

**CENTRO UNIVERSITÁRIO UNIFACVEST  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA  
ORLI GOMES JUNIOR**

**ESTUDO DE CASO RELACIONADO A VIBRAÇÕES MECÂNICAS  
PRESENTES EM VENTILADORES RADIAIS**

LAGES  
2018

ORLI GOMES JUNIOR

**ESTUDO DE CASO RELACIONADO A VIBRAÇÕES MECÂNICAS  
PRESENTES EM VENTILADORES RADIAIS**

Trabalho de Pesquisa apresentado ao Centro  
Universitário UNIFACVEST, como parte dos  
requisitos para a avaliação da disciplina de  
TCC II, da turma 3910N.

Orientador: Prof. Especialista Lucas Rafael de  
Liz.

Coorientador: Prof. Especialista Alisson  
Ribeiro de Oliveira.

LAGES  
2018

ORLI GOMES JUNIOR

**ESTUDO DE CASO RELACIONADO A VIBRAÇÕES MECÂNICAS  
PRESENTES EM VENTILADORES RADIAIS**

Trabalho de Pesquisa apresentado ao Centro  
Universitário UNIFACVEST, como parte dos  
requisitos para a avaliação da disciplina de  
TCC II, da turma 3910N.

Orientador: Prof. Especialista Lucas Rafael de  
Liz.

Coorientador: Prof. Especialista Alisson  
Ribeiro de Oliveira.

Lages, SC \_\_\_\_/\_\_\_\_/2018. Nota \_\_\_\_\_

---

**Lucas Rafael de Liz.**

---

**Alisson Ribeiro De Oliveira**

---

**Prof Dr. Rodrigo Botan.**

**(Coordenador do Curso de Engenharia Mecânica- Centro Universitário Facvest -  
UNIFACVEST)**

LAGES

2018

# ESTUDO DE CASO RELACIONADO A VIBRAÇÕES MECÂNICAS PRESENTES EM VENTILADORES RADIAIS

Orli Gomes Junior<sup>1</sup>  
Lucas Rafael de Liz.<sup>2</sup>  
Alisson Ribeiro de Oliveira<sup>3</sup>

## RESUMO

Para atender o mercado, alta produção e qualidade são indispensáveis e, para tanto os equipamentos e máquinas devem operar no mais próximo possível dos níveis ideais de eficiência. Apesar da existência de vários meios tecnológicos e avanços, ainda o desgaste, a fadiga, fraturas e defeitos surgem com a operação, e inevitavelmente a manutenção é empregada na correção destes adventos. A manutenção, diferente do passado, atualmente está interligada inclusivamente a qualidade e economia do produto final. Entre os tipos de manutenções, a preditiva é considerada inovadora, pois emprega meios tecnológicos na coleta de dados e valores que refletem por meio de análise as condições em que se encontra o equipamento estudado. Análise de lubrificantes, verificação de ruídos por meio de estetoscópio, medição e análise de vibração são empregados como monitoramento preditivos que conferem segurança e permitem planejamentos precisos para a manutenção. Indústrias de alta produção com alto rigor de qualidade, como se apresenta a empresa Berneck na produção de painéis de madeira de média densidade (MDP), é inconcebível a permanência de um problema que está influenciando negativamente o rendimento. Esse problema se apresenta na forma de elevadas vibrações em ventiladores de recirculação de gases de secagem de partículas de madeira que formam o MDP. Com essa situação presente, o conhecimento das variáveis do sistema de secagem responsáveis pelo problema de vibração é de grande valia, já que o conhecimento das mesmas pode levar a construção de melhorias e soluções para o caso. Logo, surgiu o objetivo de identificar as causas do problema, levando ao estudo de dados referentes ao equipamento em busca de indicadores de causa, com o intuito de sugerir possíveis estudos de soluções ou melhorias.

**Palavras-chave:** Manutenção Preditiva. Análise de Vibração. Falhas. Causas Raízes. Plano de Ações.

---

<sup>1</sup> Acadêmico da 9º fase do Curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário UNIFACVEST.

<sup>2</sup> Professor do Curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário UNIFACVEST.

<sup>3</sup> Professor do Curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário UNIFACVEST.

## CASE STUDY RELATED TO MECHANICAL VIBRATIONS PRESENT IN RADIAL FANS

Orli Gomes Junior.<sup>1</sup>  
Lucas Rafael de Liz.<sup>2</sup>  
Alisson Ribeiro de Oliveira<sup>3</sup>

### ABSTRACT

In order to meet the market, high production and quality are indispensable and, for this purpose, the equipment and machinery must operate as close as possible to the ideal levels of efficiency. Despite the existence of various technological means and advances, still wear, fatigue, fractures and defects arise with the operation, and inevitably maintenance is used to correct these advents. The maintenance, different from the past, is currently interlinked even the quality and economy of the final product. Among the types of maintenance, the predictive is considered innovative, since it uses technological means in the collection of data and values that reflect by means of analysis the conditions in which the equipment studied is found. Lubricant analysis, stethoscope noise testing, vibration measurement and analysis are used as predictive monitoring that provide safety and enable accurate planning for maintenance. High production industries with high quality rigor, as presented by the Berneck company in the production of medium density wood panels (MDP), it is inconceivable the permanence of a problem that is negatively influencing the yield. This problem occurs in the form of high vibrations in recirculation fans of wood particle drying gases that form the MDP. With this present situation, the knowledge of the variables of the drying system responsible for the vibration problem is of great value, since the knowledge of them can lead to the construction of improvements and solutions to the case. Therefore, the objective was to identify the causes of the problem, leading to the study of data regarding the equipment in search of cause indicators, in order to suggest possible studies of solutions or improvements.

**Keywords:** Predictive maintenance. Vibration analysis. Failures. Causes Roots. Action plan.

---

<sup>1</sup> Acadêmico da 9º fase do Curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário UNIFACVEST..

<sup>2</sup> Professor do Curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário UNIFACVEST.

<sup>3</sup> Professor do Curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário UNIFACVEST.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Tela de Monitoramento Recalor.....	30
Figura 2 - Coletor de Vibração.....	31
Figura 3- Possíveis Causas de Vibração.....	36
Figura 4- Soft Análise de Vibrações.....	42
Figura 5- Espectro Velocidade 01 .....	43
Figura 6- Espectro Velocidade 02 .....	43
Figura 7- Sistema de Controle e monitoramento Recalor. 01.....	45
Figura 8- Sistema de Controle e monitoramento Recalor 02.....	45
Figura 9- Análise de causa 6 M's.....	52
Figura 10 - Voluta ventilador danificada.....	54
Figura 11 - Resultados MCA 01.....	57
Figura 12- Resultado MCA 02.....	58

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Métodos empregados no trabalho.....	29
Tabela 2- Materiais Utilizados na Construção do Estudo de Caso.....	32
Tabela 3- Brainstorming.....	34
Tabela 4- 5 Por quês.....	35
Tabela 5- Tópicos Ishikawa.....	37
Tabela 6- Plano de ação.....	38
Tabela 7- Relatório de paradas segundo a produção.....	44
Tabela 8- Parâmetro de Produção.....	49
Tabela 9- Material não retido nos filtros ciclones.....	50
Tabela 10- Químicos que compõem o descarte da prensa.....	51
Tabela 11- Causas da falha do ventilador 01 secador.....	52
Tabela 12- Plano de ação para evitar falha do tipo.....	53
Tabela 13- Plano de possíveis ações futuras.....	60

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1- Custos Manutenção/m <sup>3</sup> Secagem x Custos Manutenção MDP 2018.....	46
Gráfico 2- Custos Anual Manutenção MDP Até out/18.....	47
Gráfico 3-Custo anual manutenção área de secagem x Custo anula manutenção ventiladores.....	48
Gráfico 04- Orçamento estimado x Orçamento praticado Área de Secagem 2018.....	48

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>14</b>
<b>2. DESENVOLVIMENTO.....</b>	<b>16</b>
2.1 Demanda De Painéis De Madeira.....	16
2.2 Manutenção Industrial.....	17
2.3 Vibração Mecânica .....	19
2.4 Desbalanceamento.....	21
2.5 Análise De Vibração.....	21
2.6 Falha .....	22
2.7 Análise de Falha.....	23
2.8 Confiabilidade.....	24
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>25</b>
3.1 Metodologia .....	25
3.2 Materiais .....	29
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>32</b>
4.1 Descrição do Problema.....	32
4.2 Brainstorming.....	33
4.3 Cinco por quês.....	34
4.4 Diagrama de Ishikawa.....	36
4.5 Plano de Ação.....	37
4.6 Vibração E Desbalanceamento.....	41
4.7 Custos Com Manutenção.....	46
4.8. Eficiência Dos Filtros Ciclones.....	49
4.9. Descarte Da Prensa.....	50
4.10 Análise De Falha.....	52
4.11 Análise Externa De Vibração.....	55
4.12 Análise de Circuitos de Motores MCA.....	56
4.13 Melhorias Apresentadas.....	58
4.14 Ações Viáveis.....	59
<b>5. CONCLUSÃO.....</b>	<b>62</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>63</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>65</b>
Anexo 01- Manual de Operação e Instalação Recalor S/A.....	65

## 1. INTRODUÇÃO

Vibrações mecânicas se fazem presentes em vários tipos de equipamentos e são tratadas como fenômenos corriqueiros de máquinas que envolvam algum tipo de movimento. Através da análise de vibrações coletadas diretamente no equipamento, é possível avaliar em quais condições operacionais se encontra uma máquina: “Todas as máquinas vibram, uma análise dessa vibração pode, quase sempre, nos dizer se uma máquina está em bom estado ou não e qual é o defeito” (AFFONSO, 2002, p.270). Embora seja, em muitos casos indesejada, a vibração, é praticamente impossível de ser anulada em mecanismos móveis. No entanto, existem níveis vibracionais que possibilitam operações adequadas de trabalho em máquinas, desde que, estes níveis de vibrações sejam adequados ao dimensionamento e ao porte do equipamento. Este trabalho de pesquisa e análise aborda a manutenção preditiva voltada mais precisamente à identificação de variáveis desconhecidas por meio de análise de vibrações. O foco da pesquisa está atrelado principalmente a um caso particular, por meio de uma investigação de variáveis relacionadas a vibrações de ventiladores radiais de uma linha de secagem de partícula para formação de MDP (MediumDensityParticleboard) da empresa Berneck S.A Painéis e Serrados, localizada na BR-470, KM 244.

Este estudo de caso está intrinsecamente ligado a manutenção preditiva, dirigido especificamente a vibrações mecânicas. As pesquisas e dados presentes trazem o propósito de propiciar conhecimento de variáveis desconhecidas provenientes do processo de secagem de partículas de madeira que formam o MDP da empresa Berneck, prioritariamente aquelas variáveis que estão relacionadas aos altos níveis de vibração dos ventiladores identificados como ventilador secador 01 e ventilador secador 02, respectivamente (105.24.VE.5501 e 105.24.VE.5601).

O caso em estudo faz parte de um processo de crítica importância para a formação do produto final, painéis de MDP (Medium Density Particleboard). A utilização de painéis aglomerados de madeira é elevada, possuem variadas aplicações em diferentes áreas como, por exemplo, a fabricação de móveis, construção civil, decorações de arquitetura, trabalhos artesanais, e, entre outros. Dessa forma é indispensável o funcionamento correto de equipamentos da linha de produção para atender a demanda. Os ventiladores estudados apresentam defeitos e falhas periódicas, conseqüentemente ocorrem intervenções para correção, causando a interrupção da produção, gerando horas extras, peças sobressalentes em estoque, consumo de materiais e insumos, e, danos a outros equipamentos em certas ocasiões,

o que aumenta o custo/hora de manutenção sobre o produto final. Essa pesquisa e estudo de caso é importante porque procura apontar possíveis melhorias baseadas na identificação e análises de causas da vibração elevada presente no equipamento. Particularmente a possibilidade de adquirir conhecimento com a realização desta pesquisa foi muito relevante quanto a escolha do tema proposto, pois está agregando muitas informações importantes que estão relacionadas ao meio didático e profissional ao qual estou inserido.

O problema presente nos ventiladores da linha de secagem MDP, se manifesta gradativamente através de vibrações elevadas durante um período mensal em média, caracterizando dessa maneira um defeito que leva a falha ocasionando intervenções não previstas e indesejadas no equipamento. Há indícios que a vibração alta é causada por desbalanceamento dos rotores devido à aglomeração de resíduos do processo de secagem, no entanto o desbalanceamento não se trata da causa principal, embora seja corrigido o problema com limpeza a hidrojato, em um curto período o problema reincide. A finalidade principal com as análises e dados adquiridos é apontar as causas fundamentais da vibração alta nos ventiladores, com o intuito de propor um plano de ações futuras.

Para alcance do objetivo geral, foram utilizadas algumas ferramentas conforme podemos verificar abaixo:

- Análise de vibração: análise através de dados e gráficos fornecidos pelo equipamento de análise de vibração (sensor + IHM);
- Brainstorming;
- Ishikawa, 5 porquês (5 Why's), e realização de entrevistas informais com técnicos e especialistas de operação e manutenção.

Tais ferramentas citadas acima compreendem também os objetivos específicos desta pesquisa, permitindo o alcance dos resultados apresentados ao decorrer do trabalho. As ferramentas listadas também integram os métodos utilizados para coleta, estudo e análise de informações.

Quanto ao conteúdo do trabalho, o referencial teórico traz os principais assuntos relacionados ao problema estudado, através de livros e artigos produzidos por conhecedores do tema abordado. O conteúdo de materiais e métodos traz quais materiais e métodos que foram empregados no desenvolvimento do estudo de caso. Em resultados e discussões estão os pontos alcançados e quais ainda podem ser desenvolvidos e, por fim a conclusão com as considerações finais do estudo.

## **2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **2.1 Demanda de Painéis de Madeira**

Os níveis de consumo nos dias atuais exigem que a produção seja elevada para manter a demanda sem deixar de lado a qualidade. No setor de painéis de madeira essa é uma realidade, pois a utilização de painéis de madeira reconstituído é ampla e variada. Painéis de MDF e MDP são empregados na construção de móveis, artesanatos, decorações, construção civil, embalagens, e entre outras aplicações que explicam uma demanda elevada, “Globalmente, o consumo de painéis de madeira guarda forte ligação com a construção civil (pela construção direta de escritórios e residências, acabamento ou mobiliário.” (VIDAL; HORA, 2014, p.329).

A âmbito nacional:

A demanda brasileira por painéis de madeira reconstituídos vem apresentando crescimento acelerado, acima do Produto Interno Bruto (PIB) e da construção civil, sobretudo o Medium Density Fiberboard (MDF) e, em menor medida, o Medium Density Particleboard (MDP). Esses produtos foram beneficiados pelas condições macroeconômicas que resultaram em um melhor ambiente para os bens de consumo no país e pela substituição de serrados e compensados. O principal cliente da indústria de painéis de madeira é o fragmentado setor moveleiro, que possui pouco poder de barganha em relação à concentrada indústria de painéis, a qual ainda se favorece de uma baixa concorrência internacional, dado que seu produto não é costumeiramente transacionado por longas distancias. (VIDAL; HORA, 2014, p.323)

Com o mercado de consumo elevado, perdas referentes a produção são preocupantes, pois alta produção corresponde a altos valores. Por essa razão os equipamentos e máquinas devem operar de forma adequada, transmitir qualidade e realizar funções a quais são destinadas sem que haja interrupções imprevistas.

Logo, o estudo dos ventiladores da linha de secagem de MDP da empresa Berneck Curitiba- SC é justificado, pois os equipamentos apresentam condições não satisfatórias em determinados períodos de operação, implicando no rendimento e qualidade de produção.

## 2.2 Manutenção Industrial

A manutenção existe há muito tempo, desde a antiguidade, reparos e consertos eram usados para diferentes fins. Embora no passado a mesma tenha um caráter mais voltado à correção dos problemas, atualmente faz parte do desenvolvimento da qualidade e do planejamento de grandes indústrias. A seguir a citação relata um pouco sobre a manutenção no passado.

A manutenção, embora despercebida, sempre existiu, mesmo nas épocas mais remotas. Começou a ser conhecida com o nome de manutenção por volta do século XVI na Europa central, juntamente com o surgimento do relógio mecânico, quando surgiram os primeiros técnicos em montagem e assistência. Tomou corpo ao longo da Revolução Industrial e firmou-se, como necessidade absoluta, na Segunda Guerra Mundial. No princípio da reconstrução pós-guerra, Inglaterra, Alemanha, Itália e principalmente o Japão alicerçaram seu desempenho industrial nas bases da engenharia de manutenção. (MORO; AURAS, 2007, p. 6).

A manutenção industrial é um setor muito importante dentro das indústrias. O objetivo da manutenção é permitir que a produção mantenha rendimentos dentro dos níveis esperados atingindo também padrões de qualidade pré-determinados.

A operação de equipamentos ao longo do tempo gera defeitos que podem levar a falha dos mesmos. Desde simples atividades e operações á complexas linhas de produção, a manutenção é crucial para que se mantenham as atividades e produção.

Toda e qualquer fábrica ou instalação industrial, ou ainda toda e qualquer atividade que pretenda fabricar alguma coisa, precisa de vários meios que permitam a produção; tais meios podem ser simples tesouras e agulhas ou mesmo um par de agulhas e novelos de lã, assim como conjuntos de alta complexidade, abrangendo máquinas automáticas, equipamentos simples como bombas e ventiladores até conjuntos operando em também e produzindo artigos dos mais complexos possíveis. Entretanto, em todos os casos aparece o problema do desgaste, enguiços, quebras, fraturas, e mais uma parafernália de acidentes que se observam durante a produção. Assim como uma simples tesoura precisa de ser reparada de tempos em tempos, já que o corte é perdido com a sequência de operações, as máquinas complexas apresentam desgaste assemelhado, exigindo reparos e consertos em períodos que variam de conformidade com o equipamento, utilização, material sendo processado etc. Por tais motivos, toda atividade produtiva exige uma certa manutenção, sem o que a produção entra em colapso. (NEPOMUCENO, 2014, p. 1)

Além de manter a produção, em muitos casos a manutenção se correlaciona à qualidade e a evolução da empresa a qual se está implantada, pois é através da manutenção que se efetua melhorias, identificam-se falhas, defeitos, anomalias, corrige-se problemas e gera meios para evitar falhas. Como afirma Nepomuneno (2014), na apresentação de sua obra:

“Além de manter em boas condições de utilização do parque produtivo, a Manutenção também pode racionalizá-lo, aperfeiçoá-lo e atualizá-lo com as novas tecnologias disponíveis no campo da informática e da eletrônica, tornando-o mais competitivo”. (NEPOMUCENO, 2014, p. 5).

Embora no passado a manutenção tenha sido encarada como gastos pode-se dizer atualmente que a mesma deve ser encarada como investimento, pois segundo Nepomuceno (2014, p. 3) “o gasto com métodos, processos instrumentos e ferramentas destinadas à manutenção representa um aumento da vida útil do equipamento muitas vezes superior ao investido na própria manutenção”. Desde que o plano de manutenção seja adequado ao tipo específico de empresa e de operação a citação anterior se faz verdade.

Os três tipos principais de manutenção geralmente adotados pelas empresas são:

Manutenção corretiva: a manutenção corretiva tem por característica prover ações que corrijam falhas que surjam em equipamentos e máquinas que impossibilitam uma operação adequada, ou, interrompam a operação. Havendo intervenção sobre o problema somente após a ocorrência da falha. Assim é considerada a forma mais primitiva de manutenção. A manutenção corretiva pode ser não programada, quando não se conhece o problema até a falha, ou programada que deixa o equipamento operar até ocorrer a falha, mas conhece os defeitos que o levarão a tal. Segundo SLACK “significa deixar as instalações continuarem a operar até que quebrem. O trabalho de manutenção é realizado somente após a quebra de o equipamento ter ocorrido [...]”. (SLACK, et al, 2002, p. 625, apud COSTA, 2013, p. 22). Segundo COSTA (2013, p. 22), este tipo de manutenção tende a apresentar custos elevados, pois requer peças sobressalentes em estoque, eleva a mão de obra e baixa a disponibilidade da produção.

Manutenção preventiva: pode ser designada como ações realizadas visando manter os equipamentos em operação durante o tempo de vida útil estimado. Esta ocorre muitas vezes de maneira planejada.

A manutenção preventiva é o estágio inicial da manutenção planejada, e obedece a um padrão previamente esquematizado. Ela estabelece paradas periódicas com a finalidade de permitir os reparos programados, assegurando assim o funcionamento perfeito da máquina por um tempo predeterminado. (MORO; AURAS, 2007, p. 15).

A manutenção preventiva é chamada também de manutenção programada. Pois através de programações, são realizadas intervenções nos equipamentos, afim de mantê-los em funcionamento adequado minimizando riscos a falhas. “É a manutenção voltada para evitar

que a falha ocorra, através de manutenções em intervalos de tempo pré-definidos”. (COSTA, 2013, p. 23). Este tipo de manutenção além de prover a mantabilidade da operação dos equipamentos, propicia benefícios de interesse as empresas como os destacados por MORO e AURAS “Os principais objetivos das empresas são: redução de custos, qualidade do produto, aumento de produção, preservação do meio ambiente, aumento da vida útil dos equipamentos e redução de acidentes do trabalho”.(MORO; AURAS 2007, p. 15)

Manutenção Preditiva: consiste na observação e coleta de dados dos equipamentos para avaliação das condições operacionais que se encontram as máquinas. Muitas vezes é realizada através de monitoramento e análise de dados coletados.

Significa as condições de funcionamento dos equipamentos permitindo sua operação contínua pelo maior tempo possível. Todo o controle se dá pela observação (monitoramento) destas condições, como por exemplo, pela observação do nível de ruído de um determinado mancal de rolamento. (MORO; AURAS, 2007, p.21).

A manutenção preditiva se utiliza de meios avançados e tecnológicos para avaliação de equipamentos, transmitido os resultados por meio de números, valores e dados empíricos. Com esse tipo de manutenção também se eleva a segurança de quem trabalha nas máquinas e de quem realiza manutenção. Ainda, por permitir muitas vezes prever defeitos com alto potencial de falha, acaba por ser uma manutenção relativamente barata em comparação, por exemplo, com a corretiva.

A abordagem dos principais tipos de manutenção neste trabalho se justifica pelo fato de o equipamento em estudo depender dos três tipos para permanecer em funcionamento, pois os ventiladores são monitorados por meio de métodos preditivos, ou seja, da manutenção preditiva. Ao surgir indicações de defeitos com potencial elevado de falha é realizado a manutenção corretiva, e, para permanecer em bom funcionamento se realiza a manutenção preventiva. A importância dos três tipos de manutenção é muito considerável, mas a manutenção preditiva nesta ocasião é empregada com mais frequência, pois o equipamento opera com monitoramento em tempo real.

### **2.3 Vibração Mecânica**

A vibração mecânica está presente em diferentes tipos de máquinas e situações, em algumas sendo muitas vezes indesejável devido aos danos relacionados a sua presença.

Segundo RAO (2008, p. 6): “Qualquer movimento que se repita após um intervalo de tempo é denominado vibração ou oscilação [...] A teoria da vibração trata do estudo de movimentos oscilatórios de corpos e as forças associadas a eles”.

Ainda RAO ressalta a importância dos estudos da vibração:

A maioria das atividades humanas envolve vibração de uma forma ou de outra. Por exemplo, ouvimos porque nossos tímpanos vibram, e vemos porque as ondas de luz sofrem vibração. A respiração está associada à vibração dos pulmões, e andar envolve o movimento oscilatório de pernas e mãos. (RAO, 2008, p. 5).

Já voltado mais diretamente para o ramo da mecânica, o autor descreve várias situações em que as vibrações se manifestam:

Vibrações em turbinas causam espetaculares falhas mecânicas. Os engenheiros ainda não conseguiram evitar falhas que resultam das vibrações das pás e do rotor das turbinas. Naturalmente, as estruturas projetadas para apoiar máquinas centrífugas pesadas como motores e turbinas, ou máquinas alternativas como motores a vapor e a gás e bombas recíprocas, também estão sujeitas a vibrações. (RAO, 2008, p. 5).

Desde que não sejam máquinas destinadas a apresentar vibrações elevadas, não é adequado que se tenha níveis altos de vibrações, pois causa danos aos equipamentos. Desse modo a abordagem do assunto vibração neste trabalho é muito relevante.

Assim uma das finalidades importantes de estudar vibração é reduzi-la por meio de projeto adequado de máquinas e seus suportes. Por isso, o engenheiro mecânico projeta o motor ou a máquina de modo a minimizar o desbalanceamento, ao passo que o engenheiro de estruturas tenta projetar a estrutura de suporte de modo a assegurar que o efeito do desbalanceamento não seja danoso. (RAO, 2008, p. 5)

Nepomuceno descreve sobre vibrações de origem aerodinâmica, afirma que tais vibrações são encontradas em ventiladores, exaustores e sistemas semelhantes. Relata que as vibrações são constituídas por pulsações de pressão geradas pelas pás do sistema, ventilador, exaustor, turbina entre outros. O mesmo afirma que nos dispositivos radiais o fluido é impelido sob pressão elevada exigindo uma estrutura reforçada e, que nesses dispositivos existem fenômenos vibratórios e sonoros que são de origem aerodinâmica ou de origem mecânica.

## 2.4 Desbalanceamento

O desbalanceamento se apresenta como uma diferença de simetria de massa em relação a um ponto central. O desbalanceamento é uma das principais causas de presença de vibração. Evitar o desbalanceamento, assim como a vibração é praticamente uma tarefa impossível, pois na fabricação de conjuntos ou de peças, desde grandes entalhes para chavetas até pequenas falhas no material justificam diferenças de centralidade de massa.

Como salienta Affonso, o “desbalanceamento ocorre quando o centro de massa do rotor não coincide com o seu eixo de rotação. Algum desbalanceamento existe em todas as máquinas, a questão principal é saber qual o desbalanceamento admissível para cada uma delas”. (AFFONSO, 2002, p. 276).

Para evitar altos níveis de vibração, embora seja considerado impossível extinguir o desbalanceamento, é necessário chegar o mais próximo o possível dos níveis baixos, afim de que se permita um bom funcionamento.

Nepomuceno (2014) afirma que para a manutenção o importante é saber se existe ou não existe o desbalanceamento, sendo a identificação realizada através das vibrações. O mesmo descreve que com o funcionamento após algum tempo o desbalanceamento surgirá, e fala sobre a importância da verificação de como surge o desbalanceamento e, em casos em que tal se apresenta com crescimento em função do tempo de operação o desbalanceamento ocorre devido a deposição desigual de material em forma de partículas na superfície de maneira não homogênea, assim como a deposição não uniforme de poeira nas pás de ventiladores e exaustores. Nepomuceno (2014) também aborda em sua obra os tipos de desbalanceamento e descreve que o desbalanceamento em massa se detecta a uma frequência igual à rotação do rotor relacionando-o a eixos tortos e motores com excentricidade no rotor.

## 2.5 Análise De Vibração

Por meio da análise de vibração é possível verificar as condições de operação o qual um equipamento se encontra. Analisando o espectro de vibração é possível identificar defeitos em rolamentos, desbalanceamentos, vibrações elevadas, e entre outros. A análise de vibração se classifica como um dos métodos da manutenção preditiva, pois objetivo é conhecer o estado do equipamento. “Máquinas se movem, os esforços internos produzem vibração das suas partes. Todas as máquinas vibram, uma análise dessa vibração pode, quase sempre, nos

dizer se uma máquina está em bom estado ou não e qual é o defeito”. (AFFONSO, 2002, p. 270).

Este tipo de análise é muito importante, não somente para o caso em estudo, mas sim equipamentos em geral que não admitem altos níveis de vibração, pois muitas vezes a vibração elevada compromete a integridade e segurança de equipamentos.

## 2.6 Falha

A falha na maioria dos casos é decorrente de defeitos. Defeitos são anomalias que fazem com que o equipamento não apresente condições padrões durante operações e que acabam interferindo na qualidade ou na eficiência das máquinas. A falha ocorre quando o equipamento deixa de realizar funções as quais está disposto, ou por quebra brusca ou por falta de eficiência ou qualidade.

Uma falha é qualquer enguiço num sistema ou circuito que permanece até que sejam tomadas providências corretivas. Quando um sistema arbitrário cumpre mais de uma missão independente, qualquer enguiço que interrompa a execução de uma das missões pelo sistema é considerado como uma falha, mesmo quando a outra ou outras missões continuem a ser executadas adequadamente. (NEPOMUCENO, 2014, p. 61).

A falha costuma ser evitada em todos os âmbitos, pois ações corretivas dispõem de tempo, mão de obra, peças, horas extras, parada de produção, ou seja, corresponde a custos elevados. Nepomuceno (2014) afirma que uma falha qualquer possui várias implicações, essas podem ser viabilidades econômicas, segurança, velocidade de produção e qualidade do produto final, o autor ainda descreve que dependendo do tipo de falha pode-se classificá-las em:

Falhas Permanentes: quando persiste em apresentar-se no equipamento, devido à presença de um componente danificado que influencia na execução da função da máquina, sendo corrigido com a substituição do componente danificado por um novo.

Falhas intermitentes: esta considerada como causadora de transtornos, pois se apresenta em curtos períodos de tempo, voltando ao normal sem que haja intervenção, tornando a tarefa de identificar a causa extremamente difícil.

Falhas evolutivas: este tipo de falha permite o acompanhamento da evolução do problema, permitindo evitar falhas catastróficas com a programação da intervenção;

Falhas catastróficas: estas vêm a surgir muitas vezes inesperadamente de forma abrupta, causando grandes danos e problemas, danificando até mesmo outros equipamentos.

Falhas de degradação: estas ocorrem gradativamente e parcialmente devido muitas vezes a exposição ao desgaste.

Saber distinguir quais os tipos, classificações e modos de falha, ajuda a desenvolver análise sobre as mesmas de modo a evitá-las futuramente, pois as falhas são indesejadas e quando ocorrem devem ser corrigidas de forma que não voltem a apresentar-se.

## **2.7 Análise de falha**

Quando um equipamento deixa de executar sua função corretamente ou deixa de operar, assume-se que o mesmo falhou. Perante a falha o objetivo primário geralmente é corrigir a falha de modo que o equipamento volte a realizar as atividades a qual é destinado. Porém a falha pode vir a ser recorrente, o que indica que deve ser adotado um estudo mais relevante quanto as causas da falha, analisando o caso.

Segundo Affonso (2002) o objetivo principal da análise de falha é fazer com que se evite novas falhas. As investigações devem ser aplicadas com o intuito de identificar as causas a fim de propiciar meios corretivos impedindo a reincidência do problema. Segundo o autor, defeitos que venham a surgir antes do fim da vida útil do equipamento, que comprometem a execução de atividades e funções ao qual a máquina é destinada a cumprir, são designados como falha.

A análise de falha está relacionada à manutenção preditiva, pois através dessa é possível avaliar quais as condições que se encontra o equipamento deteriorado levantado às possíveis causas que geraram o problema. O intuito da análise de falha é prover meios de se evitar que volte a ocorrer a falha, caso contrário a análise torna-se inútil, da mesma forma a análise do ocorrido precisa indicar ou evidenciar as causas para uma criação de um plano de ação que vise a identificação de causa raiz e solução do problema.

Para Nepomuceno (2014), muitas vezes ao observar nosso meio, a manutenção se restringe a prover o conserto do está danificado. Porém afirma que devemos notar a existência de outros meios além do simplesmente consertá-los, destacando que para elaborar um programa de manutenção preventiva que apresente resultados interessantes economicamente, muitas vezes é preciso recorrer a algumas definições e conceitos genéricos muitas vezes consideradas teorias, para que se crie uma filosofia que norteará as atividades do setor de

manutenção. Assim a busca pela causa através da análise de falha utiliza muitas teorias que associadas à realidade podem gerar planejamento na solução do caso.

Embora venhamos a nos preocupar em identificar somente uma causa básica, devemos considerar as várias causas que podem estar relacionadas ao problema, pois caso identificadas pode-se elaborar um plano manutenção preventivo considerando as diferentes causas segundo Affonso.

A análise de falha deve ser adequada ao tipo de problema apresentado, considerando os riscos gerados pela mesma, as perdas e entre outros fatores. Affonso (2002) afirma que em falhas não repetitivas, que não representem perdas de produção ou riscos de acidentes ou agressões ambientais, a análise deve ocorrer por pessoas encarregadas de consertar o equipamento junto ao seu supervisor, consistindo no emprego dos 5 por quê na descoberta da causa. Para falhas repetitivas, aquelas que geram perdas de produção ou que causaram risco de acidentes ou agressão ao meio ambiente, a análise deve ser realizada por um grupo onde haja, no mínimo, um especialista em manutenção do equipamento em que se apresentou a falha, um especialista de operação e um representante técnico de engenharia da fábrica. Com essas considerações, a análise de falha é meio essencial para se chegar a solução do problema ou então da causa fundamental.

## **2.8 Confiabilidade**

Durante a vida útil de um equipamento, o esperado da operação do mesmo é que desempenhe a função a qual é destinado sem haver perda de qualidade e de eficiência. A confiabilidade permite que se produza com o rendimento e qualidade esperada.

Entre as diferentes definições sobre confiabilidade, destaca-se a de Nepomuceno (2014), que afirma que “um dispositivo é considerado confiável, seja um automóvel, avião ou qualquer mecanismo, quando permanece cumprindo suas funções durante toda a vida útil estabelecida pelo projeto, independentemente de condições favoráveis ou adversas”. (NEPOMUCENO, 2014, p. 56).

Assim a confiabilidade é um dos principais objetivos da organização em si, pois todos os setores estão em função da produção e demanda, e muitas vezes o setor responsável pela confiabilidade é o setor da manutenção. Fogliato e Ribeiro (2011) afirmam também que a confiabilidade em seu sentido mais amplo se associa a operação bem sucedida de um produto

ou sistema, sem haver quebras e falhas, os mesmos tratam ainda a confiabilidade como uma probabilidade de item em desempenhar adequadamente seu propósito.

Fogliato e Ribeiro (2011) adotam como conceitos associados a confiabilidade: qualidade, disponibilidade, manutenibilidade, segurança e confiança. Quanto a qualidade se define pela apresentação dos padrões predeterminados com mínima variação dentro das especificações esperadas. Em relação a disponibilidade os mesmos trazem como capacidade de desempenhar as funções a qual o item é destinado durante período de tempo predeterminado.

A manutenibilidade é considerada a capacidade de um equipamento em manter-se em condições estabelecidas na execução de suas funções. Como segurança, abordam a ausência de condições inseguras que possam atingir a integridade de quem esteja envolvido e a confiança que se relaciona ao desempenho da confiabilidade, da manutenibilidade e do suporte técnico.

### **3 MATERIAIS E MÉTODOS**

#### **3.1 Metodologia**

Segundo Cleber Cristiano Prodanov e Ernani Cesar de Freitas (2013, p.14), “a Metodologia é a aplicação de procedimentos e técnicas que devem ser observados para construção do conhecimento, com o propósito de comprovar sua validade e utilidade nos diversos âmbitos da sociedade.” Os mesmos autores afirmam ainda:

A Metodologia é compreendida como uma disciplina que consiste em estudar, compreender e avaliar os vários métodos disponíveis para a realização de uma pesquisa acadêmica. A Metodologia, em um nível aplicado, examina, descreve e avalia métodos e técnicas de pesquisa que possibilitam a coleta e o processamento de informações, visando ao encaminhamento e à resolução de problemas e/ou questões de investigação. (PRODANOV; FREITAS, 2013, p. 14).

A metodologia de pesquisa empregada em estudos é extremamente importante, pois a mesma norteou a pesquisa para a obtenção de dados buscados, padronizando a forma de solucionar e ter acesso aos resultados. Para tanto “só se inicia uma pesquisa se existir uma pergunta, uma dúvida para a qual se quer buscar a resposta. Pesquisar, portanto, é buscar ou procurar resposta para alguma coisa”. (GERHARDT; SILVEIRA, 2009, p. 12).

Então a pesquisa se faz necessária e importante quando há dúvidas e/ou problemas a serem solucionados, assim como podemos observar a definição sobre pesquisa a seguir:

(...) Procedimento racional e sistemático que tem como objetivo proporcionar respostas aos problemas que são propostos. A pesquisa desenvolve-se por um processo constituído de várias fases, desde a formulação do problema até a apresentação e discussão dos resultados. (GIL, 2007, p. 17 apud GERHARDT; SILVEIRA, 2009, p. 12).

O caso de estudo abordado neste trabalho apresenta o problema de vibrações altas nos ventiladores, logo vem a questão: Por que o nível de vibração se eleva em determinado período?

Assim se justifica o emprego dos métodos que trouxeram respostas ao problema. O acesso a informações reais refletiu os possíveis problemas ao realizar análises de dados extraídos quanto à forma de operação, defeitos e falhas presentes. O estudo de caso foi essencial para chegar aos resultados esperados. Segundo Yin (2001), “o estudo de caso é caracterizado pelo estudo profundo e exaustivo dos fatos e objetos de investigação, permitindo um amplo e pormenorizado conhecimento da realidade e dos fenômenos pesquisados”. (YIN, 2001, apud OLIVEIRA, 2011, p. 27).

O estudo dos ventiladores pode ser designado como um caso específico, pois trata-se de um problema específico da linha de secagem de MDP da empresa Berneck (unidade Curitiba-SC), apresentando-se como um caso particular, dificilmente abordado em materiais de estudo e bibliografias, pois os equipamentos são específicos para o tipo de operação (secagem de partículas de madeira para fabricação de MDP) e apresentam diferentes configurações em cada empresa existente do setor.

O estudo de campo em relação aos ventiladores se baseou na coleta de informações e tabulação de dados do comportamento dos equipamentos durante a operação que designaram os problemas principais identificados. Também permitiu coletas de informações quanto a paradas para manutenção como os custos, perdas de produção e entre outras informações que possibilitaram consultas bibliográficas de maneira a gerar hipóteses, comparações e sugestões de possíveis ações corretivas perante os sintomas problemáticos existentes.

Consequentemente tornou-se necessário uma revisão bibliográfica, pois através da mesma geraram-se argumentos, embasamento científicos e teóricos em torno dos dados obtidos através do estudo de caso.

A pesquisa bibliográfica é feita a partir do levantamento de referências teóricas já analisadas, e publicadas por meios escritos e eletrônicos, como livros, artigos científicos, páginas de web sites. Qualquer trabalho científico inicia-se com uma pesquisa bibliográfica, que permite ao pesquisador conhecer o que já se estudou sobre o assunto. Existem, porém, pesquisas científicas que se baseiam unicamente na pesquisa bibliográfica, procurando referências teóricas publicadas com o objetivo de recolher informações ou conhecimentos prévios sobre o problema a respeito do qual se procura a resposta (FONSECA, 2002, p. 32, apud GERHARDT; SILVEIRA, 2009, p. 37).

Para construir um embasamento teórico foi necessário que obras de conhecedores e especialistas a respeito do assunto fossem estudadas e explícitas, de maneira a gerar argumentos reais e confiáveis, para justificar as teorias, as hipóteses e afirmações. Portanto a revisão bibliográfica permitiu:

Expor resumidamente as principais ideias já discutidas por outros autores que trataram do problema, levantando críticas e dúvidas, quando for o caso. Explicar no que seu trabalho vai se diferenciar dos trabalhos já produzidos sobre o problema a ser trabalhado e/ou no que vai contribuir para seu conhecimento. Quanto ao quadro teórico, o erro mais frequente é formulá-lo de forma genérica ou abstrata demais, quando o que interessa é que ele seja adequado ao recorte temático a ser investigado; quanto à formulação das hipóteses ou das questões, não basta enunciá-las no projeto, é preciso também justificá-las uma a uma em texto argumentativo. (GERHARDT; SILVEIRA, 2009, p. 66).

Para coletar dados dos ventiladores de secagem e da linha também foi utilizado a pesquisa de campo, para adquirir informações de equipamentos, softwares e de pessoas que são responsáveis pela operação e manutenção das máquinas.

A pesquisa de campo caracteriza-se pelas investigações em que, além da pesquisa bibliográfica e/ou documental, se realiza coleta de dados junto a pessoas, com o recurso de diferentes tipos de pesquisa (pesquisa ex-post-facto, pesquisa-ação, pesquisa participante, etc.) (FONSECA, 2002, apud GERHARDT; SILVEIRA, 2009, p. 37).

No estudo de caso, um dos meios de coleta de dados empregado foi o diário de campo ou notas de campo. Pois essa forma de anotação de dados permitiu o arquivamento de diferentes informações sobre o caso estudado através de descrições de pessoas, arquivos físicos e digitais, acontecimentos e observações.

Segundo Falkembach (1987), o diário de campo é um instrumento de anotações, um caderno com espaço suficiente para anotações, comentários e reflexão, para uso individual do investigador em seu dia a dia. Nele se anotam todas as observações de fatos concretos, fenômenos sociais, acontecimentos, relações verificadas, experiências pessoais do investigador, suas reflexões e

comentários. Ele facilita criar o hábito de escrever e observar com atenção, descrever com precisão e refletir sobre os acontecimentos. (GERHARDT; SILVEIRA, 2009, p. 76).

A entrevista informal foi importante para ter acesso a procedimentos e informações que não estão registradas. As entrevistas ocorreram através de diálogos com técnicos responsáveis pela operação e manutenção da linha de secagem. Para Francisco e Feres, “a entrevista é uma das técnicas mais utilizadas, atualmente, em trabalhos científicos. Ela permite ao pesquisador extrair uma quantidade muito grande de dados e informações que possibilitam um trabalho bastante rico”. (FRANCISCO; FERES, 2011, p. 237).

O Brainstorming foi utilizado para gerar ideias de como realizar as pesquisas, quais informações buscar e ações a serem consideradas para o estudo. A citação a seguir define o método Brainstorming:

É uma ferramenta recente para a concepção de liberação da imaginação, cuja tradução ao pé da letra seria tempestade cerebral. Criada pelo diretor de um banco comercial, colaborador de várias revistas e sócio de uma agência de publicidade, Alex Osborn, foi aplicada pela primeira vez em 1938, e em 1950 foi adotada em universidades americanas, em cursos de exatas, humanas e biomédicas... (SANTO, s.d., p. 1).

Na busca de resultados, ferramentas como o diagrama de Ishikawa foram empregadas. O diagrama de Ishikawa também conhecido por diagrama de causa e efeito ou então espinha de peixe ajudou a identificar as causas principais de problemas, levantando todas as possibilidades que possam ser responsáveis pelas anomalias. Segundo Werkema (2006), o diagrama de Causa e Efeito é uma ferramenta utilizada para apresentar a relação existente entre um resultado de um processo (efeito) e os fatores (causas) do processo que, por razões técnicas, possam afetar o resultado considerado. (WERKEMA apud ANTUNES, 2010, p. 36).

O método dos cinco por quês consiste na argumentação quanto ao problema ou assunto abordado na busca de descobrir a causa raiz. É um método utilizado nos sistemas de produção Toyota. “Através da abordagem dos cinco por quês é possível investigar mais a fundo o problema para que ao encontrar a sua raiz este possa ser corrigido”. (CABRAL, 2014, p. 52). A utilização dos cinco por quês neste trabalho auxiliou na identificação das causas raízes.

Como a circulação de partículas de resíduos do processo de secagem decorre de processos anteriores, causa impregnação de material nos dutos e nos rotores, apresentando vibração, cabe abranger como meio de pesquisa a Análise de Causa Raiz (ACR):

Diferentemente de abordar apenas as causas que contribuíram para o problema ocorrer ou para o agravamento de seus impactos, a análise de causa raiz objetiva descobrir a causa fundamental do problema, ou seja, a sua causa raiz, caracterizada como aquela causa que se não tivesse ocorrido, o problema não existiria. Somente eliminando-a através de ações corretivas, este não voltará mais a ocorrer e, conseqüentemente, será definitivamente resolvido. (AGUIAR, 2014, p. 39)

Com esses métodos, chegou-se a resultados que proporcionou a identificação das causas raízes do problema de vibração das máquinas estudadas, o que permitiu a elaboração de sugestões de ações corretivas aos problemas apresentados até então nos ventiladores de circulação de ar da linha de secagem de partículas MDP. Assim para sugerir melhorias foi proposto um plano de ações futuras.

**Tabela 1- Métodos empregados no trabalho.**

	<b>MÉTODOS UTILIZADOS</b>	<b>INÍCIO</b>	<b>CONCLUSÃO</b>
1	Estudo de caso	fev/18	-----
2	Pesquisa de campo	mar/18	nov/18
3	Revisões bibliográficas	fev/18	nov/18
4	Diário de campo	jun/18	nov/18
5	Entrevista Informal	fev/18	nov/18
6	Brainstorming	jul/18	out/18
7	Diagrama de Ishikawa	out/18	nov/18
8	5 por quês	out/18	nov/18
9	Análise de Causa Raiz (ACR)	mai/18	nov/18

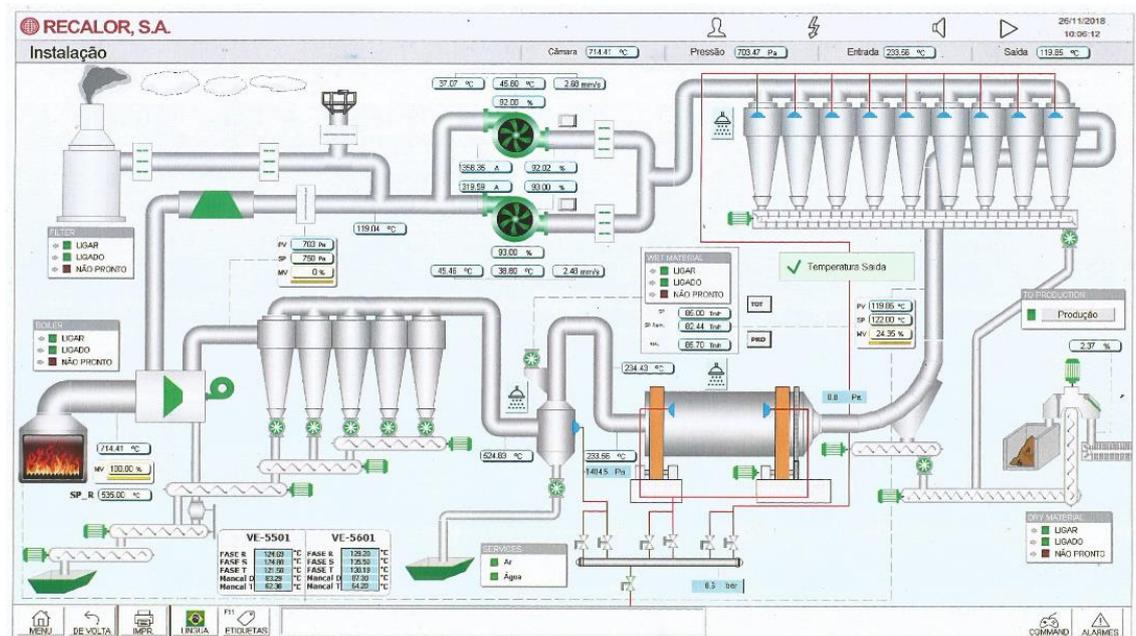
Fonte: Autor.

### 3.2 Materiais

Para o desenvolvimento deste estudo de caso foram empregados diferentes tipos de materiais. A finalidade da utilização destes materiais foi de prover meios de adquirir dados, informações, e aplicações de métodos empíricos na construção de argumentos e resultados presentes neste. Foram utilizados desde simples materiais como cadernetas de anotação a um complexo sistema de monitoramento.

Um dos materiais principais utilizados foi o sistema de monitoramento de operação da linha de secagem Recalor. Esse sistema foi muito importante na identificação dos problemas dos ventiladores. Através deste foi possível ter acesso a gráficos de temperaturas, vibrações e parâmetros referentes aos ventiladores radiais, possibilitando também acesso ao histórico de falhas por meios gráficos. A imagem a seguir demonstra a tela principal do sistema.

**Figura 5- Tela de Monitoramento Recalor**



Fonte: Sistema supervisório de operação linha de secagem MDP Berneck.

Além do sistema de monitoramento, também foi usado o manual de instalação e operação da linha de secagem Recalor. O manual contém informações quanto a capacidade de secagem da linha, valores de operação, layouts dos equipamentos e vistas detalhadas, o que auxiliou na verificação de dados referentes ao projeto.

Quanto à operação do secador de partículas MDP, existe um relatório diário a manuscrito, nos quais estão anotadas informações de como ocorreu a operação no turno e quais ações foram realizadas. Este relatório permitiu acessar o histórico de paradas dos ventiladores.

Em entrevistas informais e anotações de informações em campo o diário de campo foi empregado. O diário de campo auxiliou na obtenção de dados não registrados ou tabulados.

Na coleta de vibrações para análise, foi utilizado um coletor portátil de vibração da marca Oneprod, por meio deste aparelho foi possível coletar dados de vibrações e temperaturas dos motores e dos mancais dos ventiladores. Com a análise dos gráficos

espectrométricos gerados no coletor foi identificado causas de defeitos e falhas, assim como o desbalanceamento. O modelo do aparelho segue abaixo para conhecimento.

**Figura 6 - Coletor de Vibração.**



Fonte: Departamentos>PCM-MDP> Manutenção Preditiva>/Berneck.

Os ventiladores foram analisados também por empresas terceiras. Os testes realizados foram o de MCA (Motor Circuit Analysis) e Análise de vibração. Estes laudos serviram de apoio a conclusões e resultados do estudo de caso. Outro laudo de análise de falha foi utilizado, porém este refere-se a um material interno da empresa não possuindo embasamento teórico.

Para o embasamento teórico das afirmações e assuntos defendidos neste estudo de caso foi empregado o uso de materiais didáticos como livros, artigos, e entre outros. O sistema TOTVS, o qual a empresa utiliza atualmente para controle de estoque, registros de movimentações e entre outros, foi usado na consulta de custos de manutenção dos ventiladores.

No levantamento dos custos gerais referentes áreas e setores da empresa, planilhas em Excel com orçamentos foram utilizadas. O próprio Excel foi empregado na criação de planilhas e gráficos para demonstração de resultados. Adiante uma tabela com os materiais utilizados citados acima.

**Tabela 2- Materiais Utilizados na Construção do Estudo de Caso.**

<b>MATERIAL UTILIZADO</b>		<b>Interno/ Externo</b>
1	Sistema de monitoramento Recalor	Interno
2	Manual da linha de secagem Recalor	Interno
3	Relatório diário de operação	Interno
4	Diário de campo	Interno
5	Coletor de vibrações e temperatura marca Oneprod	Interno
6	Teste MCA e laudo de análise de vibrações	Externo
7	Laudo análise de falha	Interno
8	Livros e artigos sobre manutenção preditiva	Externo
9	Sistema TOTVS	Interno
10	Excel	Externo

Fonte: Autor.

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÕES**

### **4.1 Descrição do Problema**

Os ventiladores identificados por códigos TAG's (105.24.VE.5501 e 105.24.VE.5601) pertencentes a linha de produção MDP (Medium Density Particleboard) da Empresa Berneck S.A Painéis e Serrados, localizada na BR-470, KM 244, Área Industrial, Curitiba - SC, são totalmente responsáveis pela circulação e recirculação de ar quente proveniente de uma central térmica. A geração de energia na central térmica ocorre através da queima de biomassa, a qual é adquirida por meio de descartes de processos internos de produção e, por meio de fornecedores externos (terceiros). A circulação de ar quente proporciona o transporte e a secagem das partículas de madeira que formam o MDP.

Estes ventiladores são equipamentos de grande importância para a linha em geral, pois a criticidade dos mesmos para fins produtivos é extremamente elevada. No entanto há alguns sintomas não desejados que se fazem presentes nos mesmos, estes são:

- Vibrações Altas;
- Aquecimento de mancais (inclusive os mancais dos motores);
- Falhas prematuras de peças dos equipamentos;

- Paradas imprevistas (Reflexos negativos na produção).

Estes sintomas foram identificados através de monitoramento em tempo real. A linha de secagem é operada através de painéis de controle, onde informações da operação são dispostas em monitores. Nos ventiladores do caso em estudo há sensores de temperatura e de vibração nos mancais, quando a vibração chega a 8 mm/s é gerado alarmes e, em 10 mm/s os ventiladores são desligados automaticamente, quanto a temperatura dos mancais, em 90°C a operação é interrompida. Os rolamentos do motor e dos mancais são monitorados coletando os dados em área por meio de um coletor de vibrações, ocorrendo a análise espectrométrica através do software específico correspondente ao aparelho.

A causa direta da vibração que é o problema principal citado acima, geralmente é desbalanceamento devido ao acúmulo de partículas nas pás do rotor e nos dutos de circulação. Essas partículas são madeira, resinas, cinzas e entre outros resíduos. Assim se faz em média, uma intervenção mensal nos ventiladores para limpeza através de hidrojateamento, pois as vibrações costumam apresentar níveis mais altos em períodos mensais. Apesar de haver planejamento para intervenções programadas, inconvenientes falhas bruscas também ocorrem. Estes problemas refletem negativamente na eficiência da linha.

A seguir, nos próximos tópicos, estão os resultados do estudo de caso. Estes resultados são meios usados para comprovar e prover fundamentação as conclusões construídas sobre o problema presente neste estudo.

## **4.2 Brainstorming**

A partir do momento em que foi criado o tema deste trabalho, as atenções se voltaram para o desenvolvimento de meios de investigação sobre o assunto em buscas de informações que viessem a gerar os resultados. Para a obtenção de dados que permitiu a fundamentação dos resultados, um dos meios empregados foi a entrevista informal. Muitas vezes a entrevista informal se iniciou em diálogos cotidianos, por meio da interatividade com pessoas responsáveis por processos de produção e pela manutenção dos ventiladores. As informações foram registradas em um diário de campo. Com isso, formou-se ideias próprias, ideias sugeridas por entrevistados e, entre essas as que se apresentaram mais apropriadas para o estudo de caso, eis então o surgimento do brainstorming.

O brainstorming se trata de uma técnica desenvolvida geralmente em grupo. A técnica é utilizada como método para o levantamento de ideias para a resolução de assuntos

específicos. Foi criado por volta de 1953, mais conhecido no Brasil como “tempestade de ideias”. Abaixo se encontra lista de ideias.

**Tabela 3- Brainstorming.**

<b>IDEIAS FORMADAS</b>	<b>IDEIAS CONSIDERADAS</b>
APLICAR (MASPs)	APLICAR (MASPs)
TEFLONAR ROTOR E VOLUTA	LISTAR DATAS E PICOS DE VIBRAÇÃO
LISTAR DATAS E PICOS DE VIBRAÇÃO	COLETAR E TABULAR VIBRAÇÕES E TEMPERATURAS
COLOCAR FILTRO MANGA	LISTAR PROCEDIMENTOS PADRÕES DE OPERAÇÃO
ROTOR COM PÁS RETAS	PESQUISAR QUAL MODELO DO ROTOR
COLETAR E TABULAR VIBRAÇÕES E TEMPERATURAS	TESTE MCA MOTORES ELÉTRICOS
LISTAR PROCEDIMENTOS PADRÕES DE OPERAÇÃO	MEDIR VIBRAÇÃO MOTOR DESACOPLADO
PESQUISAR QUAL MODELO DO ROTOR	PESQUISAR CAPACIDADE NOMINAL DO SECADOR
FAZER FURO DE 3MM NAS PÁS DO ROTOR	CALCULAR CONFIABILIDADE DOS VENTILADORES
TESTE MCA MOTORES ELÉTRICOS	NÍVEL DE TRABALHO DOS MOTORES E EFICIÊNCIA DOS VENTILADORES
MEDIR VIBRAÇÃO MOTOR DESACOPLADO	MATERIAIS QUE COMPÕEM OS RESÍDUOS IMPREGNADOS NOS DUTOS E ROTORES
PESQUISAR CAPACIDADE NOMINAL DO SECADOR	PARTE DO PROCESSO PERMITE A CIRCULAÇÃO DE RESÍDUOS
SISTEMA AUTO LIMPANTE DE ROTOR	BUSCAR VARIÁVEIS DESCONHECIDAS QUE GERAM VIBRAÇÕES (TIPO DE TRANSMISSÃO DE FORÇA, ALINHAMENTO, BASE DO EQUIPAMENTO, FLUXO E DINÂMICA NO INTERIOR DOS DUTOS, ÂNGULO DAS PÁS DOS ROTORES)
MUDAR DE LUGAR VENTILADORES	CUSTOS DE MANUTENÇÃO, PRODUÇÃO E LIMPEZA
CALCULAR CONFIABILIDADE DOS VENTILADORES	DIAGRAMA DE ISHIKAWA
MUDAR DE LUGAR FILTRO WESP	5 PORQUES (5-WHY)
AUMENTAR NÚMERO DE FILTROS CICLONES	PLANO DE AÇÃO
NÍVEL DE TRABALHO DOS MOTORES E EFICIÊNCIA DOS VENTILADORES	
MATERIAIS QUE COMPÕEM OS RESÍDUOS IMPREGNADOS NOS DUTOS E ROTORES	
PARTE DO PROCESSO PERMITE A CIRCULAÇÃO DE RESÍDUOS	
BUSCAR VARIÁVEIS DESCONHECIDAS QUE GERAM VIBRAÇÕES (TIPO DE TRANSMISSÃO DE FORÇA, ALINHAMENTO, BASE DO EQUIPAMENTO, FLUXO E DINÂMICA NO INTERIOR DOS DUTOS, ÂNGULO DAS PÁS DOS ROTORES)	
CUSTOS DE MANUTENÇÃO, PRODUÇÃO E LIMPEZA	
DIAGRAMA DE ISHIKAWA	
5 PORQUES (5-WHY)	
PLANO DE AÇÃO	

Fonte: Autor.

### 4.3 Cinco por quês

Em muitas ocasiões ocorrem defeitos e falhas, logo a primeira preocupação se volta para consertar a máquina ou equipamento para que volte a realizar as funções a qual é destinado. Com isso, e determinados casos o equipamento funciona por determinado período e apresenta a mesma falha, ou seja, o problema pode estar sendo consequência de outra causa,

designada como fundamental ou causa raiz, sendo que a correção da causa raiz muitas vezes é permanente extingue o problema sintoma.

Corrigir a causa raiz é o ponto chave em muitos problemas, porém um dos desafios é a identificação da mesma. A aplicação de métodos e técnicas desenvolvidas por conhecedores do assunto pode auxiliar na identificação das principais causas, assim como os cinco porquês. Segundo Affonso (2002, p.15), o método foi criado na década de 1950 pela Toyota e, consiste em questionar qual é a causa do problema por cinco ou seis vezes, surgindo assim a causa básica nos últimos questionamentos.

Por meio desta técnica procurei identificar a causa raiz do problema de vibração alta dos ventiladores, como se encontra abaixo:

**Tabela 4- Cinco Por quês**

	<b>Pergunta 1</b>	<b>Pergunta 2</b>	<b>Pergunta 3</b>	<b>Pergunta 4</b>	<b>Pergunta 5</b>	<b>Pergunta 6</b>	<b>Causa Raiz</b>
Por quê?	Por que aumenta a vibração?	Por que ocorre desbalanceamento ?	Por que existe massa excêntrica no rotor?	Por que impregna resíduos do processo?	Por que existe a circulação de resíduos?	Por que os filtros ciclones não estão retendo?	Filtros ciclones
Resposta	Porque ocorre desbalanceamento.	Porque existe massa excêntrica no rotor	Porque impregna resíduos do processo	Porque existe a circulação de resíduos	Porque os filtros ciclones não estão retendo	Porque o projeto admite 1% de ineficiência	

Fonte: Autor.

Através da técnica, a eficiência dos filtros ciclones se apresentou como a causa raiz, no entanto trata-se de uma situação prevista em projeto. A solução relacionada aos filtros ciclones requer alterações drásticas de projeto na linha de secagem, o que implica em revisão de projeto atual, elaboração de outro projeto com as alterações cabíveis, e custos extremamente elevados, o que inviabiliza de primeiro plano focar somente nos filtros ciclones.

Devido à inviabilidade de alterações nos filtros ciclones, coube analisar quais outras variáveis estão ligadas ao problema, a fim de buscar possíveis melhorias. Com isso a associação de causas ao material, aos ventiladores, a procedimentos padrões foi interesse de estudo neste trabalho, pois melhorias para reduzir ou evitar a impregnação dos resíduos se demonstram mais viáveis em relação a custos e ao porte de alteração.

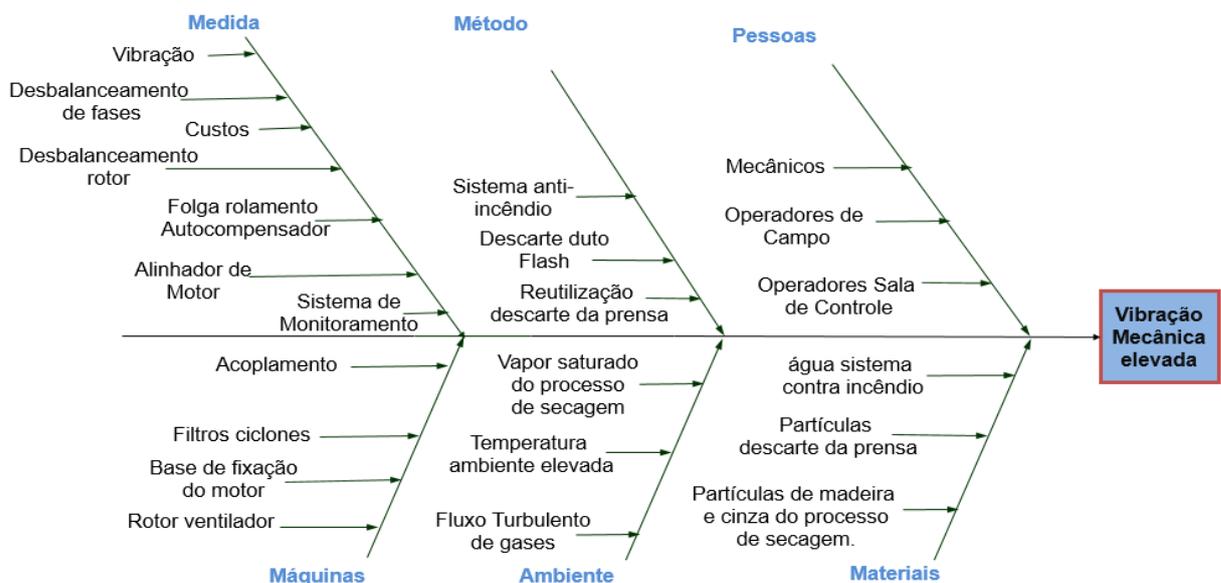
#### 4.4 Diagrama de Ishikawa

A partir do desenvolvimento do brainstorming, formaram-se as ideias principais referente ao alto nível de vibração dos ventiladores. No entanto foi necessário empregar outras ferramentas na busca da identificação das causas do problema. Com as ideias formadas se gerou um roteiro de estudos e de pesquisas, o qual permitiu a elaboração de um indicador das possíveis causas relacionadas ao caso de estudo, o diagrama de Ishikawa.

Segundo Anthunes (2010, p. 36), o diagrama permite a organização das informações o que possibilita a identificação das possíveis causas. Ainda menciona que o método auxilia na identificação de causas fundamentais.

A seguir se encontra o diagrama de Ishikawa com as possíveis causas do problema de vibração do estudo de caso.

**Figura 7- Possíveis Causas de Vibração**



Fonte: Autor.

Para uma visualização mais clara das possíveis causas levantadas com a aplicação do diagrama de Ishikawa:

**Tabela 5- Tópicos Ishikawa**

Medida	Método	Pessoas	Máquinas	Ambiente	Materiais
Vibração	Sistema anti-incêndio	Mecânicos	Acoplamento	Fluxo Turbulento de gases	Partículas de madeira e cinza processo de secagem
Desbalanceamento de fases	Descarte duto Flash	Operadores de campo	Filtros ciclones	Temperatura ambiente elevada	Partículas descarte da prensa
Custos	Reutilização descarte da prensa	Operadores Sala de controle	Base de fixação do motor	Vapor saturado processo de secagem	água sistema contra incêndio
Desbalanceamento rotor			Rotor ventilador		
Folga rolamento autocompensador					
Alinhador de Motor					
Sistema de Monitoramento					

Fonte: Autor.

A coluna da medida compreende quais meios de medidas, de medições, e dimensões que podem estar causando o problema. Já a coluna método traz as possíveis causas relacionadas a métodos empregados na linha de secagem. Quanto a abordagem de pessoas, estão as quais que podem agravar ou melhorar a situação do caso. Na abordagem sobre a máquina estão quais máquinas e equipamentos estão ligados a causa do problema. O ambiente se refere as condições de trabalho relacionadas a temperatura, umidade, e fluxo de ar presentes no sistema. Os materiais presentes no processo de secagem também se apresentam como possíveis e fortes candidatos na causa da vibração.

#### 4.5 Plano de Ação

Com a identificação das possíveis causas da vibração, foi necessário indicar quais ações já foram tomadas e quais ainda são possíveis de se realizar em busca de conhecimento e solução para o caso. Para indicar as ações cabíveis o método utilizado foi o 5W1H. Esse

método se assemelha bastante com o 5 por quês, no entanto traz as seguintes questões: O quê? Por Quê? Como? Onde? Quem? Quando?

Com esse método é possível apresentar as ações de uma forma mais simples e fácil compreensão, assim como disposto no plano de ação abaixo.

**Tabela 6- Plano de ação**

		O quê?	Por quê?	Como?	Onde?	Quem?	Quando?
<b>MEDIDA</b>	<b>Vibração</b>	Coletar dados e gráficos de vibrações	Para analisar agentes que causam a mesma	Coletar em campo com coletor. Acessar o histórico.	Sistema de Monitoramento Recalor e Software Oneprod (do coletor).	Orli	10-mai-18
		Providenciar análise por uma empresa terceira.	Obter um parecer externo de empresas qualificadas no assunto	Contratar a análise de uma empresa externa	Estado SC	RPM SUL	30-ago-17
		Desenvolver análise de falhas	Para identificar as causas das falhas	Gerar relatório sobre o equipamento em falha sob análise de técnicos da área.	Parque industrial (máquinas)	Mecânicos e Técnicos de área	1-mai-18
	<b>Alinhador de Motor</b>	Realizar Alinhamento	Para evitar excentricidade de conjunto motor, acoplamento	Com alinhador a laser.	No equipamento	Analista e Especialista de manutenção preditiva	Quando se realizar manutenção o conjunto motor, eixos, acoplamento
	<b>Desbalanceamento rotor</b>	Coletar gráficos vibração	Verificar a existência e causa do efeito	Analisar Gráficos de vibração	Sistema monitoramento Recalor	Orli	A partir de jun/2018
<b>ODS (Operating Deflection Shape)</b>	Realizar teste de vibração	Para identificar causas	Aplicar o teste ODS (Operating Deflection Shape)	Ventiladores	Empresa terceira	Próximo semestre ou ano.	

	<b>Folga rolamento autocompensador</b>	Verificar folga de rolamento	Evitar desalinhamento e vibração	Calibre de folga	Eixo do rotor	Mecânicos	Montagem de rolamento e inspeção de máquina.
	<b>Sistema de Monitoramento e Operação</b>	Inspeção de sensores	Evitar leituras incorretas	Inspeção de circuitos e qualidade de leitura	Sensores em campo	Eletricistas	Mensalmente
		Verificar padrões e valores de operação	Checar valores de produção e alarmes de falha	Analisar parâmetros do sistema e do manual de linha	Sala de controle	Orli	A partir de mar/2018
	<b>Desbalanceamento de fases</b>	Fazer teste de MCA	Verificar o nível de balanceamento	Contratar empresa especializada	Motores elétricos	Siemens	jan/18
	<b>Custos</b>	Levantar custos com manutenção	Para conhecer a proporção de gastos	Buscar dados em relatórios de movimento de custos	Sistema TOTVS	Orli	out/18
<b>MÉTODO</b>	<b>Sistema anti-incêndio</b>	Analisar se é possível acionar somente em casos de incêndio	Para evitar a projeção de água toda vez quando se para a linha	Revisar o sistema contra incêndio	Sistema Greecon	Encarregado Produção e operadores	Próximo semestre
	<b>Descarte duto Flash</b>	Não deixar entupir	Porque sobrecarrega a linha de material gerando falha e Greecon	Trocar caçambas de descarte cheias	Válvula rotativa	Operadores de campo	Diariamente
	<b>Reutilização descarte da prensa</b>	Reduzir ou cessar o reaproveitamento	Evitar circulação de resinas e químicos na secagem	Encaminhar material para biomassa ou reduzir a dosagem	Prensa	Operadores sala de controle	Próximo ano
<b>PESSOAS</b>	<b>Mecânicos</b>	Inspeccionar partes móveis	Evitar peças frouxas, desalinhadas, ruídos anormais entre outros	Verificar aperto de parafusos, nível de lubrificação, peças danificadas	Linha de secagem e ventiladores	Manutenção	Semanal

	<b>Operadores de campo</b>	Cuidar da caçamba duto flash	Evitar entupimento	Trocar caçambas de descarte cheias, não deixar material acumular até a saída da válvula rotativa	Duto Flash	Operadores de campo	Diariamente
	<b>Operadores Sala de controle</b>	Estar atento aos níveis de operação	Identificar alarmes e identificar avisos de falha	Visualização do sistema de controle	Sala de controle	Operadores sala de controle	Diariamente
<b>MÁQUINA</b>	<b>Acoplamento</b>	Revisar aperto e Folga	Evitar folgas e parafusos frouxos	Inspeção	Eixo motor e rotor	Mecânico	Trimestral
	<b>Motor Elétrico</b>	Estudar a viabilidade de base sólida	Base metálica oca	Desenvolver projeto	Externo	Empresa terceira de Projetos	Próximo ano
	<b>Filtros ciclones</b>	Verificar eficiência	Saber o quanto de resíduo circula nos dutos	Calcular segundo porcentagens do manual da linha	Manual de instalação e operação	Orli	nov/18
	<b>Rotor ventilador</b>	Instalar rotor inox com maior ângulo das pás	Evitar corrosão, aumentar pressão de ataque das pás	Projeto rotor inox	Ventilador 01	Manutenção (Fabricação rotor - Recalor)	ago/18
		Verniz antiaderente	Evitar impregnação de resíduos de secagem	Contratar empresa especializada	Ventilador 01	ATW Brasil	ago/18
<b>AMBIENTE</b>	<b>Fluxo Turbulento de gases</b>	Analisar a existência	Verificar relação com a vibração	Contratar análise	Ventilador 01 e 02	RPM SUL	01/ago
	<b>Temperatura ambiente elevada</b>	Diminuir incidência do sol nos mancais	Diminuir a temperatura	Evitar mancais com pintura em preto.	Ventilador 01 e 02	Manutenção	01/out
	<b>Vapor saturado processo de secagem</b>	Analisar se condensa nos ventiladores	Porque com a umidade pode grudar material	Estudar o tipo de vapor e como se comporta	Dutos do sistema de secagem	Manutenção e gerência	Próximo ano

<b>MATERIAIS</b>	<b>Partículas de madeira e cinza processo de secagem</b>	Reter 100%	Evitar circulação de partículas nos ventiladores	Instalar duto vertical para decantação de sólidos	Linha de secagem	Projetos	Próximos 2 anos
	<b>Partículas descarte da prensa</b>	Verificar quais materiais compõem	Relacionar com material impregnado no rotor	Relaciona os químicos do material descartado por meio do sistema, com uma análise de material do rotor	Ventilador 01 e 02	Manutenção e setor de qualidade	Próximo ano
	<b>Água sistema contra incêndio</b>	Verificar qual é a influência.	Para saber se agrava a impregnação	Analisar vibração antes e depois de paradas	Ventilador 01 e 02	Manutenção e setor de qualidade	Próximo semestre

Fonte: Autor.

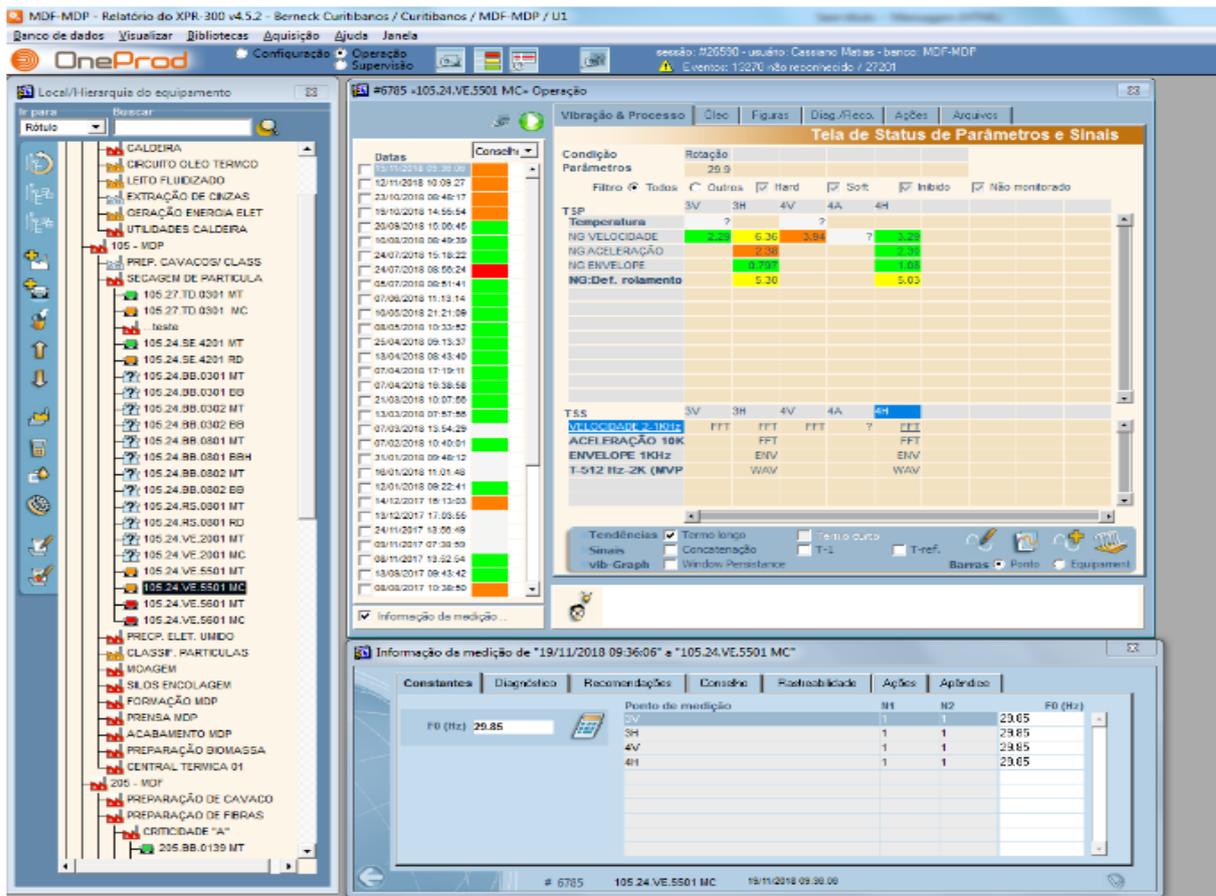
Com este plano de ação, foi possível desenvolver pesquisas na busca de comprovação de ideias levantadas e também a realização de ações na busca de melhorias para o problema, levando em consideração todas as ações cabíveis identificadas. Adiante, no desenvolvimento do estudo está disposto alguns resultados obtidos, de forma a construir uma fundamentação embasada no estudo frente a dados empíricos.

#### 4.6 Vibração E Desbalanceamento

Para desenvolver os estudos deste trabalho, muitos dados foram coletados e analisados e, entre estes as vibrações do equipamento. Na parte da coleta de vibrações tive participação importante, no entanto a análise ficou submetida ao especialista de manutenção preditiva da manutenção. As vibrações foram coletadas por um aparelho do mesmo modelo do aparelho da figura 2. As análises de vibrações foram importantes para evidenciar a e comprovar a existência do problema.

Na imagem abaixo está a página inicial do software do coletor marca Oneprod, nesse programa é possível gerar espectros de desbalanceamento, aceleração, velocidade e entre outros relacionados.

Figura 8- Soft Análise de Vibrações

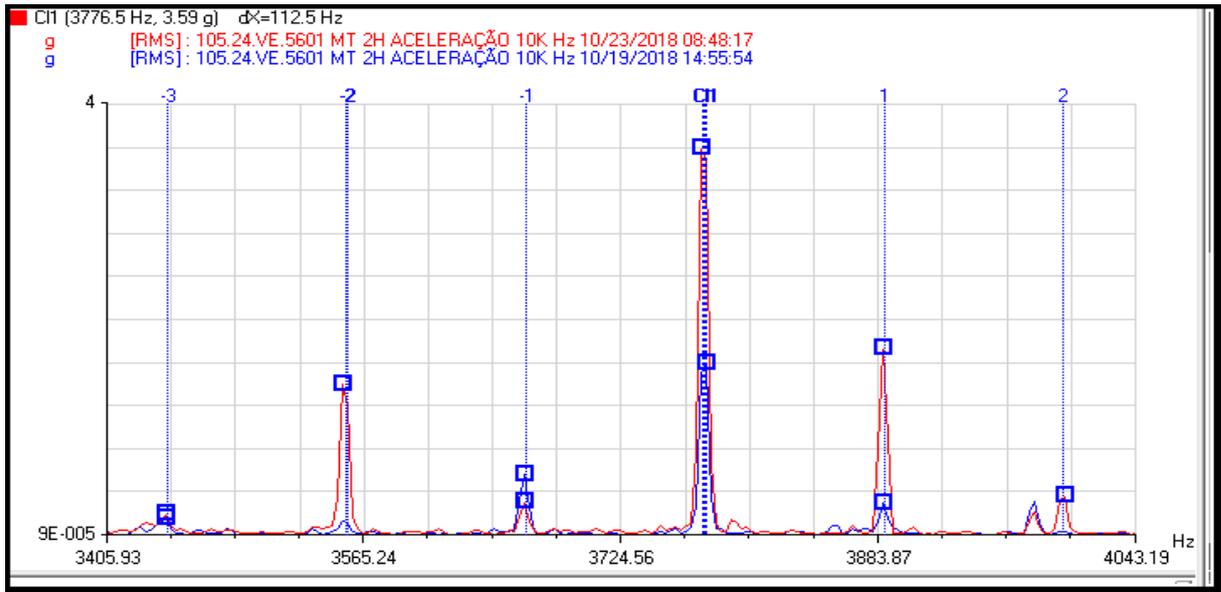


Fonte: Departamentos>PCM-MDP> Manutenção Preditiva>/Berneck.

Durante as atividades diárias de coletas de vibrações, no dia 23 (Terça feira) de outubro deste ano, verifiquei que a vibração do ventilador 02 (5601), estava elevada, em 6.9 RMS quase em nível de alarme, e no dia 19 (Segunda feira), quatro dias antes estava com 3.2 RMS. Recorri ao analista de vibrações e o mesmo me passou o seguinte parecer sobre a coleta:

- Chaveamento de inversor, variação de processo e operação diante o gráfico de aceleração da figura 5, as seguir:

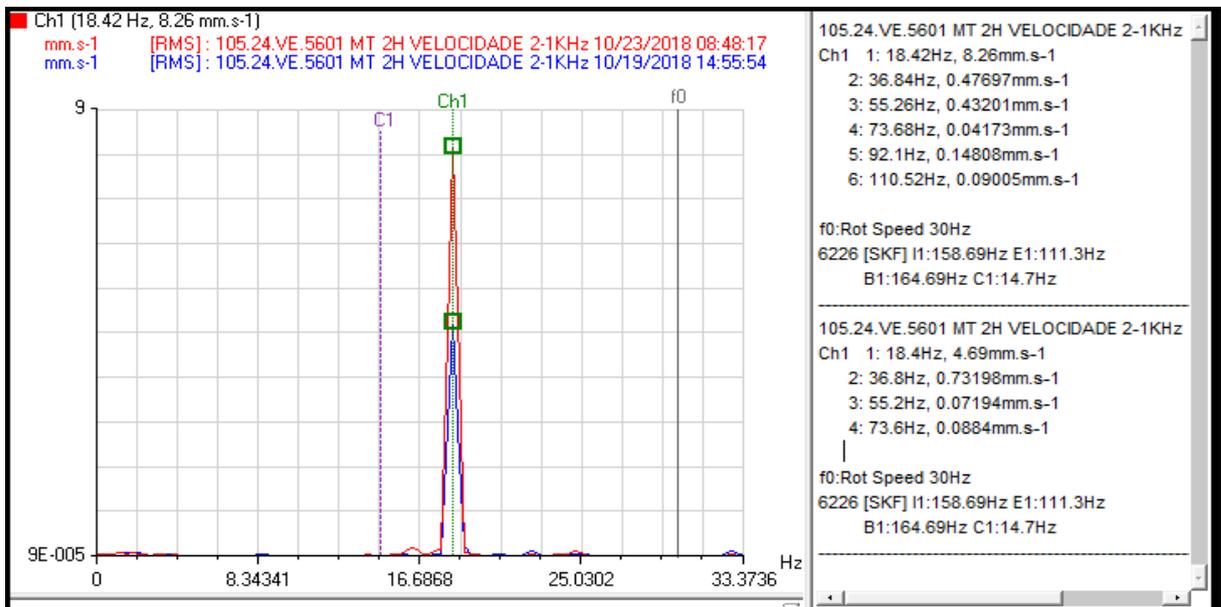
**Figura 5- Espectro Velocidade 01**



Fonte: Departamentos>PCM-MDP> Manutenção Preditiva>Software/Berneck.

- Índice de desbalanceamento do rotor, provavelmente resíduo de secagem no rotor por meio do gráfico de velocidade, figura 6:

**Figura 6- Espectro Velocidade 02**



Fonte: Departamentos>PCM-MDP> Manutenção Preditiva>Software/Berneck.

No mesmo dia em que ocorreu o fato, a vibração diminuiu para 3.8 RMS, o que demonstra a ligação da vibração com alguma variação de processo de secagem e variação de rede.

Quanto às vibrações registradas pelo sistema de monitoramento em tempo real, figura 1, a coleta ocorreu utilizando-se o relatório de operação disponível na sala de controle, para coleta de datas em que ocorreram paradas devido a vibração e temperatura elevada dos mancais. As datas e descrição dos eventos estão abaixo:

**Tabela 7- Relatório de paradas segundo a produção**

<b>Data</b>	<b>Descrição</b>
12/04/2018	Parada para hidrojatear ventilador 5601 (vibração alta. Parado 10:42 h e partido 14:52
08/05/2018	Desintegração explosão do rotor. Parou 18:30 e startou em 10/05/2018
26/06/2018	Parada para hidrojatear. Parou as 14:50 e startou 18:16 h
25/07/2018	Parada programada da linha. Feito limpeza a hidrojato nos ventiladores
28/08/2018	Parada anual iniciou 22:20 h e terminou dia 30 às 11:37 h. Foi hidrojateado os ventiladores neste período
19/09/2018	Parou por vibração alta. 11:45 h começou a limpeza VE.5501, às 13:06 foi startado
20/09/2018	Temperatura alta mancal 02 VE 5601
23/09/2018	Vibração alta, 7,8 mm/s as 14:30 h
27/09/2018	Temperatura alta mancal 02 VE 5601 85° C

Fonte: Autor.

Após ter listado as datas, com auxílio do operador da sala de controle foi acessado alguns gráficos referentes às datas. Nos gráficos de vibração foi possível comprovar que na maioria das falhas devido à vibração elevada, a causa foi o desbalanceamento, comparando o antes e o depois. Podemos observar a ocorrência nos gráficos a seguir.

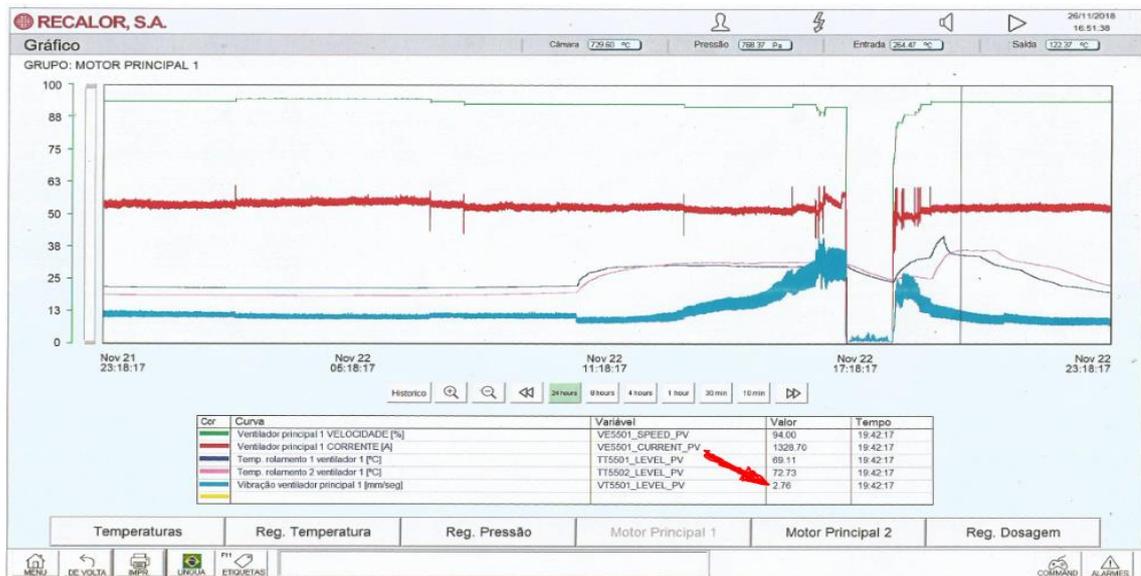
**Figura 7- Sistema de Controle e monitoramento Recalor 01**



Fonte: Sistema supervisório de operação linha de secagem MDP Berneck.

Podemos observar o pico da vibração no gráfico, onde a vibração estava se elevando conforme o valor destacado em vermelho, 8,28mm/s. quando se chegou em 9mm/s o sistema interrompeu o fornecimento de energia. Logo abriram as portas de visita o que constatou a presença de partículas presas no rotor. Foi realizado o hidrojateamento, posteriormente o valor da vibração baixou para 2.76 mm/s, como demonstra a figura a seguir.

**Figura 8- Sistema de Controle e monitoramento Recalor 02**



Fonte: Sistema Supervisório de operação linha de secagem MDP Berneck.

É possível observar que após as 17:18 h, quando já limpo o rotor, foi reiniciado o ventilador, ao partir o ventilador ocorrem picos de vibração até que se chegue a rotação nominal de trabalho estabilizando a vibração em 2,76mm/s.

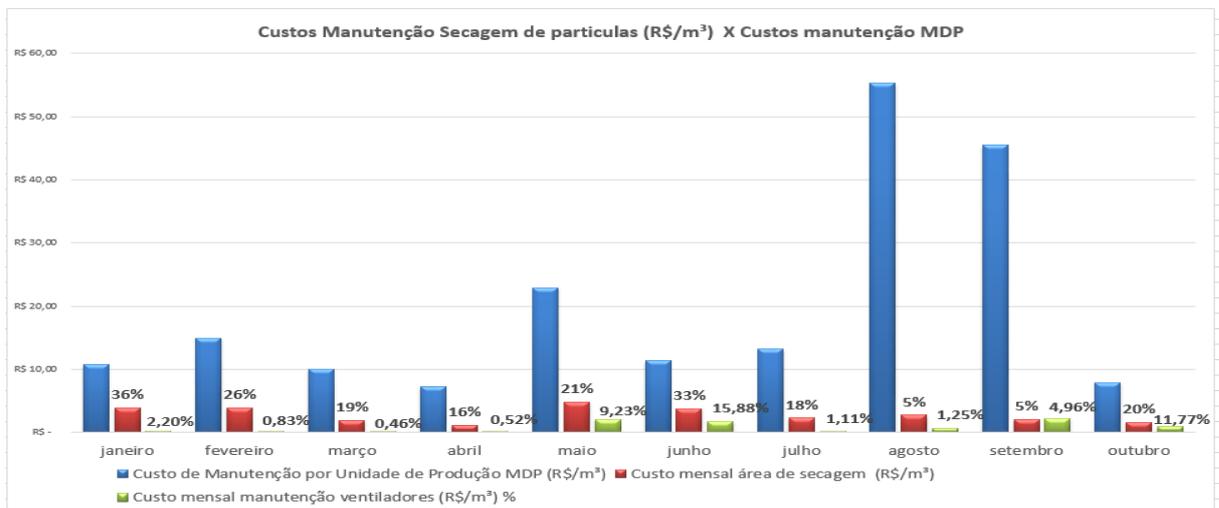
Com a análise dos gráficos da figura 7, e figura 8, foi concluído que a causa da vibração na ocasião foi o desbalanceamento devido a impregnação de resíduos da secagem no rotor, o que foi corrigido temporariamente através da limpeza a hidrojato.

#### 4.7 Custos Com Manutenção

Um dos motivos principais da escolha deste trabalho foi o custo elevado de manutenção. As manutenções realizadas nos ventiladores foram na maioria das vezes corretivas. Segundo Monteiro, a manutenção corretiva se apresenta como a mais cara em comparação com as outras, pois gera estoque de peças sobressalentes, horas extras de trabalho, paralisação das máquinas e baixa disponibilidade de produção.

Com o intuito de verificar o quanto estes custos com manutenção representam, foram coletados valores das movimentações do sistema TOTVS. Também foi levantado valores referentes a produção diária e acessado planilhas de custos. Para apresentar os custos de forma a preservar dados particulares da empresa, os gráficos trazem valores em porcentagem, conforme dispostos adiante.

**Gráfico 1- Custos Manutenção/m<sup>3</sup> Secagem x Custos Manutenção MDP 2018**

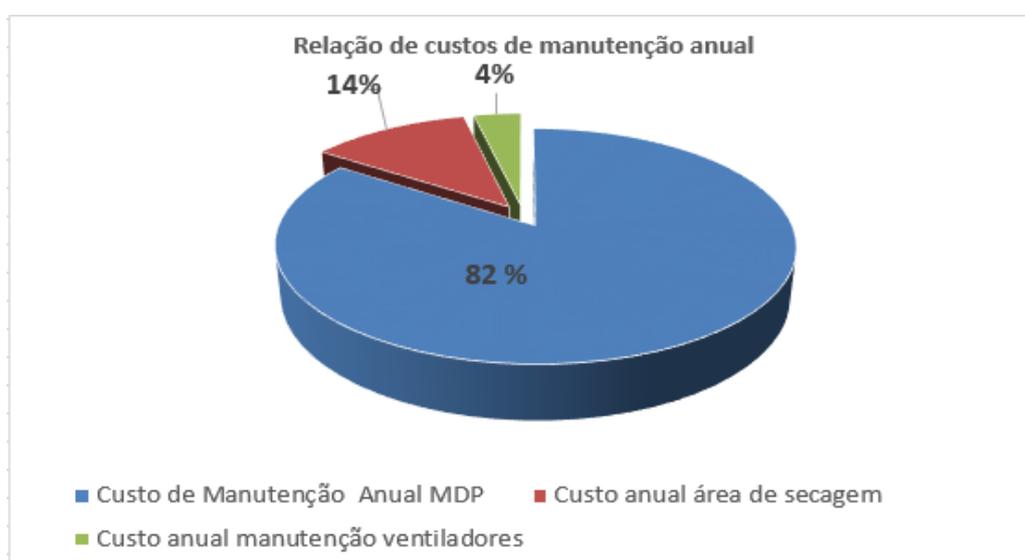


Fonte: Autor.

No gráfico acima, Gráfico 1, é representado os custos gerais por metro cúbico produzido nas colunas em azul, já as colunas em vermelho, representam a relação entre os custos de manutenção da área de secagem com custos totais (colunas em azul). As colunas em verde se tratam dos custos da manutenção dos ventiladores em relação ao custo total de manutenção.

Ao analisar o gráfico é perceptível que nos Mês de maio, a manutenção da área de secagem representou 21% dos custos totais com manutenção da área do MDP. No mesmo mês os custos com a manutenção dos ventiladores representaram 9,23%. No próximo gráfico se encontra a relação de custos anual.

**Gráfico 2- Custos Anual Manutenção MDP Até out/18**

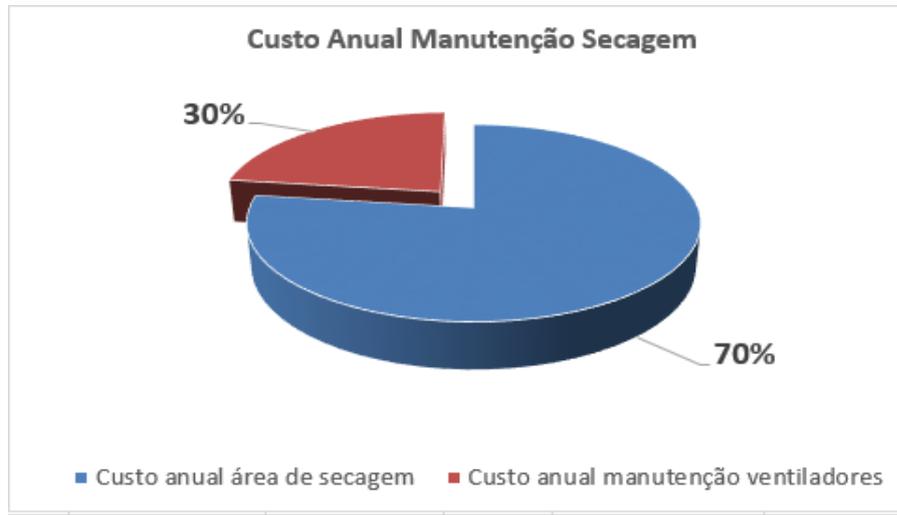


Fonte: Autor.

No Gráfico 2, está a relação dos custos anuais de manutenção do MDP em relação aos custos com área de secagem e ventiladores. A área de secagem compreendeu 14 % dos custos totais com manutenção, e os ventiladores representaram 4% dos custos totais.

O Gráfico 3, demonstra os custos anuais de manutenção dos ventiladores em relação a área de secagem. No gráfico abaixo é possível notar que os gastos com a manutenção dos ventiladores tiveram um valor de 30% em relação a área de secagem durante o ano de 2018, um valor bem expressivo.

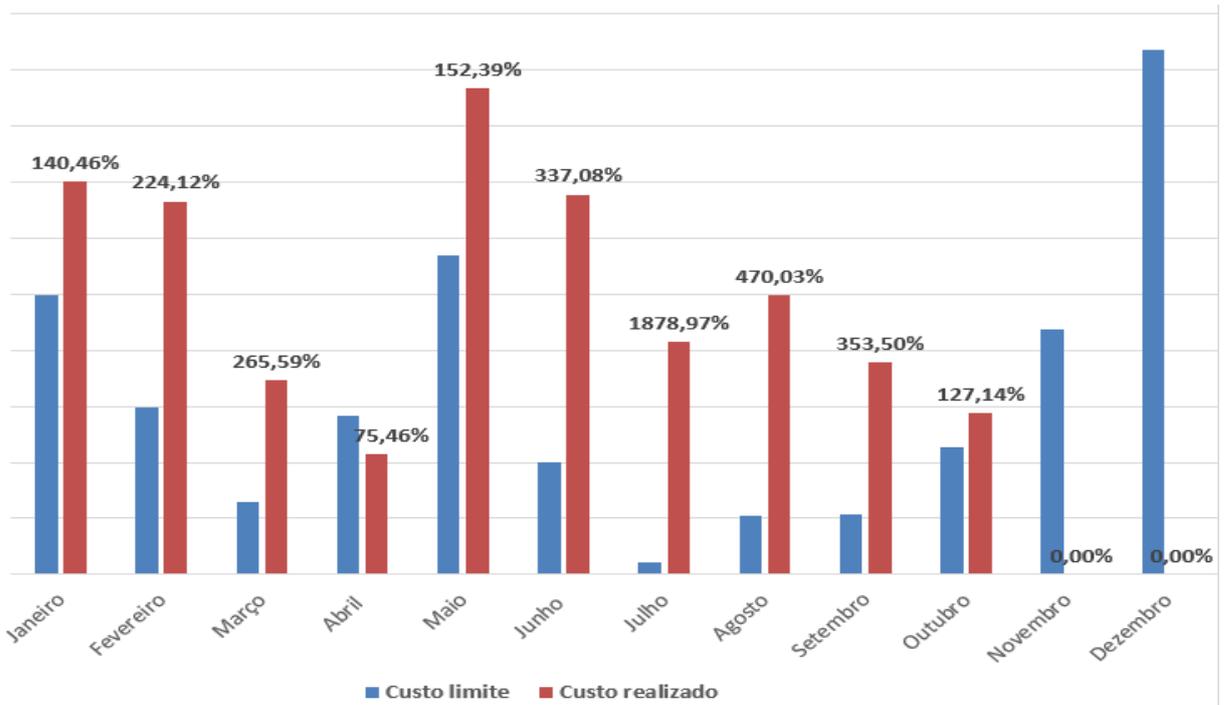
**Gráfico 3-Custo anual manutenção área de secagem x Custo anual manutenção ventiladores**



Fonte: Autor.

Com a apresentação destes gráficos, foi notório que os custos de manutenção com os ventiladores foram elevados. Para finalizar os estudos sobre os custos, exponho este último gráfico de custos estimados e custos reais.

**Gráfico 04- Orçamento estimado x Orçamento praticado Área de Secagem 2018**



Fonte: Autor.

As colunas em azul representam o orçamento estimado e as colunas em vermelho o que foi realmente gasto com a área de secagem em manutenção. Ao estudar o gráfico, concluiu-se que exceto o mês de abril, nos outros meses até outubro o custo realizado ultrapassou as estimativas, negativando o saldo estimado. Os custos desta área foram elevados, assim como descrito por autores conhecedores do assunto em relação a manutenção corretiva e, assim como traz o Gráfico 3, destes custos de manutenção, 30% correspondem aos ventiladores.

#### 4.8 Eficiência Dos Filtros Ciclones

Entre as causas de vibração apontadas, o desbalanceamento se faz bastante influente, no entanto, como já citado no trabalho a causa do desbalanceamento é o acúmulo de resíduos da secagem. A impregnação de material somente ocorre porque o mesmo está presente circulando nos dutos, caso esse material não estivesse circulando não haveria o acúmulo e compactação do mesmo. Surgiu então a ideia de saber a quantidade de material que os filtros não conseguem reter. Para tanto, foi revisado o manual de operações e instalação da linha de secagem e as seguintes informações foram identificadas.

**Tabela 8- Parâmetro de Produção**

Quantidade de aparas saídas do secador (kg/h):	Humidade inicial	Humidade final	Evaporação de água (kg/h):	Capacidade Nominal de secagem material úmido (kg/h)	Material extraído na curva antes dos ciclones	Rendimento filtro ciclone segundo fabricante
33.000	Máx. 155	2,5 ± 0,5	Máx. 50.000	80.000	60% a 80%	99%

Fonte: Autor.

Com os dados anteriormente obtidos:

**Tabela 9- Material não retido nos filtros ciclones**

33.000 de aparas saídas do secador (kg/h):	Material que vai para ciclones	Material que vai para ciclones (Kg/h)	Kg/h de material não filtrado Ineficiência filtro ciclone = 1%	ton/dia de material não filtrado Ineficiência filtro ciclone = 1%	ton/mês de material que passa nos ventiladores	% Em relação a secagem mensal
60% sai na curva	40%	$(40\% * 33.000) / 100\% = \mathbf{13200}$ <b>kg/h</b>	$13200 \text{ kg/h} * 1\% / 100\% = \mathbf{132}$ <b>kg/h</b>	$0.132 \text{ tn/h} * 24\text{h} = \mathbf{3.2}$	<b>96</b>	<b>9.7%</b>
80% sai na curva	20%	$(20\% * 33.000) / 100\% = \mathbf{6600}$ <b>kg/h</b>	$6600 \text{ kg/h} * 1\% / 100\% = \mathbf{66}$ <b>kg/h</b>	$0.066 \text{ tn/h} * 24\text{h} = \mathbf{1.6}$	<b>48</b>	<b>4.8%</b>

Fonte: Autor.

Ao lermos no manual de equipamento, soa como desprezível 1% de ineficiência de filtragem, no entanto esse 1%, segundo dados admitidos no manual, compreende de 1,6 a 3.2 toneladas por dia de material que recircula no sistema, ou seja, material não filtrado que passa pelos ventiladores. Esses valores podem ir de 48 a 96 toneladas mensais de material que recircula nos ventiladores.

Com esses valores, pode-se concluir que os filtros ciclones têm forte influência sobre o problema de impregnação de material, pois há ainda a passagem de 50 toneladas / hora de vapor saturado nos mesmos dutos, ou seja, material seco e umidade. Isso pode estar gerando o desbalanceamento e, conseqüentemente, vibração do caso estudado.

#### 4.9 Descarte da Prensa

A prensa a qual forma os painéis de madeira de média densidade (MDF), possui sensores de materiais estranhos, densidade e entre outros parâmetros de qualidade. Isso faz com que se descarte de material caso seja acionado por algum motivo estes sensores. O material descartado na prensa é reaproveitado para nova formação de colchão do MDP.

Para reaproveitar o descarte é necessário passar pelo processo de secagem novamente. Embora existam rolos destroçadores, o material proveniente do descarte possui adição de químicos e resinas do processo de formação, esses químicos podem estar agravando o

problema de acúmulo de material no rotor e nos dutos. Os produtos químicos adicionados na formação são:

**Tabela 10- Químicos que compõem o descarte da prensa**

Encolagem					
Químicos	Fator	Sól	Dens	Cons. Liq. esp.	
	%	%	g/cm <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	Total
Resina CI	6,8%	68,0%	1,30	46,0	71,0
Resina CE	9,6%	60,0%	1,26	25,0	
Água CI	0,2%	-	1,00	1,0	11,0
Água CE	8,0%			10,0	
Ureia CI	0,0%	25,0%	1,10	0,0	0,0
Ureia CE	0,0%			0,0	
Catalisador CI	5,0%	24,0%	1,05	6,4	8,0
Catalisador CE	2,5%			1,6	
Emulsão CI	0,60%	60,0%	0,92	4,6	6,4
Emulsão CE	0,72%			1,8	
Corrente Elétrica Encoladeira CI				250 A	
Corrente Elétrica Encoladeira CE				160 A	
Modelo da Resina CI	GPC - RUF AA 1258				
Modelo da Resina CE	Hexion Cascamite 1837				
Modelo da Ureia	0				
Modelo do Catalisador	Sulfato de amônio				
Modelo da Emulsão	Brasceras GEWAX 71				
Preparação de Químicos					
Produto	Água (kg)	Produto (kg)	Total (kg)	Conc. %	Agitação (min)
Catalizador	1.497	473	1.970	24,0%	15
Ureia	1.350	450	1.800	25,0%	60

Fonte: Sistema supervisorío de operação linha de formação MDP Berneck.

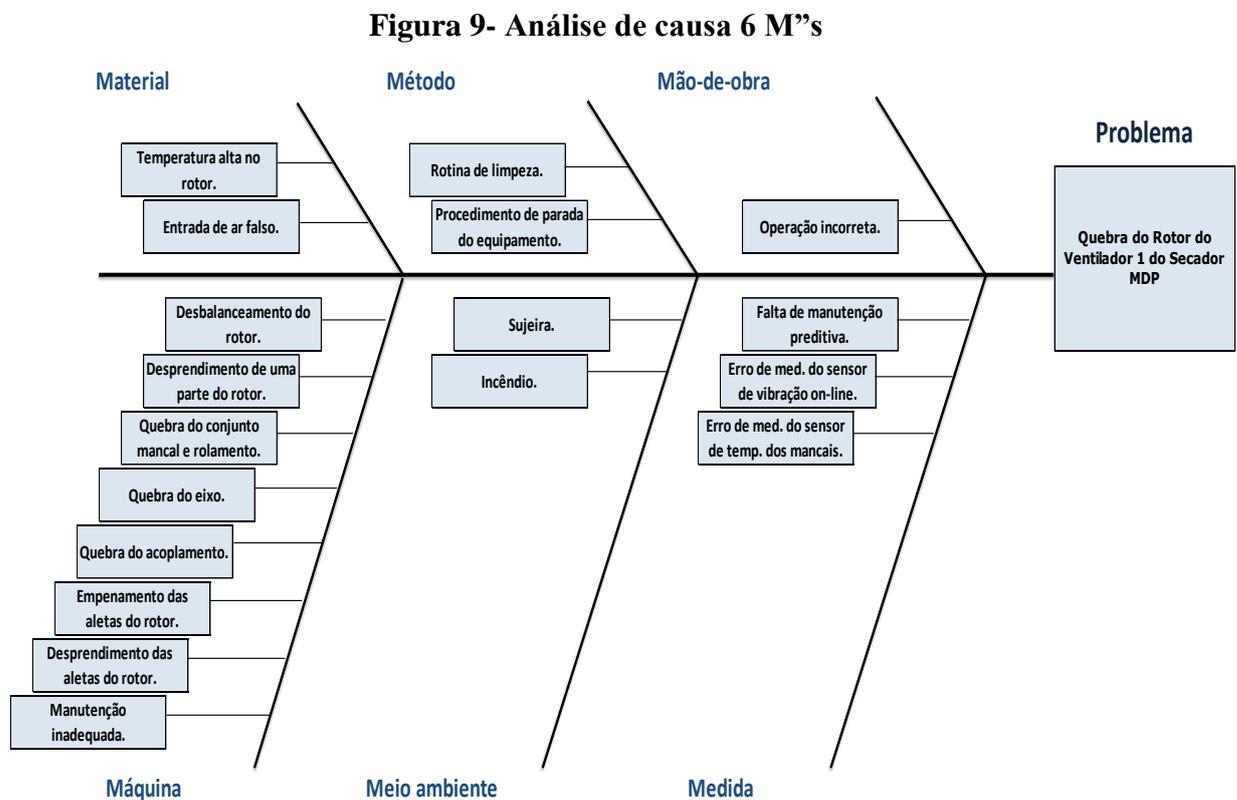
Entre os químicos da Tabela 9, estão as resinas CI e CE que são responsáveis pela liga das partículas, funcionando como uma cola, esse efeito de cola pode estar influenciando o acúmulo de material nos ventiladores de secagem. Segundo operadores da sala de controle a dosagem de material reaproveitado, corresponde a 10% da capacidade da rosca do silo de descarte, assim não se sabe ao certo a quantia exata. Para uma verificação da possível influência destes químicos, é necessária uma análise do material que compõe o resíduo acumulado no rotor, o que demonstrará se existem resíduos da formação e também o quanto deste resíduo.

#### 4.10 Análise De Falha

No dia 08/05/18, terça feira por volta das 18:37 horas, ocorreu uma parada devido a alarme de incêndio no secador. A partir desta hora o princípio de incêndio de agravou, precisando recorrer ao corpo de bombeiros para auxiliar a brigada de emergência no combate.

Em instantes depois ocorreu a desintegração do rotor. Segundo o relatório de análise falha gerado pela empresa Berneck, um encarregado de produção visualizou fumaça e material incandescente no equipamento, anteriormente a falha.

Para identificar as possíveis causas os gestores aplicaram o diagrama de Ishikawa, conforme abaixo:



Fonte; Departamentos>PCM mdp>Paradas Emergenciais> Análise de falha secador/Berneck.

As causas da falha levantadas no diagrama de Ishikawa estão na tabela:

**Tabela 11- Causas da falha do ventilador 01secador**

<b>Máquina:</b>	<b>Medição:</b>	<b>Mão de Obra:</b>	<b>Método:</b>	<b>Material:</b>	<b>Meio Ambiente:</b>
Desbalanceamento do rotor.	Falta de manutenção preditiva.	Operação incorreta.	Procedimento de parada do equipamento.	Entrada de ar falso.	Sujeira.

Desprendimento de uma parte do rotor.	Erro de medição do sensor de vibração on-line.		Rotina de limpeza.	Temperatura alta no rotor.	Incêndio.
Quebra do conjunto mancal e rolamento.	Erro de medição do sensor de temperatura dos mancais.				
Quebra do eixo.					
Quebra do acoplamento.					
Empenamento das aletas do rotor.					
Desprendimento das aletas do rotor.					
Manutenção inadequada.					

Fonte: Autor.

A partir do Ishikawa foi aplicado o 5 por quês em busca da causa fundamental. A causa raiz apresentada foi a rotina de limpeza. Pois o acúmulo de material promoveu meios de propagação do incêndio.

**Tabela 12- Plano de ação para evitar falha do tipo**

<b>Ação (o que e como)</b>	<b>Data</b>	<b>Status</b>
1 – Inspeção nos sensores Grecon acessíveis do Secador.	09/05/2018	Concluído
2 – Definição de método e frequência limpeza dos sensores Grecon.	10/06/2018	
3 – Instalação de andaimes provisórios para acesso sensores Grecon saída ventiladores.	09/05/2018	Concluído
4 – Confecção de ferramenta para limpeza dos sensores Grecon.	10/06/2018	
5 – Redefinição da rotina de limpeza dos dutos e ventiladores.	18/05/2018	
6 – Análise do projeto do rotor junto a Recalor.	10/06/2018	
7 – Avaliar possibilidade de instalar novos sensores Grecon na Zona onde iniciou o fogo.	10/06/2018	
8 – Reativar a compra das plataformas definitivas para acesso aos pontos de Grecon.	10/06/2018	
9 – Criar procedimento de desligamento do secador em caso de detecção de incêndio.	10/06/2018	
10 – Criar procedimento de inspeção das vedações de portas de visita.	10/06/2018	
11 – Avaliar instalação de traço elétrico na voluta e dutos.	10/06/2018	
12 – Fazer análise de liquido penetrante no ventilador 2.	04/06/2018	
13 – Analisar teflonamento da voluta.	10/06/2018	

Fonte; Departamentos>PCM mdp> Paradas Emergenciais> Análise de falha secador/Berneck.

Conclui-se então que o rotor do Ventilador 01 do Secador do MDP quebrou em função do desprendimento das aletas do rotor causado pela exposição a uma temperatura alta no rotor em virtude de incêndio localizado dentro da voluta por acúmulo de sujeira. Há indícios de falha na solda das aletas com os espelhos, pois as marcas demonstraram deficiências na fundição da solda. A imagem abaixo mostra a proporção dos estragos:

**Figura 10 - Voluta ventilador danificada**



Fonte; Departamentos>PCM mdp> Paradas Emergenciais> Análise de falha secador/Berneck.

A Imagem 1, mostra a voluta do rotor parcialmente destruída, esta falha teve um potencial extremamente elevado, o que poderia causar mais danos. Os custos com essa falha foram altos, a correção do problema durou dois dias, foi iniciado novamente as operações dia 10/05/2018, quinta feira às 23:04:01hs.

A falha analisada justifica o estudo de caso da vibração, pois de forma menos desejada o equipamento refletiu o que uma falha pode causar, comprometendo até mesmo a segurança dos envolvidos, dessa maneira estudos em buscas de melhorias da linha de secagem e dos ventiladores são importantes para garantir a operação e segurança dos colaboradores.

#### 4.11 Análise Externa de Vibração

Dia 30/08//2017, a empresa RPM Sul especializada em manutenção preditiva, esteve na empresa para avaliar o equipamento. Segundo o laudo técnico referente a avaliação, os pontos de medição foram distribuídos no sentido da força atuante no equipamento, e sempre que possível a medição é realizada nas direções verticais, horizontais e axiais.

As medições empregadas foram as de velocidade, aceleração e envelope de aceleração, DEF, Kurtosis e, entre outros coletados através de acelerômetro nos mancais dos ventiladores. Os parâmetros de vibração foram criados segundo a norma ISO 2372 e ISO 10816-3.

Segundo a empresa RPM Sul, foi verificado sintomas de desbalanceamento do ventilador 01 5501, provável acúmulo de sujeira no rotor. Também foi verificado em ambos os ventiladores variação dos níveis de vibração em velocidade.

O laudo apontou a presença de problema com batimento, e definiu batimento como um fenômeno muitas vezes parecido com modulação de amplitude, no entanto bem definíveis quanto ao espectro de frequência da modulação de amplitude. Ainda, um batimento existe quando dois sinais com frequências quase iguais ocorrem simultaneamente e se somam algebricamente. A amplitude resultante pulsará a uma taxa igual à diferença entre as frequências dos dois sinais. Esta diferença é chamada frequência de batimento.

A empresa RPM Sul afirmou existir defeitos de fluxo nos dutos, relatou que a instalação inadequada das tubulações (sem juntas flexíveis) está induzindo esforços que provocam desalinhamento no equipamento e vibrações devido a ressonâncias. Também vibrações reincidentes com características de desalinhamento e folgas na fixação.

A análise dos mesmos apontou a existência de desbalanceamento aerodinâmico como condições inadequadas de operação, excentricidade entre rotor e estator, obstrução do estator, não uniformidade do comprimento ou do ângulo de ataque das pás.

Afirmaram que a turbulência muitas vezes ocorre em ventiladores e sopradores devido às variações de pressão e velocidade do ar passando através do ventilador ou do sistema de dutos conectados. A passagem do fluxo causa turbulência, que gerará vibração aleatória de baixa frequência, tipicamente na faixa de 50 a 2000 CPM.

As recomendações da empresa foram:

- Verificar ângulo das tubulações de saída;
- Se há difusores instalados internamente para condução do fluxo de ar;
- Verificar possibilidade de dividir a saída de ar dos ventiladores, pois a saída da voluta de ambos já se conecta ao duto de ar;

- Verificar a ocorrência de variação do fluxo de ar entre as duas tubulações superiores de saída.

As considerações da análise de vibração da empresa foram importantes, no entanto não apontou causas fundamentais referentes ao problema apresentado. Desta maneira o laudo fortaleceu a existência de problemas referentes a vibração nos ventiladores.

#### **4.12 Análise de Circuitos de Motores MCA**

O teste foi realizado pelo serviço técnico da Siemens. O objetivo foi ter um laudo sobre o comportamento da rede e dos circuitos dos motores. O relatório apresenta o resultado da medição e registro de dados do motor em operação, realizado com o analisador dinâmico de motores elétricos da Baker Instrument Company, modelo Explorer 4000.

Segundo os relatos do teste, a manutenção preditiva que avalia a completa saúde do motor e que faz o diagnóstico da sua condição operacional pode ser realizada pela combinação dos resultados de testes a quente e a frio, considerando as seis zonas de falhas estatisticamente mais comuns. São elas: Qualidade da energia; Circuito de alimentação; Estator; Sistema de isolamento; Rotor; e Entreferro.

Os testes foram realizados com base nas normas padrões NEMA MG-1, IEEE 519, EN61000-2-2, EN61000-2-7 e VDE 839-2-2, os valores limites de alerta e alarme parametrizados no software do aparelho foram utilizados como referência para comparação das grandezas elétricas coletadas.

Como resultado, na ocasião do atendimento em 05.12.2017, o enrolamento 1 do motor VE5501 operava com carregamento de 69,5% da sua potência nominal, portanto 319,83 kW, com 73,3% do torque nominal (2695,43 Nm) e 94,85% da velocidade nominal (1133,51 RPM). O parâmetro da qualidade de energia do Baker que monitorou os níveis da tensão de alimentação (402,53 V), desbalanceamento (0,03%), distorção harmônica (7,78%) e distorção total de (10,59%), detectando devido a estes dois últimos parâmetros, alertas com relação a fonte de alimentação. O desempenho da máquina registrou o fator de serviço efetivo em 0,35% (este valor indica a região de operação do motor em função da carga e da qualidade da alimentação) para aquele carregamento e eficiência de 95,49%. Abaixo estão os resultados no software.

Figura 11 - Resultados MCA

Machine			
Motor Ventilador do Secador VE5501 – Enrolamento 1			
Database	Berneck Curitibaanos	Tested by	Marcos Nanes
Location	Central Térmica	Tested for	Berneck
Building	Secador	Explorer SN#	Curitibaanos
Test Date	Linha MDP	Test Time	10:57:19 AM
	12/5/2017		

	Name Plate	Measured
Output Power [kW]	460	319.83
Speed [RPM]	1195	1133.51
RMS [V]	440	402.53
RMS [A]	760.00	586.74
Frequency [Hz]	60	56.72
pf [p.u.]	N/A	0.82
Nema Derating [p.u.]	1.0	1.00
Torque [[Nm]]	3675.88	2694.43
Efficiency	N/A	95.49
Percent Load	N/A	69.5

Test	Value	Status	Caut. Level	Warn. Level
Voltage Level [RMS V]	402.53	N/A	N/A	N/A
Voltage Unbalance [%]	0.03	Good	2.00	3.50
THD [% of fund.]	7.78	Caution	7.00	9.00
Total Distortion [% of fund.]	10.59	Caution	10.00	12.00
Current Level [%]	39.14	Good	110.00	120.00
Current Unbalance [%]	1.39	Good	10.00	20.00
Load [%]	34.76	Good	110.00	125.00
Ef. Service Factor [p.u.]	0.35	Good	1.10	1.25
Rotor Bar [db]	0.00	Indet.	-45.00	-36.00
Op. Point [%]	0.00	Good	20.00	30.00

Fonte: Departamentos>PCM Elétrica-MDP>Relatórios e Análises/Berneck.

Um das questões levantadas no estudo de caso foi a possibilidade de a vibração alta estar relacionada ao desbalanceamento de fases, porém o teste de MCA derrubou esta hipótese, pois o valor do desbalanceamento de fase foi de 0.03%, o qual se encontra abaixo do nível de alarme que é 3.5. O valor apresentado pode até ter mínima influência na vibração, mas em relação a outras causas se torna desprezível.

Já os resultados do ventilador 02: Na ocasião do atendimento em 05.12.2017, o enrolamento 1 do motor VE5601 operava com carregamento de 68,42% da sua potência nominal, portanto 314,75 kW, com 72,2% do torque nominal (2655,56 Nm) e 94,71% da velocidade nominal (1131,83 RPM). O parâmetro da qualidade de energia do Baker que monitorou os níveis da tensão de alimentação (412,59 V), desbalanceamento (0,04%), distorção harmônica (9,06%) e distorção total de (10,9%), detectando devido a estes dois últimos parâmetros, alertas com relação a fonte de alimentação. O desempenho da máquina registrou o fator de serviço efetivo em 0,34% (este valor indica a região de operação do motor

em função da carga e da qualidade da alimentação) para aquele carregamento e eficiência de 95,56%. Os resultados no software;

**Figura 12- Resultado MCA**

Machine			
Database	Berneck Curitibaanos	Tested by	Marcos Nanes
Location	Central Térmica	Tested for	Berneck
Building	Secador	Explorer SN#	Curitibaanos
Test Date	Linha MDP	Test Time	11:44:24 AM
	12/5/2017		

	Name Plate	Measured
Output Power [kW]	460	314.75
Speed [RPM]	1195	1131.83
RMS [V]	440	412.59
RMS [A]	760.00	575.02
Frequency [Hz]	60	56.64
pf [p.u.]	N/A	0.80
Nema Derating [p.u.]	1.0	1.00
Torque [[Nm]]	3675.88	2655.56
Efficiency	N/A	95.56
Percent Load	N/A	68.42

Test	Value	Status	Caut. Level	Warn. Level
Voltage Level [RMS V]	412.59	N/A	N/A	N/A
Voltage Unbalance [%]	0.04	Good	2.00	3.50
THD [% of fund.]	9.06	Warning	7.00	9.00
Total Distortion [% of fund.]	10.90	Caution	10.00	12.00
Current Level [%]	38.11	Good	110.00	120.00
Current Unbalance [%]	1.09	Good	10.00	20.00
Load [%]	34.21	Good	110.00	125.00
Ef. Service Factor [p.u.]	0.34	Good	1.10	1.25
Rotor Bar [db]	0.00	Indet.	-45.00	-36.00
Op. Point [%]	0.00	Good	20.00	30.00

Fonte: Departamentos>PCM Elétrica-MDP>Relatórios e Análises/Berneck.

O ventilador 02 também apresentou valor baixo de desbalanceamento de fases, por volta de 0.04, o que não representa uma das causas fundamentais da vibração alta.

#### 4.13 Melhorias Apresentadas

Embora as ações realizadas com o objetivo de solucionar o problema não tenham surtido o efeito esperado, na busca pela solução do caso estudado houve ações que trouxeram melhorias ao equipamento. As ações que trouxeram melhoria foram a troca do rotor de aço carbono pelo de aço inox, aplicação do antiaderente, aquisição de um hidrojato próprio, e alteração duto flash.

A troca do rotor aço carbono pelo aço inox traz melhoria no quesito durabilidade e resistência a oxidação e abrasão, pois nos dutos existe a passagem de material sólido o que gera desgaste. No sistema também há umidade elevada e variações de temperatura. No rotor aço carbono essas condições geram um nível de deterioração mais elevado, pois a oxidação do aço carbono ocorre de forma mais acelerada. Já o aço inox apresenta menos desgaste devido a dureza do material e tem um nível baixo de oxidação. Assim o rotor inox tende a ter sua durabilidade mais elevada. O rotor novo ainda possui uma maior inclinação das pás, essa inclinação aumenta o poder de ataque das pás, no entanto não foi analisado efeitos significantes até então correspondente a alteração.

Na troca do rotor, foi aplicado um produto com o nome de limpa fácil, um antiaderente. O produto foi aplicado no rotor e na voluta do rotor. O objetivo deste produto foi o de facilitar a limpeza do rotor e da voluta. Na primeira limpeza após a aplicação, por volta de 30 dias depois, verificou-se que o produto não trouxe a eficiência esperada, mas foi possível observar que o mesmo facilitou a limpeza, no entanto a limpeza acabou removendo o produto, tornando o método inviável, pois o custo da aplicação foi alto.

A aquisição de um hidrojato próprio foi muito importante, pois anteriormente a aquisição do mesmo o serviço era terceirizado, o que implicava num custo elevado. Segundo o responsável pelos controles referentes ao equipamento citou que houve uma redução de 20% a 40% de custos o uso do equipamento próprio. Quanto a disponibilidade do equipamento também foi um ganho, pois eliminou o tempo gasto com transporte do equipamento locado.

Por fim a alteração duto Flash, essa alteração ocorreu na altura do duto do pré secador, o objetivo desta alteração foi diminuir o descarte de material na válvula rotativa para aumentar atingir a quantia nominal de secagem e evitar entupimentos no duto flash. A ação foi sucedida, atualmente o descarte é mínimo em relação ao que se tinha anteriormente, isso influenciou no rendimento da geral da linha.

#### **4.14 Ações Viáveis**

O objetivo deste estudo de caso foi proposto inicialmente, para buscar a solução da vibração alta dos ventiladores de circulação de gases da linha do MDP. Devido à complexidade da linha, a busca pela identificação da causa raiz acabou se prolongando além do prazo de desenvolvimento do trabalho. Como a identificação da causa raiz somada ao

desenvolvimento de ações demanda de um período de tempo mais longo, o foco do trabalho se voltou para a identificação das causas fundamentais do problema, admitindo possíveis as ações de melhorias, geradas segundo as análises desenvolvidas através dos meios e métodos apresentados anteriormente, compreendendo a continuação dos estudos, pesquisas, ideias e intervenções na busca da solução através de melhoria. Com isso, as ações propostas na tabela abaixo, são sugestões para continuação do estudo de caso.

**Tabela 13- Plano de possíveis ações futuras**

	O que	Porque	Como	Onde	Quem	Quando
<b>ODS (Operating Deflection Shape)</b>	Realizar teste de vibração	Para identificar causas	Aplicar o teste ODS (Operating Deflection Shape)	Ventiladores	Empresa terceira	Próximo semestre ou ano.
<b>Água sistema contra incêndio</b>	Verificar qual é a influência.	Para saber se agrava a impregnação	Analisar vibração antes e depois de paradas	Ventilador 01 e 02	Manutenção e setor de qualidade	Próximo semestre
<b>Partículas descarte da prensa</b>	Verificar quais materiais compõem	Relacionar com material impregnado no rotor	Relacionar os químicos do material descartado por meio do sistema, com uma análise de material do rotor	Ventilador 01 e 02	Manutenção e setor de qualidade	Próximo ano
<b>Motor Elétrico</b>	Estudar a viabilidade de base sólida	Base metálica oca	Desenvolver projeto	Externo	Empresa terceira de Projetos	Próximo ano
<b>Vapor saturado processo de secagem</b>	Analisar se condensa nos ventiladores	Porque com a umidade pode grudar material	Estudar o tipo de vapor e como se comporta	Dutos do sistema de secagem	Manutenção e gerência	Próximo ano
<b>Filtros ciclones</b>	Verificar eficiência real	Saber o quanto de resíduo realmente circula nos dutos	Contratar empresa especializada; realizar estudos e pesquisas	Manual de instalação e operação e dados de campo	Manutenção e gerência	Próximo ano

Fonte: Autor.

As ações listadas acima, dizem respeito a possíveis causas que possuem uma aproximação mais elevada de uma causa fundamental, apontadas por estudos e, emprego de métodos como o Ishikawa.

Houve indícios de que as ações listadas podem levar a elaboração de uma melhoria plausível ou a solução permanente do problema de vibração abordado no estudo de caso, o que justifica prosseguir o estudo.

## 5. CONCLUSÃO

A vibração mecânica se faz presente em equipamentos, existem níveis toleráveis de vibrações mecânicas que permitem a operação de equipamentos com qualidade e eficiência satisfatória. Porém, quando os níveis de vibração são elevados, componentes móveis são comprometidos nas máquinas, devido a desgastes, fadigas, rupturas, entre outros. Através da manutenção preditiva se identificam defeitos com ou sem potencial de falha, assim como no caso da análise de vibrações. Entretanto, para a correção de defeitos e falhas precisa-se de intervenções, que, muitas vezes acabam gerando custos elevados, assim se encontram os ventiladores de secagem de partículas MDP do estudo de caso deste trabalho, pois os mesmos apresentam vibrações elevadas.

Os estudos apontaram relação das causas fundamentais com a linha toda de secagem, o que implicou na alteração do objetivo, voltando o foco deste trabalho para desenvolvimento de meios de identificação das causas da vibração. Na busca das causas o brainstorming auxiliou na criação das principais ideias referentes ao problema. O diagrama de Ishikawa permitiu identificar as possíveis causas perante as ideias consideradas no brainstorming e, logo após a criação de um plano de ação com o método 5w1h. Com esse plano de ação foi levantado informações importantes que apontaram as causas fundamentais da vibração.

As causas mais relacionáveis ao problema de vibração foram a ineficiência do filtro ciclone, reaproveitamento do descarte da prensa, água do sistema contra incêndio, vapor de secagem e base do motor. A causa raiz foi identificada, porém a linha de secagem compreende um sistema com muitas variáveis presentes, assim não foi possível verificar, identificar e analisar todas as variáveis do sistema e, a causa raiz identificada requer alterações inviáveis, pois está relacionada ao projeto. No entanto há fortes relações entre as outras possíveis causas identificadas e o problema, indicando que a causa fundamental provavelmente esteja entre estas causas levantadas.

Cabe ainda prosseguir com os estudos e pesquisas relevantes ao tema proposto na busca de melhorias ou soluções para o caso de vibração dos ventiladores da linha de secagem de partículas que formam o MDP da empresa Berneck, evitando ou reduzindo a impregnação de material no rotor, ou diminuindo a circulação de partículas nos ventiladores.

## REFERÊNCIAS

AFFONSO, L. O. A. **Equipamentos mecânicos: Análise de falhas e Soluções de Problemas.** Rio de Janeiro: Qualitymark: Petrobras, 2002.

AGUIAR, M. C. **Análise de Causa Raiz:** levantamento dos métodos e exemplificação. Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <<https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/23437/23437.PDF>>. Acesso em; 1 de julho de 2018, 16:44:10.

ANTUNES, A.T. **Aplicação Das Sete Ferramentas Básicas De Qualidade No Ciclo Pdca Para Melhoria Continua: Estudo De Caso Numa Empresa De Autopeças.** São Carlos: 2010. Disponível em:<[file:///C:/Users/orli%20gomes%20junior/Downloads/Trivellato\\_Arthur\\_Antunes%20\(4\).pdf](file:///C:/Users/orli%20gomes%20junior/Downloads/Trivellato_Arthur_Antunes%20(4).pdf)> Acesso em: 18/08/2018. 21:42:15.

CABRAL, M. A. **Análise De Causa Raiz: Levantamento Dos Métodos E Exemplificação.** Rio de Janeiro: 2014. Disponível em:<<https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/23437/23437.PDF>> Acesso em: 30 de julho de 2018, 20:00:10

COSTA, M. A. **Gestão Estratégica da Manutenção:** Uma Oportunidade para Melhorar o Resultado Operacional. Juiz de Fora, 2013. Disponível em: <[http://www.ufjf.br/ep/files/2014/07/2012\\_3\\_Mariana.pdf](http://www.ufjf.br/ep/files/2014/07/2012_3_Mariana.pdf)>. Acesso em: 2 de julho de 2018, 14:45:01.

FERNANDES, J. C. **Manutenção Corretiva:Manutenção e Lubrificação de Equipamentos.** Disponível em: <[http://wwwp.feb.unesp.br/jcandido/manutencao/Grupo\\_6.pdf](http://wwwp.feb.unesp.br/jcandido/manutencao/Grupo_6.pdf)>. Acesso em: 2 de julho de 2018, 14:42:01.

FOGLIATTO, S. F; RIBEIRO, J. L. D. **Confiabilidade e Manutenção Industrial.** Rio de Janeiro: Elsevier: ABEPRO, 2011.

FRANCISCO, A.B.J. **A utilização da técnica da entrevista em trabalhos científicos.** Disponível em: <[www.uniaraxa.edu.br/ojs/index.php/evidencia/article/download/200/186](http://www.uniaraxa.edu.br/ojs/index.php/evidencia/article/download/200/186)>. Acesso em: 15 de outubro de 2018, 21:44:35.

GERHARDT, T. E. et al. **Métodos de Pesquisa.** 1. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009. Disponível em:<<http://www.ufrgs.br/cursopgdr/downloadsSerie/derad005.pdf>>. Acesso em:1 de julho de 2018, 10:18:49.

MATTOS, R. L. G. et al. **Painéis de madeira no Brasil:** panorama e perspectivas. Disponível em: <[https://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/bndes/bndes\\_pt/Galerias/Convivencia/Publicacao/Consulta\\_Expressa/Setor/Produtos\\_Florestais/200803\\_1.html](https://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/bndes/bndes_pt/Galerias/Convivencia/Publicacao/Consulta_Expressa/Setor/Produtos_Florestais/200803_1.html)>. Acesso em: 16 de junho de 2018, 19:57:54.

MORO, N; AURAS, A. P. **Introdução à Gestão da Manutenção.** Florianópolis, 2007. Disponível em: <<https://www.passeidireto.com/arquivo/24280127/introducao-a-gestao-da-manutencao---prof-eng-mec-norberto-moro>>. Acesso em: 2 de julho de 2018, 18:58:57.

NEPOMUCENO, L. X. **Técnicas de Manutenção Preditiva**. 1. ed. São Paulo: Blucher, 1989.

OLIVEIRA, M.F. **Metodologia Científica: um manual para a realização de pesquisas em administração**. Disponível em: [https://adm.catalao.ufg.br/up/567/o/Manual\\_de\\_metodologia\\_cientifica\\_-\\_Prof\\_Maxwell.pdf](https://adm.catalao.ufg.br/up/567/o/Manual_de_metodologia_cientifica_-_Prof_Maxwell.pdf). Acesso: 20 de setembro de 2018, 19:45:27.

PRODANOV, C. C; FREITAS, E. C. **Metodologia do Trabalho Científico: Métodos e Técnicas da Pesquisa e do Trabalho Acadêmico**. 2. ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013.

RAO, S. **Vibrações Mecânicas**. 4. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2008.

SANTO, R. **Brainstorming – Tempestade de idéias (BS - TI) ou Como tirar seu time do “cercadinho mental”**. Disponível em: <http://www.bte.com.br>. Acesso em: 20 de Agosto de 2018.

VIDAL, A. C. F; HORA, A. B. **Panorama de Mercado: painéis de madeira**. Disponível em: <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/3023/1/Panorama%20de%20mercado.pdf>. Acesso em: 17 de junho de 2018, 17:43:35.

## ANEXOS

### Anexo 01- Manual de Operação e Instalação Recalor S/A

#### RECALOR, S.A.

#### ÍNDICE

<b>1 Introdução</b> .....	3
1.1 Descrição da instalação .....	3
1.2 Princípio de funcionamento.....	5
1.3 Transporte, manutenção e armazenamento.....	6
<b>2 Montagem</b> .....	6
2.1 Cimentação.....	6
2.2 Montagem componentes.....	6
2.3 Montagem específica tambor .....	6
2.4 Montagem específica ventilador .....	7
2.5 Conexão da instalação. Integração na linha de produção.....	7
2.6 Instalações eléctrica, pneumática, contra incêndios.....	7
2.7 Verificações a efectuar antes da colocação em funcionamento .....	8
2.8 Colocação em funcionamento .....	9
<b>3 Uso</b> .....	9
3.1 Verificações a efectuar antes do início da operação de arranque.....	9
3.2 Modo automático .....	9
3.3 Situações de emergência. Temperaturas de processamento elevadas .....	9
3.4 Localização do operador.....	10
<b>4 Manutenção</b> .....	10
4.1 Verificações de manutenção .....	10
4.2 Lubrificação .....	11
<b>5 Anexos</b> .....	12
5.1 Dados técnicos .....	12
5.2 Localização componentes.....	12
5.3 Planos.....	14
5.4 Documentação técnica (componentes) .....	14
5.5 Listagem de sobressalentes.....	14
5.6 Declaração de conformidade.....	14

#### 1 INTRODUÇÃO

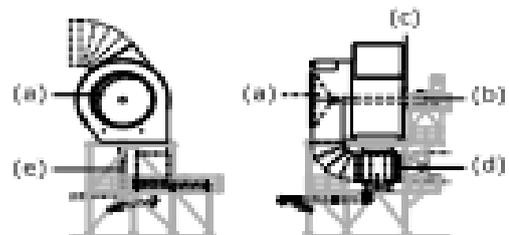
##### 1.1 DESCRIÇÃO DA INSTALAÇÃO

Trata-se de uma instalação de secagem, com aquecimento directo do material (as aparas e os gases quentes estão em contacto), que ocupa uma superfície de cerca de 1.016m<sup>2</sup> e uma altura máxima de 28m. Tal instalação é composta por: (ver esquema conjunto instalação):

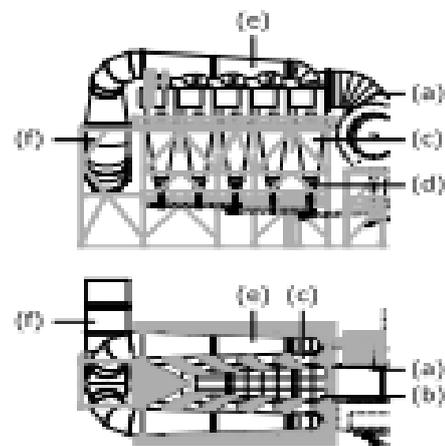
(1) Câmara de mistura de gases de ø6.000 x 6.000mm, composta por um cone de fecho (a) ø3.400mm com accionamento pneumático para fechar a entrada de gases quentes provenientes da caldeira. Um ventilador de refrigeração do cone (b) equipado com motor de 4Kw. Um transmissor de pressão diferencial (c) que controla a pressão da câmara de mistura. Uma borboleta de regulação (d) de 2.010 x 2.010mm com accionamento pneumático e com regulação automática que regula o volume de gás que entra na câmara de mistura proveniente do tubo de

#### INSTALAÇÃO DE SECAGEM DE APARAS

retorno de gases. Uma tubagem de descarga de areia (e).

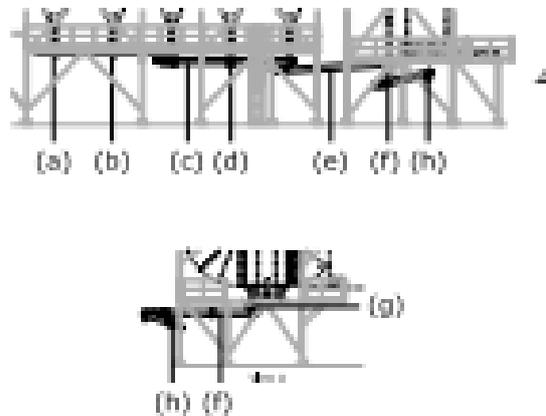


(2) Separador de areia e faíscas, composto por uma tubagem (a) entre a câmara de mistura e o grupo separador de areia. Um coletor de entrada (b) com três juntas de dilatação fabrica compensadora. Dez ciclones separadores de areia (c) ø2.500mm, com as respectivas tremonhas (d) abaixo de cada ciclone. Dois coletores de saída (e) com duas juntas de dilatação de empanque cada uma. Uma tubagem (f) entre os coletores de saída e o pré-secador flash com uma junta de dilatação de empanque.

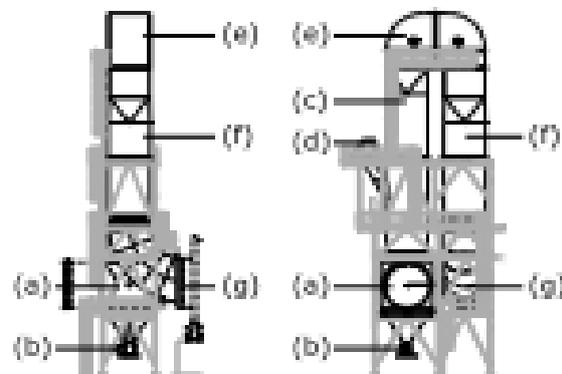


(3) Sistema coletor de areia e cinza, composto por cinco sem-fins (a) ø270 x 5.800mm equipados com motorreductores de 1,1Kw com accionamento directo. Cinco rodas alveolares (b) ø250mm acopladas uma a cada sem-fim e accionadas por transmissão mediante roda, pinhão e cadeia de rolos simples. Dois sem-fins (c) ø270 x 6.200mm equipados com motorreductores de 1,1Kw com accionamento directo. Tremonhas de conexão (d) entre as rodas alveolares e o sem-fim. Um sem-fim (e) ø270 x 5.260mm equipado com motorreductor de 1,1Kw com accionamento directo. Um sem-fim (f) ø270 x 4.500mm

equipado com motorreductor de 1,1Kw com accionamento directo. Uma roda alveolar (g)  $\varnothing 250\text{mm}$  acoplada ao sem-fim e accionada por transmissão mediante roda, pinhão e cadeia de rolos simples. Um sem-fim (h)  $\varnothing 270 \times 2.300\text{mm}$  equipado com motorreductor de 1,1Kw com accionamento directo.

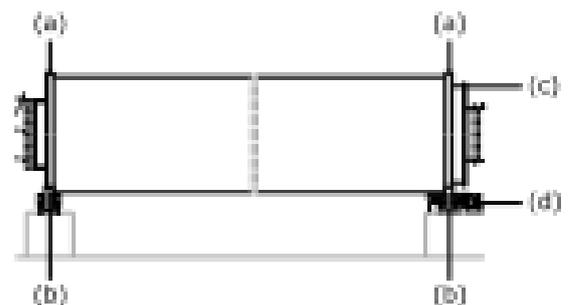


(4) Pré-secador flash, composto por um cotovelo separador de grossos (a) equipado com tremonha de descarga. Uma roda alveolar (b)  $\varnothing 600\text{mm}$ , equipada com motorreductor de 2,2Kw com accionamento directo. Uma tubagem ascendente (c) com tremonha de alimentação de aparas húmidas e uma junta de dilatação de empanque. Uma roda alveolar (d)  $\varnothing 1.120\text{mm}$  equipada com motorreductor de 7,5Kw e accionada por transmissão mediante roda, pinhão e cadeia de rolos simples. Um cotovelo superior (e). Uma tubagem descendente (f) com uma junta de dilatação de empanque e um cotovelo entrada tambor (g) equipado com uma junta fecho tambor.

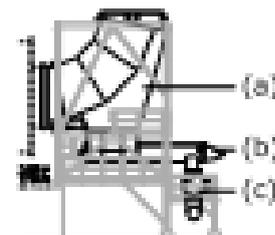


(5) Tambor  $\varnothing 6.000 \times 28.000 \text{ mm}$ , formado interiormente por um circuito de três vias (um troço) e de via única (o resto do tambor). Os aros de rolamento

(a) aparafusados a cada extremidade do tambor. Duas bancadas suporte (b) nas extremidades, cada uma com dois rolos de apoio de  $\varnothing 1.400\text{mm}$ , a bancada da extremidade de saída incorpora, além disso, dois rolos axiais  $\varnothing 1.000\text{mm}$  para limitarem o movimento axial do tambor. Uma coroa dentada (c) aparafusada ao aro de rolamento do lado da saída. Uma bancada de accionamento (d) equipada com motor + reductor de 45Kw (incluindo a transmissão destes mediante polias e correias) accionado por transmissão mediante rodas e cadeia de rolos simples.



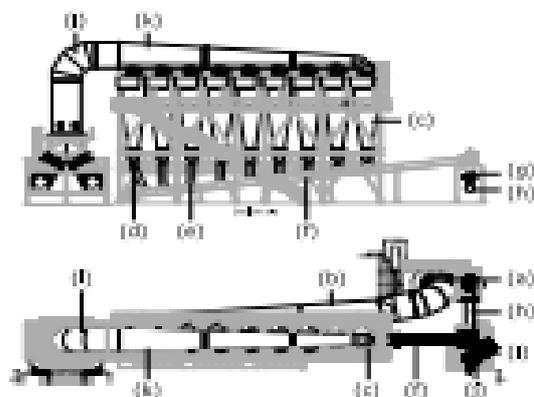
(6) Cotovelo saída tambor, composto por uma junta fecho tambor, uma tremonha de descarga (a). Um sem-fim (b)  $\varnothing 860 \times 6.000\text{mm}$  equipado com motorreductor de 7,5Kw com accionamento directo. Uma roda alveolar (c)  $\varnothing 1.000\text{mm}$  equipada com motorreductor de 7,5Kw accionada por transmissão mediante roda, pinhão e cadeia de rolos simples, para a descarga de aparas secas.



(7) Separador de aparas secas, composto por uma tubagem (a) entre o cotovelo saída tambor e o colector entrada (b) equipado com duas juntas de dilatação faixa compensadora, que distribui os gases para os nove ciclones separadores de aparas (c)  $\varnothing 2.500\text{mm}$ , com as respectivas tremonhas (d) abaixo de cada ciclone. Nove tremonhas de conexão (e) entre as tremonhas e o transportador de cadeia (f) TK 35° HP-H equipadas com motorreductor de 30Kw e accionadas por transmissão mediante roda, pinhão e cadeia de rolos simples. Uma roda alveolar (g)  $\varnothing 800\text{mm}$  equipada com

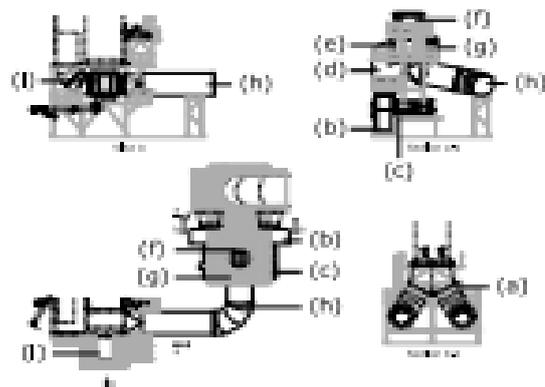
## RECALOR, S.A.

motorreductor de 5,5Kw accionada por transmissão mediante roda, pinhão e cadeia de rolos simples, para a descarga de aparas secas. Um sem-fim tangencial (h) d.800 STG equipado com motorreductor de 18,5Kw com accionamento directo. Um sem-fim vertical (i) d.1.150 TMV equipado com motorreductor de 45Kw com accionamento directo, tendo acopladas à saída deste duas válvulas desviadoras (j) com accionamento pneumático. Um colector de saída (k) equipado com duas juntas de dilatação faixa compensadora. Uma tubagem (l) equipada com duas juntas de dilatação faixa compensadora entre o colector de saída e os ventiladores.



(8) Ventiladores e chaminé de emergência, compostos por duas borboletas de arranque ventiladores (a) ø2.130mm com accionamento pneumático. Dois ventiladores radiais (b) tipo V-160 sobre bancada suporte ventilador (c), equipados com motor de 800Kw, com controlo de vibrações, temperatura dos rolamentos, variador de frequência e com accionamento directo. Uma bifurcação saída ventilador (d) equipada com duas juntas de dilatação faixa compensadora. Uma tubagem de escape (e). Acoplada a esta uma chaminé de emergência (f) ø2240mm com accionamento pneumático para a extracção de gases e uma borboleta hermética (g) 2.500 x 1.750mm com accionamento pneumático para a extracção de gases para o filtro. Uma tubagem de retorno de gases (h) equipada com uma junta de dilatação de empanque, um carretel deslocável (i) 2.010 x 2.010mm com accionamento pneumático e uma junta de dilatação faixa compensadora que conecta os ventiladores à câmara de mistura.

## INSTALAÇÃO DE SECAGEM DE APARAS



### 1.2 PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO

Os gases quentes provenientes da caldeira (não é fornecida pela RECALOR) entram na câmara de mistura (1), onde são misturados com os gases de retorno para se conseguir uma temperatura desejada.

No separador de areia e faíscas (2) o grupo de ciclones encarrega-se de limpar de areia e faíscas os gases, antes de entrarem no processo de secagem. Estas são extraídas do processo através do sistema colector de areia e cinzas (3).

Uma vez limpos e homogeneizados, os gases entram na parte inferior do pré-secador "flash" (4). No tubo ascendente alimentam-se as aparas húmidas (100% de humidade) e o fluxo de gás ascendente classifica o material alimentado. O material grosso e as partículas estranhas (pedras, peças metálicas, buchas, etc.) caem e são descarregadas através da roda alveolar colocada na parte inferior do "flash". As aparas são elevadas e, durante o percurso para o tambor (5), é efectuada uma primeira secagem.

O fluxo de gases transporta o material através do tambor, provocando um avanço com a queda natural deste. Devido à alteração das secções livres, consegue-se uma classificação das aparas ao longo do percurso no tambor. A rotação do tambor eleva o produto e evita a formação de depósitos de material.

No fim do tambor, as aparas com uma humidade aprox. de 2% passam ao cotovelo saída tambor (6), onde aprox. 60 a 80% das partículas saem do processo através do sistema de descarga de material seco.

O material restante é transportado até ao separador de aparas secas (7), aspirado pelos ventiladores (8), onde o grupo de

## RECALOR, S.A.

ciclones de alto rendimento separa aprox. 99% das partículas. Estas saem do processo através do sistema de descarga de material seco.

Parte dos gases é reciclada na câmara de mistura através da tubagem de retorno de gases (8) para serem misturados com os gases quentes.

Os restantes gases saem para a atmosfera através do filtro (não é fornecido pela RECALOR) ou da chaminé.

### 1.3 TRANSPORTE, MANUTENÇÃO E ARMAZENAMENTO

#### 1.3.1 TRANSPORTE

É da responsabilidade da RECALOR o envio da totalidade dos componentes incluídos no fornecimento. Devido às dimensões destes, serão necessários vários transportes, incluindo especiais.

#### **IMPORTANTE!**

**Aquando da recepção dos diferentes componentes da instalação, deve-se controlar a correspondência entre os documentos e a mercadoria e verificar o estado desta, verificando se ela se poderá ter danificado durante o transporte. Caso seja detectado algum defeito, deve-se contactar a RECALOR.**

#### 1.3.2 MANUTENÇÃO

Efectuar as operações de descarga dos componentes com cuidado, fazendo uso dos elementos destinados ao seu manuseamento correcto. Utilizar elementos adequados, tais como lingas ou semelhantes, tendo por objectivo não danificar os componentes.

#### 1.3.3 ARMAZENAMENTO

Devido ao facto de o processo de montagem se poder prolongar durante um longo período de tempo, recomenda-se que os componentes estejam ao abrigo da humidade, limpos e secos. Se tal não for possível, recomendamos que pelo menos os elementos mais sensíveis à oxidação estejam.

Nota: O acabamento superficial nas zonas onde se coloca o isolamento térmico está revestido com duas camadas de primário. Nas superfícies sem isolamento adiciona-se uma camada de acabamento. As partes com superfícies mecanizadas estão revestidas com uma camada de verniz especial antioxidante.

## INSTALAÇÃO DE SECAGEM DE APARAS

#### **IMPORTANTE!**

**Em caso de longos períodos de tempo de armazenamento, devem-se rever regularmente as partes revestidas de verniz especial antioxidante.**

### 2 MONTAGEM

#### 2.1 CIMENTAÇÃO

#### **IMPORTANTE!**

**Antes do início dos trabalhos de montagem da instalação, recomendamos que se tenham acabado previamente os trabalhos de cimentação, verificando-se as dimensões indicadas no plano de cimentação e respeitando-se especialmente a distância entre as cimentações de apoio das bancadas (em que a dilatação longitudinal do tambor já foi tida em conta).**

**A RECALOR desaconselha a utilização de cimentos rápidos. Devem-se respeitar os tempos mínimos de endurecimento do betão.**

A cimentação das escadas só deve ser efectuada depois da montagem dos aparelhos.

Todas as cimentações devem ser 50mm mais baixas do que as alturas finais indicadas no plano. As alturas definitivas serão conseguidas depois de a maquinaria estar colocada.

#### 2.2 MONTAGEM COMPONENTES

Existe unicamente uma posição de montagem de todos os seus componentes. Não é possível a montagem de um componente numa posição incorrecta devido à concepção da instalação. Esta indicação também é válida para a montagem das estruturas.

#### 2.3 MONTAGEM ESPECÍFICA TAMBOR

#### **IMPORTANTE!**

**As duas bancadas de apoio do tambor devem estar montadas sobre o mesmo plano e, além disso, devem estar paralelas uma em relação à outra.**