geraram principalmente um aumento na produtividade de 54% foram:

O novo classificador dentro do micronizador, um novo bico de entrada de ar de 4mm e um exaustor com um rotor maior, além dos novos parâmetros escolhidos para os inversores.

Os parâmetros descritos foram implementados na linha de produção de arroz biológico e os objetivos de analisar, identificar e implementar foram alcançados proporcionando uma maior produtividade bem como redução nas perdas e no retrabalho.

O estudo proporcionou que toda a equipe envolvida nos testes alcançasse conhecimento no processo de micronização implementado e garantindo a correta e mais eficiente utilização da linha de produção concluindo que os objetivos do estudo fossem atingidos.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANTARCTICA. **Ciclone de mina de alta qualidade.** 2017. Disponível em: <[https://evervalencia.es/2021-03/2021\\_ciclone+de+mina+de+alta+qualidade-WrSnIEUG.html](https://evervalencia.es/2021-03/2021_ciclone+de+mina+de+alta+qualidade-WrSnIEUG.html)>. Acesso em: 21 ago. 2021.
- CARLESSO, J. L. C. **Automação de um sistema de exaustão industrial para melhoria da eficiência energética.** 2015. 66p. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnólogo em Automação Industrial) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, Paraná, 2015.
- CETEM – CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL. **Redução de tamanho:** moagem. 2021. Disponível em: <[https://www.ufrgs.br/alimentus1/feira/optransf/opt\\_moagem.htm](https://www.ufrgs.br/alimentus1/feira/optransf/opt_moagem.htm)>. Acesso em: 30 ago. 2021.
- FELIPE, R. A. S. **Modelagem e simulação do circuito de britagem de córrego do sítio I com desenvolvimento de modelo para moinho de martelos.** 2019. 128p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2019.
- FERNANDES, L. A. G. **Ensaio experimentais com misturadores estáticos.** 2005. 106p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Química, Campinas, São Paulo, 2005.
- GRZECA, M. **Análise do processo de cominuição para combustão do carvão mineral de candiota.** 2018. 80p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Mineral) – Universidade Federal do Pampa – Caçapava do Sul, Rio Grande do Sul, 2018.
- LONDE, T. M.; FINZER J. R. D. **Micronização em moinho com jato de ar em espiral.** In: XXXVIII CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS PARTICULADOS. Universidade Estadual de Maringá. Paraná, 2017.
- MARQUES, F. B. **Investigação de design de filtro manda através da técnica de CFD.** 2017. 79p. Dissertação (Mestrado em Energia) – Universidade Federal do Espírito Santo – São Mateus, Espírito Santo, 2017.
- MOINHOS BRASIL. 2020. Disponível em: <<https://www.moinhosbrasil.com.br/>>. Acesso em: 30 ago. 2021.
- TECNAL. **Moagem: processo permite redução de partículas e melhora na eficiência das etapas de preparo.** 2021. Disponível em: <[https://tecnal.com.br/pt-BR/blog/241\\_moagem\\_processo\\_permite\\_reducao\\_de\\_particulas\\_e\\_melhora\\_na\\_eficiencia\\_das\\_etapas\\_de\\_preparo](https://tecnal.com.br/pt-BR/blog/241_moagem_processo_permite_reducao_de_particulas_e_melhora_na_eficiencia_das_etapas_de_preparo)>. Acesso em: 30 ago. 2021.