



**Produto & Produção, vol. 19, n.3, p.1-22. 2018**

**RECEBIDO EM 08/03/2019. ACEITO EM 19/08/2019.**

**Maurício Rodrigues**

*Engenharia de Manutenção, PUCRS, Brasil*  
mauricio.rodrigues12@hotmail.com

**Análise da estratégia de manutenção em um sistema de picagem de madeiras utilizando a manutenção centrada na confiabilidade (MCC)**

**Analysis of the maintenance strategy in the wooden Picture system using reliability centered maintenance (RCM)**

### **Resumo**

Na atualidade, as metas e objetivos das empresas são traçados para alcançar o seu máximo desempenho produtivo, tornando-as competitivas. Para isso é imprescindível, além da operação dentro de parâmetros pré-estabelecidos, o bom gerenciamento do sistema de manutenção, elevando a disponibilidade e confiabilidade para a planta industrial. Uma técnica que pode auxiliar na implantação ou revisão de planos de manutenção é a Manutenção Centrada na Confiabilidade compilando várias técnicas, auxiliando na decisão da política de manutenção. Nesta linha, o presente trabalho analisou a estratégia de manutenção utilizada em um redutor de velocidade que apresenta alto grau de criticidade para o processo de produção de cavacos, através da análise de suas falhas e restrição das mesmas propondo melhorias. O estudo se baseou em identificar as falhas funcionais do redutor, previu formas alternativas de evitá-las bem como mensurou uma redução de cerca de 70% no custo anual de manutenção para este equipamento.

**Palavras-chave:** Disponibilidade, Falha, Manutenção Centrada na Confiabilidade.

### **Abstract**

At present, the goals and objectives of the companies are designed to achieve their maximum productive performance, making them competitive. For this, it is essential, besides the operation within pre-established parameters, the good management of the maintenance system, raising the availability and reliability for the industrial plant. One technique that can aid in the implementation or revision of maintenance plans is Reliability Centered Maintenance compiling various techniques, assisting in the decision of the maintenance policy. In this line, the present work analyzed the maintenance strategy used in a speed reducer that presents a high degree of criticality for the chip production process, through the analysis of its failures and the restriction of the same proposing improvements. The study was based on identifying functional failures of the gear unit, predicted alternative ways of avoiding them, and measured a reduction of about 70% in annual maintenance cost for this equipment.

**Keywords:** Availability, Failure, Reliability Centered Maintenance.

## 1. Introdução.

---

As exigências cada vez maiores da sociedade para que as empresas atuem de forma responsável, prezando pela segurança e meio ambiente, representam um grande desafio. Manter os ativos de forma que os mesmos trabalhem na sua melhor condição, produzindo eficientemente sem que a falha gere acidentes é uma preocupação cada vez maior das áreas de manutenção dessas empresas. (Moreira, 2005).

A condução moderna dos negócios requer uma mudança profunda de mentalidades e de posturas. A gerência moderna deve estar sustentada por uma visão de futuro e regida por processos de gestão onde a satisfação plena de seus clientes seja resultante da qualidade intrínseca dos seus produtos e serviços e a qualidade total dos seus processos produtivos seja o balizador fundamental. (Kardec e Nascif, 2009).

O trabalho da manutenção está sendo enobrecido onde, cada vez mais, o pessoal da área precisa estar qualificado e equipado para evitar falhas e para corrigi-las. (Kardec e Nascif, 2009). Neste contexto, é importante o aumento da disponibilidade dos equipamentos, principalmente daqueles que constituem os gargalos de produção. Para isso, um bom planejamento de manutenção é essencial. O desempenho insatisfatório das máquinas, a manutenção ineficaz e tempos de manutenção corretiva elevados levam ao aumento das perdas de produção, perdas de mercado, perdas de oportunidade e redução de lucros, entre outras consequências indesejáveis. (Nascif, 2000).

Dentre as várias práticas adotadas pelas empresas de classe mundial, como forma de garantir a sua competitividade e a consequente perpetuação no mercado, está a prática da metodologia da Manutenção Centrada na Confiabilidade – MCC ou RCM (do inglês *Reliability Centered Maintenance*). A metodologia MCC é usada para determinar os requisitos de manutenção de qualquer item físico no seu contexto operacional. Para isso, a metodologia analisa funções e padrões de desempenho: de que forma ocorre a falha, o que causa cada falha, o que acontece quando ocorre a falha e o que deve ser feito para preveni-la. Como resultado, obtém-se um aumento da disponibilidade, o que permite um aumento de produção. (Nascif, 2000). A metodologia MCC surgiu em meados dos anos 70 na indústria aeronáutica comercial americana e vem sendo progressivamente adaptado pelas empresas em todo o mundo. (Assis, 2004).

Segundo a ABRAMAN (Associação Brasileira de Manutenção) (2013), a ferramenta mais utilizada pelas empresas brasileiras ao longo do período, para promover a qualidade da manutenção é o 5S, muito mais pela facilidade de implantação, operação e baixa complexidade de manutenção do que pela sua eficácia. Longe de ser uma ferramenta especificamente aplicada à manutenção, o 5S é muito poderoso para organização.

Já ferramentas como MCC e 6 sigmas apresentam menor utilização, embora sejam mais recentes; o que acarreta em uma amostra menor. Há dificuldades na implantação da MCC dado à sua complexidade e seu custo inicial, somente sendo possível sua implantação a partir de uma sólida base de treinamento, capacitação e utilização de técnicas preventivas e preditivas. Já para a implantação dos 6 sigmas, as dificuldades de implantação passam também pelo custo inicial. (ABRAMAN, 2013).

Porém, na Tabela 1 se percebe que boa parte das empresas estão utilizando a metodologia MCC para gerar maior disponibilidade de ativos em suas plantas. A tendência para os próximos períodos é que essa e outras ferramentas sejam mais aplicadas, ao passo que a adoção da ferramenta 5S diminua.

Tabela 1 - Ferramentas utilizadas para promover a qualidade de manutenção no Brasil (%).  
Adaptado do Documento Nacional da Manutenção - ABRAMAN (2013).

Ano	MCC	5S	FMEA	RCFA	CCQ	TPM	6 Sigma	Outros
2013	19,25	23,26	16,31	17,91	-	12,83	10,43	0,00
2011	17,03	27,86	17,34	15,79	-	12,69	9,29	0,00
2009	16,48	28,74	14,94	16,09	-	13,03	10,73	0,00
2007	18,65	27,22	22,02	17,13	-	10,09	0,92	3,98
2005	15,20	41,18	-	-	10,78	15,69	7,35	9,80
2003	20,31	37,50	-	-	8,33	16,15	5,73	11,98
2001	17,35	37,90	-	-	11,42	14,61	-	18,72
1999	7,62	47,45	-	-	16,29	20,79	-	16,85
1997	2,89	46,24	-	-	12,14	18,50	-	20,23
1995	-	39,83	-	-	17,37	21,61	-	21,19

Através da metodologia MCC, o presente artigo tem como objetivo geral executar a análise nos redutores de velocidade aplicados no processo de picagem de madeiras em uma empresa do setor de celulose e papel, analisando suas formas de falha de forma a estabelecer a melhor estratégia de manutenção para o equipamento.

Como objetivos específicos, pode-se salientar a identificação do sistema e coleta de dados quanto ao seu funcionamento e a análise dos modos e efeitos de falha prevendo suas consequências funcionais, identificando o tipo de atividade de manutenção adequada ao equipamento. Todos os passos estão estruturados nas sete questões básicas da MCC.

Os redutores de velocidade, que são objeto de estudo neste trabalho, representam alta criticidade para o processo produtivo, o que implica em maiores cuidados quanto ao seu monitoramento. Porém, ainda assim já foram evidenciadas falhas catastróficas no equipamento acarretando maiores custos de manutenção.

A importância desse estudo está associada à necessidade das empresas e seus gestores manterem-se atualizados na questão de manutenção de seus equipamentos, visto que os processos aumentam sua complexidade e, por consequência, a necessidade de seu gerenciamento. Desta forma, os resultados do aumento da disponibilidade dos equipamentos e a minimização da manutenção corretiva emergencial podem refletir diretamente em uma condição competitiva favorável à empresa.

O presente artigo se delimitou a colher informações sobre as maiores falhas funcionais do redutor de velocidade de modo a verificar os modos de falha que proporcionam estes eventos e analisá-los, prevendo estratégias para que essas falhas funcionais não ocorram, verificando os ganhos em custo de manutenção do equipamento.

O artigo está organizado em cinco seções. A segunda seção é o Referencial Teórico proporcionando a base de literatura para execução do trabalho. A terceira seção é composta por Materiais e Métodos onde se indica as ferramentas necessárias para realização do estudo, através da metodologia de pesquisa e de trabalho. A Análise de Resultados é a seção que contempla a união de todas as informações obtidas no decorrer do trabalho, gerando resultados específicos para o problema de pesquisa. Por fim a Conclusão do artigo, que apresenta o fechamento do trabalho e sugestão de trabalhos futuros.

## 2. Referencial Teórico.

### 2.1. Confiabilidade na manutenção.

Na confiabilidade, considera-se que falha da função requerida significa: cessação de funcionamento ou, mais frequentemente, degradação de um parâmetro de funcionamento até um nível considerado insatisfatório. (Assis, 2004). Já pela definição da norma NBR 5462 (1994), falha é o término da capacidade de um item em desempenhar sua função requerida. Entretanto, o item pode estar degradado ou ao mesmo tempo avariado e ainda não causar uma falha. Também, de acordo com a norma, a esse fenômeno é atribuído o nome de defeito, que significa qualquer desvio de uma característica de um item em relação aos seus requisitos.

A MCC define basicamente dois tipos de falha:

- Falha funcional: incapacidade de um item de desempenhar uma função específica dentro de limites desejados. Também é conhecida como estado de falha;

- Falha potencial: condição identificável e mensurável que indica uma falha funcional pendente ou em processo de ocorrência. Muitas vezes se apresenta em forma de defeito. Esses pontos importantes podem ser vistos na Figura 1.

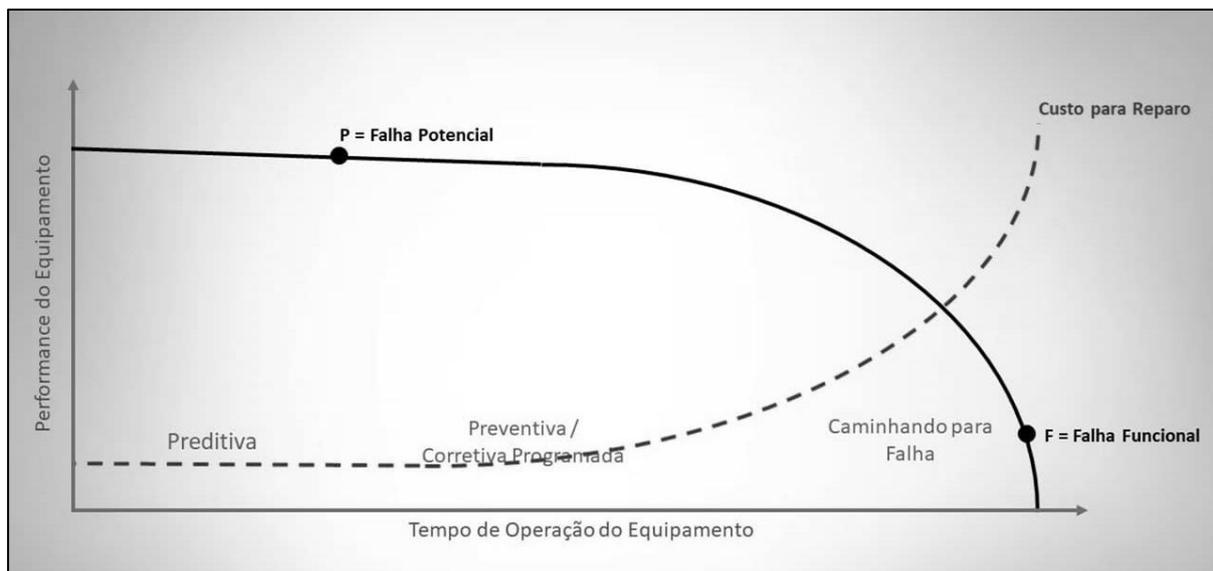


Figura 1 - Curva P-F x Custo para Reparo.  
Engeteles (2017).

O ponto P da Figura 1, representa onde a falha começou a ser detectada (falha potencial), e o ponto F indica a falha funcional do equipamento. O intervalo de monitoramento do equipamento deve ser menor do que o intervalo P-F, pois assim se pode detectar a falha potencial antes que ela atinja seu estágio de falha funcional, podendo prever o momento de necessidade da manutenção. A curva do custo para reparo representa a elevação do custo de acordo com a evolução da falha, ou seja, à medida que a falha diminui a performance do equipamento, o custo para reparo se eleva na mesma proporção, chegando ao seu máximo quando se tem a falha funcional, onde o equipamento não consegue exercer suas funções devido à catástrofe gerada pela falha.

Utilizando a curva P-F pode-se estimar que características indicam uma redução de resistência à falha e quais os intervalos de inspeção ou acompanhamento preditivo, por exemplo. No caso de uma mancal de rolamento, as características que indicam a redução de resistência à falha são: vibração, contaminação do óleo lubrificante, ruído e aquecimento. (Kardec e Nascif, 2009).

Obviamente quanto maior o período para identificar e sanar a falha, maior será o custo para reparo. A curva de reparo é inversamente proporcional a Curva P-F.

O custo para manter um plano de manutenção preventiva é um custo controlado. Sabe-se previamente quanto irá se gastar, quanto tempo se levará para a execução de cada atividade, quando realizar as atividades e se caso for encontrado algum tipo de falha, ela estará em seu estágio inicial e será mais simples e, conseqüentemente, terá um custo menor de reparo. (Engeteles, 2017).

Assis (2004), ainda destaca a falha súbita ou catastrófica, que é resultante da variação súbita de uma ou mais características de um órgão, normalmente com origem extrínseca (erro de operação, fenômeno atmosférico, etc.), inutilizando-o. A sua ocorrência é casual e, logo, imprevisível.

## **2.2. Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC).**

---

Se definirmos que manutenção é a garantia de que os itens físicos continuam a cumprir as funções desejadas, a Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC) é um processo usado para determinar os requisitos de manutenção de qualquer item físico no seu contexto operacional. É uma metodologia que estuda um equipamento ou um sistema em detalhes, analisa como ele pode falhar e define a melhor forma de fazer manutenção de modo a prevenir a falha ou minimizar as perdas decorrentes das falhas. (Kardec e Nascif, 2009).

Segundo Viana (2006), a MCC se coloca como um importante instrumento para tomada de decisão gerencial, sobre quais diretrizes da política de manutenção a serem seguidas por um processo industrial.

Segundo Moubray (1997), o prazer em ver os itens em ótimas condições levam os engenheiros da manutenção a acreditar que o objetivo seja preservar a confiabilidade inerente do equipamento, ou seja, quando é feita a manutenção do equipamento, o estado de preservação deve ser aquele que permita ao item continuar a desempenhar a sua função e não somente respeitar uma recomendação de fabricante. A MCC apresenta-se como uma filosofia de trabalho, um processo usado para determinar o que deve ser feito para assegurar que qualquer item físico continue a fazer os que os utilizadores querem que ele faça no seu contexto operacional, ou seja, é uma metodologia que identifica, no contexto de cada operação, quais as ações mais indicadas para a preservação das funções nela existente.

Neste processo é essencial identificar o índice de confiabilidade de cada equipamento e do processo como um todo e como essa confiabilidade pode ser melhorada. Pela sua característica científica requer uma equipe de manutenção mais especializada para o desenvolvimento dos estudos da confiabilidade. Um bom estudo da confiabilidade pode dar ao sistema maior racionalidade na aplicação dos recursos destinados à manutenção, melhorar a gestão de estoques e as paradas programadas. A MCC vem auxiliar na otimização ao nível da disponibilidade dos equipamentos e nos seus custos, permitindo reduzir de 40% a 70% as intervenções periódicas. (Moubray, 1997).

As estratégias de manutenção em vez de serem aplicadas independentemente, são integradas para tirarmos vantagens dos seus pontos fortes, de modo a aperfeiçoar a operacionalidade e eficiência da instalação e dos equipamentos.

A Tabela 2 demonstra pontos principais da manutenção através de diferentes pontos de vista, tradicional e centrado na confiabilidade.

Tabela 2 - Análise comparativa entre a Manutenção Tradicional e a MCC.  
Adaptado de Moubray (1997).

Questões	Manutenção Tradicional	MCC
Foco	Equipamento	Função do sistema
Objetivo	Manter o equipamento	Preservar a função do sistema
Atuação	Componente (parte)	Sistema (todo)
Atividades	O que pode ser feito	O que deve ser feito
Dados	Pouca importância	Muita importância
Documentação	Pouca	Fundamental
Metodologia	Empírica	Estruturada
Ação	Desgaste no equipamento	Consequência da falha
Padronização	Não	Sim

De acordo com Assis (2004), a MCC consiste basicamente em encontrar a resposta para sete questões aplicadas a cada órgão, equipamento ou sistema. São elas as seguintes:

1. Quais as funções do equipamento (capacidade, qualidade, nível de serviço, ambiente, custos e segurança) e os níveis (ou *standards*) de desempenho requeridos?
2. De que maneiras podem estas funções falhar?
3. O que causa cada falha de função?
4. O que acontece quando uma falha ocorre?
5. Qual a importância das consequências de cada falha?
6. O que pode ser feito para evitar cada falha?
7. O que fazer quando não é possível ou justificável uma política de manutenção preventiva?

Segundo Fleming et al (1999), o desenvolvimento de estudo de MCC, bem como a implementação do plano por ela gerado, depende fundamentalmente do engajamento gerencial. Em sistemas onde tal engajamento era real, as análises transcorreram de modo muito mais produtivo. A revisão periódica do plano de manutenção é também de grande importância para se acompanhar o surgimento de novas técnicas de inspeção e monitoração dos componentes do sistema, tal que as técnicas de manutenção propostas no plano sejam sempre as mais eficazes dentre todas as opções existentes no mercado a cada momento.

Muitas empresas que adotaram essa metodologia (virgula retirada) obtiveram ganhos expressivos de competitividade e atingiram ou consolidaram a liderança nos seus segmentos de atuação. O sucesso na implantação desse modelo é certo, desde que se disponha de determinação, liderança, tempo e uma manutenção organizada – produto de um conjunto de ações de engenharia de manutenção anteriormente consolidado. (Fernandes, 2003).

De acordo com Marques e Ribeiro (2012), uma vez que se tem o aumento da disponibilidade, ou utilização da máquina, ocorre a melhora de outros fatores como redução de custos e aumento da produtividade.

Para Kardec e Nascif (2009), a implantação da análise pela MCC gera quatro resultados principais:

1. Melhoria da compreensão do funcionamento do equipamento ou sistema, proporcionando uma ampliação de conhecimentos aos participantes de especialidades diversas;
2. Desenvolvimento do trabalho em grupo, com reflexos altamente positivos na análise, solução de problemas e estabelecimento de programas de trabalho;
3. Definição de como o item pode falhar e das causas básicas de cada falha, desenvolvendo mecanismos de evitar falhas que possam ocorrer espontaneamente ou causadas por atos das pessoas;
4. Elaboração dos planos para garantir a operação do item em um nível de performance desejado. Esses planos englobam:
  - Planos de Manutenção;
  - Procedimentos Operacionais;

- Lista de modificações ou melhorias, normalmente a cargo da Engenharia, que fogem ao escopo de trabalho da Operação e da Manutenção, e são necessárias para que o item atinja e permaneça no patamar de performance desejado.

### 2.3. Ferramentas auxiliares na execução da MCC.

A identificação da função de cada componente, seus modos de falha, seus efeitos e suas causas e, por consequência, a classificação dos graus de criticidade, são resultados da aplicação da ferramenta de Análise de Modos e Efeitos de Falha (FMEA - do inglês *Failure Mode and Effects Analysis*) estendida. A FMEA é uma técnica de confiabilidade que tem como objetivos: (i) reconhecer e avaliar as falhas potenciais que podem surgir em um produto ou processo, (ii) identificar ações que possam eliminar ou reduzir a chance de ocorrência dessas falhas, e (iii) documentar o estudo, criando um referencial técnico que possa auxiliar em revisões e desenvolvimentos futuros do projeto ou processo. Após a definição da criticidade, os itens críticos e potencialmente críticos devem ser incluídos no programa de manutenção. (Fogliatto e Ribeiro, 2009).

Devido à sua flexibilidade e capacidade de representar amostras de tempo até a falha com comportamentos distintos, a distribuição de Weibull apresenta ampla aplicação no estudo de confiabilidade industrial. Segundo Lafraia (2001), esta distribuição explica o comportamento de sistemas cuja falha nasce da competição entre diversos modos de falha.

A distribuição de Weibull é apropriada na modelagem de tempos até a falha apresentando funções de risco constante, estritamente crescente e estritamente decrescente. Trata-se de uma das distribuições mais importantes na modelagem de confiabilidade devido sua flexibilidade e capacidade de representação de amostras de tempos até a falha de tamanho pequeno, supor dados seguindo uma distribuição de Weibull costuma ser um bom ponto de partida na análise. (Fogliatto e Ribeiro, 2009).

Dentre todos os parâmetros, o mais importante é o efeito de  $\beta$  (parâmetro de forma) na distribuição de Weibull. Analisando a Figura 2, a distribuição de Weibull com o  $\beta < 1$  apresenta taxa de falha que diminui com tempo (mortalidade infantil ou prematura). Para a distribuição com o  $\beta$  próximo ou igual a 1 é caracterizada pela taxa de falha razoavelmente constante (vida útil ou de falhas aleatórias) e, finalmente, para distribuições de Weibull com o  $\beta > 1$  a característica é o aumento da taxa de falha com o passar do tempo (falhas de desgaste ou velhice).

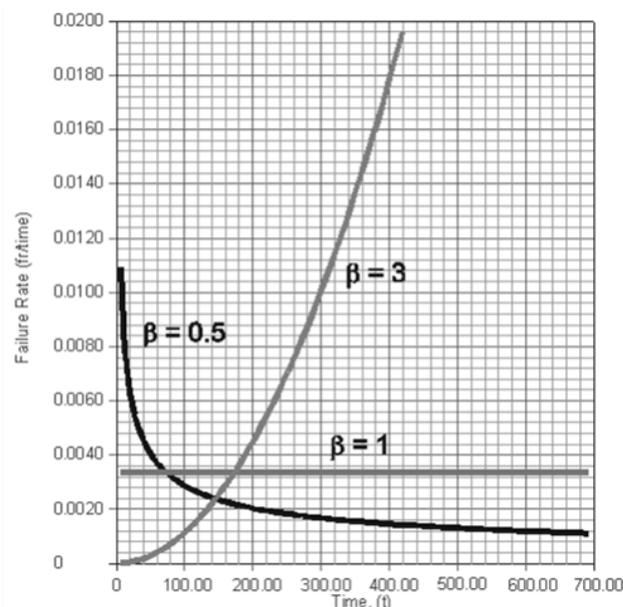


Figura 2 - Variação da taxa de falha de acordo com  $\beta$ .  
Adaptado de Reliasoft Hot Wire (2005).

Estes valores de  $\beta$  abrangem as três fases da "clássica curva da banheira", ou seja, uma distribuição Weibull mista com uma subpopulação de  $\beta < 1$ , uma subpopulação de  $\beta = 1$  e uma outra com o  $\beta > 1$ . A Figura 3 mostra a curva da banheira.

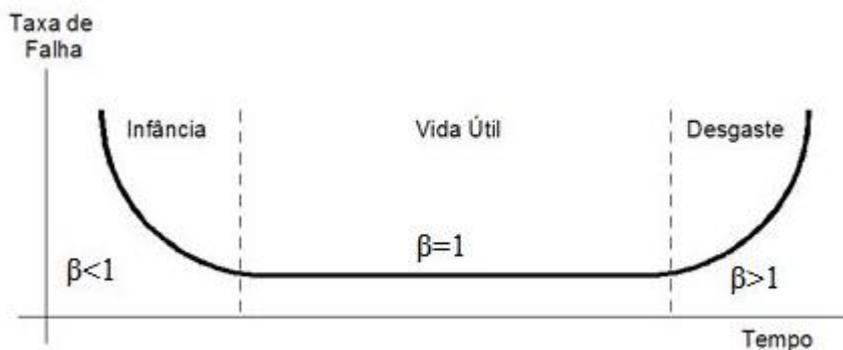


Figura 3 - Representação da curva da banheira.  
Adaptado de Moldes Injeção de Plásticos.

### 3. Materiais e Métodos.

O objeto de estudo se enquadra em classificações que o delimitam quanto a sua estrutura de pesquisa. Do ponto de vista de sua natureza, pode-se dizer que a pesquisa é aplicada, pois objetiva gerar conhecimentos para aplicações práticas dirigidos à solução de problemas específicos envolvendo verdades e interesses locais.

Quanto à abordagem do problema, o estudo é quantitativo, pois considera que tudo pode ser quantificável, o que significa traduzir em números, opiniões e informações para classificá-los e analisá-los. Requer o uso de técnicas estatísticas (percentagem, média, mediana, desvio, padrão, correlação, ...).

Quanto à seus objetivos, a pesquisa pode ser classificada como descritiva, pois objetiva descrever as características de certa população ou fenômeno, ou estabelecer relações entre variáveis; envolvem técnicas de coleta de dados padronizadas (observação, questionário); assume em geral a forma de levantamento.

Do ponto de vista de seus procedimentos técnicos, classifica-se como pesquisa ação, pois sua concepção está associada à uma ação, os pesquisadores e participantes da situação ou problema estão envolvidos de modo cooperativo ou participativo. (Gil, 2008).

O trabalho foi dividido em 3 etapas de forma a organizar o processo de realização das atividades.

1. Identificação do sistema e coleta de informações
2. Análise de modos e efeitos de falha (FMEA)
3. Identificação do tipo de manutenção adequado

#### 3.1. Identificação do sistema e coleta de informações.

O pátio de madeira é responsável pela geração e transporte de cavacos, obedecendo especificações, que são utilizados na produção de celulose. Dentre vários processos destaca-se o sistema de picagem de madeiras, onde seu funcionamento é descrito a seguir:

O material a ser processado é introduzido forçadamente na máquina através de um transportador até a bica de alimentação do picador para queda contra o rotor. O material é então picado, sendo cortado pelo movimento rotativo das facas na contra faca. A saída do material processado é traseira, onde a extração e transporte é feita através de rosca dosadora. A capota do rotor pode ser facilmente removida para a troca das facas e manutenção no disco através de um sistema com cilindro hidráulico. O sistema de fixação das facas é feito através de uma placa de desgaste que fixa a faca sobre o suporte inferior, que comprime a faca contra a placa. Todos estes dispositivos são facilmente intercambiáveis. (Demuth, 2013). O sistema de picagem de madeiras é ilustrado na Figura 4.

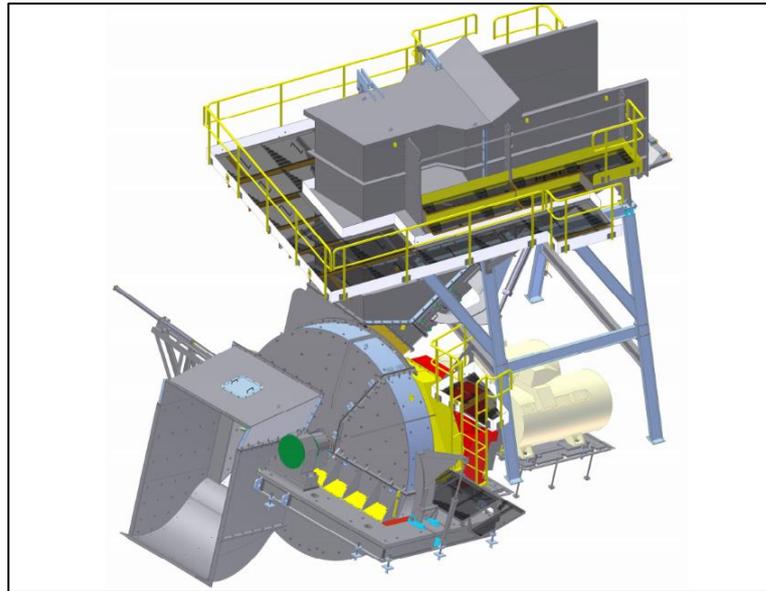


Figura 4 - Sistema de picagem de madeiras.  
Adaptado de Demuth (2013).

Sistemas são conjuntos de componentes, físicos ou virtuais, entre os quais se possam encontrar ou definir alguma relação de funcionalidade. Os subsistemas são partições de um sistema multifuncional, especializados na execução de uma ou mais funções do sistema. (Siqueira, 2005).

Dentro desse sistema, está inserido um equipamento rotativo de fundamental importância para que o processo aconteça. O redutor de velocidade utilizado nesse processo é de eixos paralelos com engrenagens helicoidais composto de dois eixos de entrada (dois motores de acionamento) e um eixo de saída (suas especificações técnicas e desenhos podem ser vistos nos Anexos 1 e 2), a operação é realizada através de comandos dados do painel de controle do pátio de madeiras, onde o processo é constantemente controlado através de indicadores de desempenho, ligados a um sistema de intertravamento.

Sua função principal é transmitir movimento rotativo ao disco de facas para que seja realizado o corte das toras de madeira produzindo cavacos em tamanho padronizado atendendo a necessidade do processo de produção de celulose.

A coleta de dados de ocorrências que causaram falha no equipamento foi realizada considerando o início de operação do equipamento em 2015. A base de dados consultada foi o sistema de gestão de manutenção utilizado pela empresa, o SAP. Esse sistema contempla todos os tipos de atividade de manutenção e operação realizadas na empresa. É importante analisar de forma correta os dados identificando qualquer tipo de divergência ou também incoerência nas informações, como por exemplo, informações repetidas, falta de detalhamento da atividade, entre outros.

Outra importante fonte de dados utilizada foi o manual de operação e manutenção do fabricante Demuth. Através do documento foi possível identificar detalhes do processo de operação e também componentes importantes para o correto funcionamento do processo. Os detalhes podem estar diretamente ligados à qualquer modo de falha encontrado no FMEA que foi realizado na etapa seguinte.

A metodologia MCC recomenda que na seleção dos sistemas que serão submetidos à análise, devem ser levados em conta as suas significâncias para a segurança do operador, disponibilidade do equipamento e economia do processo (Siqueira, 2005).

Então, considerando a significância de disponibilidade do equipamento para o processo, o subsistema redutor de velocidade foi submetido às etapas seguintes da análise de MCC, pois desde seu início operacional houve recorrência de falhas impactando em alto custo de manutenção, ainda havendo possibilidade de perdas produtivas dependendo do estoque de cavacos disponível.

Na Figura 5 tem-se a visão esquemática do processo onde se dá destaque ao redutor de velocidade já identificando em detalhes os componentes suscetíveis à falha funcional do sistema.

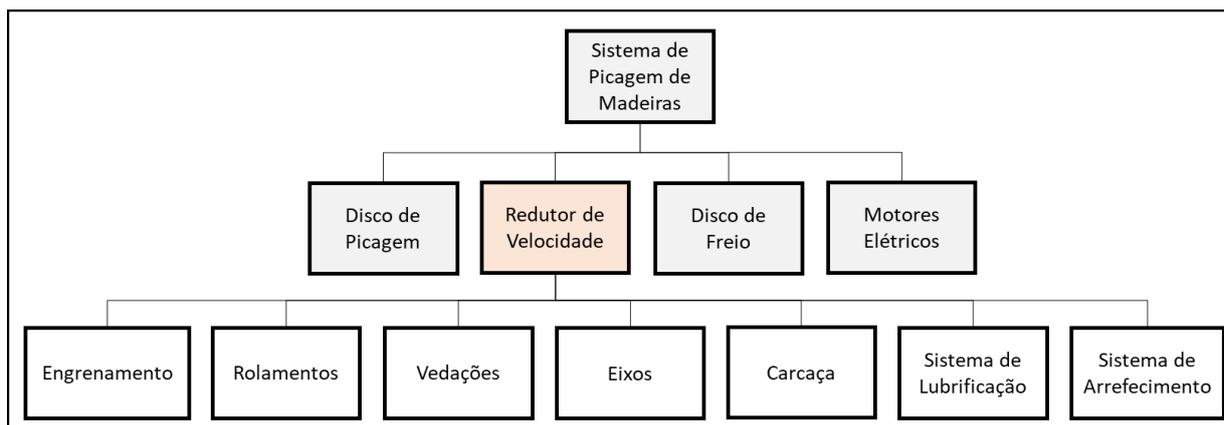


Figura 5 - Diagrama organizacional do equipamento com destaque para o redutor de velocidade.

Esta etapa do processo corresponde às questões 1 e 2 propostas pela metodologia MCC.

### 3.2. Análise de modos e efeitos de falha (FMEA).

A partir da seleção e identificação do subsistema de análise, é possível definir as funções dos componentes e suas respectivas falhas funcionais. O detalhamento desse processo pode ser verificado na planilha FMEA, no Apêndice 1.

A aplicação da FMEA inicia identificando a função de cada componente. A função é a razão pela qual o componente está instalado. Preservar a função é o objetivo central do programa de manutenção (Fogliatto e Ribeiro, 2009).

Tendo conhecimento das funções e falhas funcionais do equipamento, o próximo passo é identificar os modos de falha prováveis de ocorrência, indicando os seus respectivos efeitos. A correta execução da etapa anterior tem fundamental importância para o decorrer do estudo, pois é a base de informações para execução do FMEA.

Segundo Assis (2004), para cada modo de falha, é designado o índice de criticidade, *Risk Priority Number* (RPN), ou simplesmente risco. O RPN consiste basicamente na utilização de uma escala de índices que levam em consideração a probabilidade de ocorrência, a severidade ou criticidade e a probabilidade de detecção da falha, que podem ser verificados no Anexo 3. O produto desses três índices nos fornece o RPN, permitindo fixar a sua prioridade relativa nas atividades de prevenção.

Segundo Tatsch (2010), através do diagrama lógico de decisão de tarefas, é possível selecionar atividades efetivas contra o problema. Essa é uma grande vantagem em relação à manutenção estabelecida empiricamente onde muitas vezes se estabelece tarefas sem considerar a real efetividade das mesmas.

No total foram observados 16 modos de falha referentes ao redutor de velocidade, entretanto há 20 consequências desses modos de falha, que devem ser classificadas de acordo com seu potencial de risco. Na Tabela 6 as consequências das falhas são classificadas:

Classificação da consequência das falhas	
Escondida (potencialmente crítica)	8
Ambiental (crítica)	2
Operacional (crítica)	10

Tabela 6 - Classificação da consequência das falhas.

A falha escondida se refere a uma função cuja falha não se torna evidente para o operador ou o profissional de manutenção. Com a indicação da criticidade de cada modo de falha e também a

classificação da consequência das falhas, pode-se estabelecer quais possuem maior grau de risco e assim serem submetidos às próximas etapas de análise.

Na realização do FMEA também são determinadas as consequências das falhas, que, segundo Moubrey (1997), se essas consequências forem muito sérias, esforços consideráveis devem ser feitos para preveni-la, ou ao menos diminuir ou eliminar suas consequências.

Nesta fase tem-se a resposta para as questões básicas 3, 4 e 5 da análise MCC.

### **3.3. Identificação do tipo de manutenção adequado.**

Após a análise executada com a ferramenta FMEA deve-se identificar o que pode ser executado para evitar a falha e o que deve ser feito, caso a prevenção não seja apropriada.

Segundo Siqueira (2005), para ser aplicável, uma tarefa de manutenção deve garantir um dos seguintes objetivos: prevenir modos de falha, reduzir a taxa de deterioração, detectar a evolução das falhas, descobrir falhas ocultas, suprir necessidades e consumíveis do processo, reparar o item após a falha ou ainda, diminuir os efeitos e consequências das falhas.

Para seleção do tipo de manutenção adequado, foi utilizado o diagrama de decisão fornecido por Fogliatto e Ribeiro (2009), representado no Anexo 4. Neste ponto submete-se os modos de falha selecionados (no caso os mais críticos) ao diagrama de decisão, onde identifica-se o tipo de manutenção recomendado.

Na Tabela 7 é indicado o modo de falha com maior potencial de falha no equipamento (maior índice de criticidade) segundo a execução do FMEA.

<b>Conjunto</b>	<b>Componente</b>	<b>Modo de falha</b>
Redutor	Rolamentos	Quebra dos rolamentos por falta de lubrificação

Tabela 7 - Modo de falha analisado.

Nos rolamentos foram identificados quatro registros pela quebra, onde três foram ocasionados pela falta de lubrificação. No equipamento é realizada inspeção monitorada mensal, o que não é capaz de identificar constantemente o aumento de temperatura no equipamento. Outro fator importante é que existe o monitoramento da temperatura do óleo antes da sua entrada no equipamento para realizar a lubrificação, ainda assim não foi possível detectar o aumento da temperatura dos mancais que ocasionaram a quebra dos rolamentos.

Seguindo o digrama de decisão, identifica-se que é necessário uma atividade preditiva para monitoramento contínuo da temperatura dos mancais, principalmente por se justificar economicamente. A manutenção será baseada na condição.

Na Tabela 8 tem-se um comparativo entre antes e depois da aplicação de um monitoramento contínuo de temperatura dos mancais.

Modo de falha	ANTES				
	Tarefa indicada	Detalhe da tarefa	Responsável	Intervalo	Risco
Quebra dos rolamentos	Inspeção Termográfica	Monitoramento da temperatura do óleo antes de adentrar no equipamento	Operação	Contínuo	288
	DEPOIS				
	Tarefa indicada	Detalhe da tarefa	Responsável	Intervalo	Risco
	Inspeção Termográfica	Monitoramento da temperatura dos mancais de rolamento com intertravamento do sistema	Operação	Contínuo	72

Tabela 8 - Comparação de riscos antes e depois de atividade pró-ativa.

O modo de falha quebra dos rolamentos foi submetido à análise estatística pela distribuição de Weibull. Para esta análise utilizou-se o software Reliasoft Weibull ++<sup>®</sup> 7, usado extensivamente na análise de dados de vida na engenharia de confiabilidade devido sua grande versatilidade e simplicidade.

Através do software foram calculados os parâmetros  $\beta$  e  $\eta$ . Na Figura 9 visualiza-se as curvas obtidas:

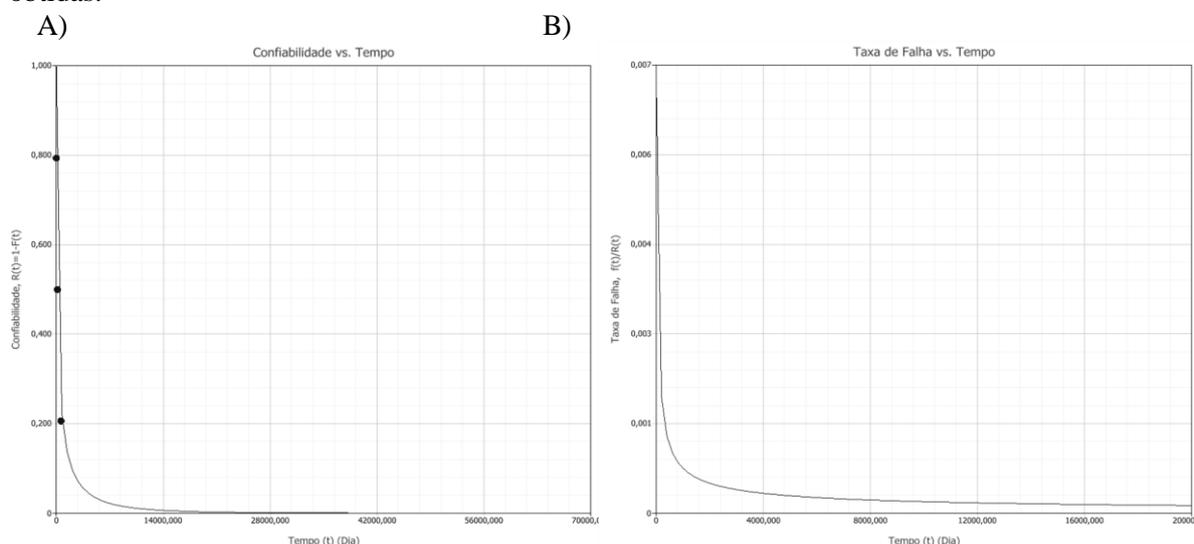


Figura 9 - Curvas de confiabilidade (A) e taxa de falhas (B)

O mecanismo de falha representado nos gráficos acima pode ser definido como mortalidade infantil, onde ocorre a perda brusca da capacidade funcional no início da vida do item (Siqueira, 2005). As causas prováveis que podem explicar o mecanismo identificado são: defeitos originados no projeto, na instalação ou na operação.

A MCC sugere que problemas de mortalidade infantil sejam resolvidos normalmente por ações únicas imediatas (Moubray, 1997). Os rolamentos são componentes de extrema importância no redutor de velocidade, então a proposta se baseia em uma melhoria ou reprojeção do sistema de lubrificação, que é responsável direto na ocorrência das falhas funcionais do redutor.

O sistema de lubrificação pode ser visto no Anexo 4, e é composto por uma unidade de lubrificação externa que tem como função principal abastecer os pontos necessários e também realizar a refrigeração do óleo, mantendo-o em temperatura adequada para o correto funcionamento do redutor. O sistema de lubrificação é forçado através de uma bomba de óleo, sendo que os pontos de lubrificação são os seis rolamentos e os dois estágios de Engrenamento do redutor. O próprio redutor é utilizado como reservatório de óleo pela unidade de lubrificação externa.

Na Tabela 10 é possível verificar a modificação do risco, considerando a melhoria do sistema de lubrificação.

Modo de falha	ANTES				
	Tarefa indicada	Detalhe da tarefa	Responsável	Intervalo	Risco
Quebra dos rolamentos	Inspeção Termográfica	Monitoramento da temperatura do óleo antes de adentrar no equipamento	Operação	Contínuo	288
	DEPOIS				
	Tarefa indicada	Detalhe da tarefa	Responsável	Intervalo	Risco
	Melhoria do Sistema de Lubrificação	Analisar o funcionamento do sistema de lubrificação, criando uma redundância dos pontos de lubrificação	Engenharia / Manutenção	-	96

Tabela 10 - Comparação de riscos antes e depois de atividade de redesenho do sistema de lubrificação

Nesta etapa tem-se a resposta para as questões 6 e 7 propostas pela metodologia MCC, fechando as sete questões básicas.

#### 4. Resultados e Discussões.

O trabalho foi desenvolvido em uma empresa do setor de celulose e papel, localizada na cidade de Guaíba no estado do Rio Grande do Sul.

Os resultados obtidos demonstram que o sistema de picagem de madeiras merece ter atenção especial quando analisado somente o subsistema redutor de velocidade, pois sua falha funcional implica em não produção de cavacos, que, além da possibilidade de perdas produtivas de celulose dependendo do estoque de cavacos disponível, gera um alto custo de manutenção do equipamento dependendo de seu modo de falha, podendo chegar a um nível catastrófico.

Conforme a aplicação da MCC no redutor de velocidades, foi sendo evidenciado cada modo de falha possível e como são tratados em questão de manutenção, chegando-se a indicação de quatro falhas funcionais associadas ao sistema de lubrificação necessitando avaliação para a não ocorrência de falhas relacionadas com esse sistema. Através do FMEA, identificou-se consequências de falha potencialmente críticas no sistema de lubrificação apresentando maior risco para os rolamentos, a falha pode ser detectada somente através de monitoramento contínuo da temperatura dos mancais de rolamento, devido a instantaneidade de ocorrência da falha por falta de lubrificante. Esse monitoramento estaria interligado ao painel de controle da operação e sujeito ao desligamento do redutor conforme o aumento de temperatura de qualquer um dos seis mancais de rolamento, indicando a necessidade de avaliação do equipamento antes de retornar à operação.

O custo anual de manutenção dos redutores, considerando somente as falhas relacionadas à falta de lubrificação, é de R\$200.000,00. Estima-se que o custo para implementação de um sistema de monitoramento fique em R\$60.000,00. O pay-back nesse caso seria de quatro meses.

Porém, a análise da distribuição de Weibull, nos indica que a falha se localiza na região de falha imediata, ou seja, a mortalidade infantil, onde o parâmetro de forma é  $\beta=0,41$ . Segundo o fabricante, o redutor tem uma estimativa de vida útil de 10 anos, desde que obedeça tanto aos parâmetros operacionais quanto à qualidade de estocagem. Isso indica que a manutenção está sendo executada antes do período necessário, ou seja, está havendo não aproveitamento da vida útil do equipamento. As falhas neste caso podem ser oriundas de defeitos originados no projeto, na instalação ou na operação.

De fato, entende-se que se deve realizar intervenção técnica no equipamento, pois está sendo pouco aproveitado, grande parte da vida útil do equipamento está sendo deixada de ser aproveitada, e consequentemente os custos aumentam.

Esse dado da distribuição de Weibull, demonstra que antes da necessidade de instalação de um monitoramento contínuo, o estudo do sistema de lubrificação junto ao fabricante se torna uma possibilidade que deve ser considerada. Mesmo que, segundo o diagrama de decisão, a implementação de manutenção preditiva se justifique economicamente.

Juntamente com o fabricante do equipamento, poderia ser elaborada uma forma em que o óleo chegasse aos componentes, não somente pelo sistema de lubrificação forçada, mas também por banho, o que acontece na maioria dos redutores de velocidade. Onde inclusive alguns, além do nível de óleo atingir todos os componentes, são dotados de caminhos no topo do equipamento que levam o óleo até os rolamentos, o que serviria como uma redundância no caso de falha do sistema de lubrificação.

Baseado na estimativa de redução de risco da ocorrência da falha do sistema de lubrificação, se teria uma redução anual de 74,3% no custo de manutenção do redutor, considerando a implementação de um sistema de monitoramento contínuo dos mancais de rolamento, como mostrado anteriormente na Figura 8.

Com o foco voltado para a melhoria do sistema de lubrificação, indicado na Figura 10, a redução anual no custo de manutenção do redutor seria em torno de 66,7%.

## **5. Conclusão.**

---

O presente artigo foi elaborado com o objetivo de analisar as formas de falha de um redutor de velocidade aplicado em um sistema de picagem de madeira, com o intuito de levar ao mínimo suas possibilidades de falha, indicando os modos de falha que tem alto risco para a funcionalidade do equipamento, e demonstrando a necessidade de melhoria nesses pontos.

A metodologia da MCC se apresentou como uma técnica que, se colocada corretamente em prática, traz grandes benefícios para a empresa. Cabe salientar que essa metodologia conta com a união de pessoas relacionadas com os problemas para evitar que eles aconteçam. Essa é a principal diferença da manutenção tradicional onde o foco está na solução de problemas.

A partir do sistema selecionado foi possível identificar o subsistema que deveria receber atenção necessária devido sua importância para o processo, analisando a função dos componentes e como poderiam falhar, através da metodologia FMEA que serve de auxílio à MCC.

Nesse caminho, se estabeleceu que a falha de maior risco para o equipamento estava relacionada com o sistema de lubrificação, o que faz muito sentido devido a recorrência de falhas já conhecidas que estavam relacionadas com esse componente do redutor.

A distribuição de Weibull, veio a compartilhar os modelos de confiabilidade, além das taxas de falha de acordo com a falha estudada. Assim, foi possível conhecer o comportamento das falhas do equipamento e identificar como agir perante esses dados.

A conjugação da MCC com os dados obtidos na distribuição de Weibull, proporcionou analisar as melhores alternativas a serem seguidas para a prevenção dos problemas relacionados com o sistema de lubrificação. A MCC indica a necessidade de se monitorar o equipamento, pois se justifica economicamente, porém a distribuição de Weibull, demonstra que se pode trabalhar na melhoria do sistema de lubrificação até mesmo junto com o próprio fabricante.

Ainda assim, foi possível indicar a redução do custo anual de manutenção do redutor de acordo com cada forma de atuação, seja com o monitoramento ou seja com a melhoria no sistema de lubrificação, sendo uma redução de 74,3% e 66,7%, respectivamente.

Por fim, a sugestão para trabalhos futuros fica no âmbito de identificar os equipamentos da empresa e selecionar os que apresentam maior criticidade para o processo produtivo, para receberem a metodologia MCC, pois esses são os que terão resultados com grande evidência de ganhos para a empresa como um todo.

## **Referências.**

---

ASSIS, R. **Apoio à Decisão em Manutenção na Gestão de Activos Físicos**. 2ª. ed. Lidel Zamboni: Portugal, 2004. 560p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MANUTENÇÃO. Documento Nacional de Manutenção. Curitiba, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5462: Confiabilidade e Manutenibilidade. Rio de Janeiro, 1994. 37 p.

DEMUTH. Manual de Operações Manutenção Picador à Disco DPDI 3800. Portão, Rio grande do Sul, 2013. 370p.

Engeteles. Curva PF: O que é e como usar. Disponível em: <https://engeteles.com.br/curva-pf/>. Acesso em: 23 setembro 2018.

FERNANDES, M. A.; Como aumentar a disponibilidade das máquinas e reduzir custos de manutenção. **Revista Máquinas e Metais**, edição Abril, p. 316-329, 2003.

FLEMING, P. V.; SILVA, M. F. da; FRANÇA, S. R. R. O.; Aplicando Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC) em Indústrias Brasileiras: Lições aprendidas. In: **Encontro Nacional de Engenharia de Produção**: 1999, Rio de Janeiro, Anais... Rio de Janeiro: UFRG, 1999, 1CD.

FOGLIATTO, F. S.; RIBEIRO, J. L. D. **Confiabilidade e Manutenção Industrial**. 1ª. ed. Elsevier: São Paulo, 2009. 265p.

GIL, A.C.; **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social**. 6ª. ed. Atlas: São Paulo, 2008. 200p.

KARDEC, A.; NASFIC, J. **Manutenção: Função Estratégica**. 3ª. ed. Qualitymark: Rio de Janeiro, 2009. 361p.

LAFRAIA, J. R. B. **Manual de Confiabilidade, Manutenibilidade e Disponibilidade**. 5ª. ed. Qualitymark: Rio de Janeiro, 2001. 388p.

MARQUES, R. Q.; RIBEIRO, J. L. D. **Criação de um Plano de Manutenção para o Equipamento Torno Descascadeira Utilizando Conceitos Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC) e Manutenção Produtiva Total (MPT)**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2012.

Moldes Injeção de Plásticos. Impacto da manutenção de moldes sobre o resultado dos negócios. Disponível em: <http://moldesinjecaoplasticos.com.br/impacto-da-manutencao-de-moldes-sobre-o-resultado-dos-negocios/>. Acesso em: 16 outubro 2018.

MOREIRA, J.C. **Aplicação do Método RCM às Linhas de Muito Alta Tensão da REN**. Dissertação de Mestrado em Manutenção Industrial. Universidade do Porto. Portugal, 2005.

MOUBRAY, J. **Reliability-Centered Maintenance**. 2ª. ed. Industrial Press: Nova York, 1997. 426p.

NASCIF, J. Manutenção Classe Mundial. **Revista Manutenção y Qualidade**, n.29, p.8, 2000.

Reliasoft Hot Wire. Características da distribuição de Weibull. Disponível em: <http://www.san.uri.br/~ober/arquivos/disciplinas/tolerancia/apoio/weibull.pdf>. Acesso em: 10 novembro 2018.

SIQUEIRA, I. P.; **Manutenção Centrada na Confiabilidade – Manual de Implementação**. 1ª. ed. Qualitymark: Rio de Janeiro, 2005. 382p.

TATSCH, D. M. **Metodologia da Manutenção Centrada na Confiabilidade Aplicada em uma Máquina de Montar Pneus**. Monografia para obtenção do grau de Engenheiro Mecânico. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2010.

VIANA, H. R. G. **PCM - Planejamento e Controle de Manutenção**. 1ª. ed. Qualitymark: Rio de Janeiro, 2006. 192p.

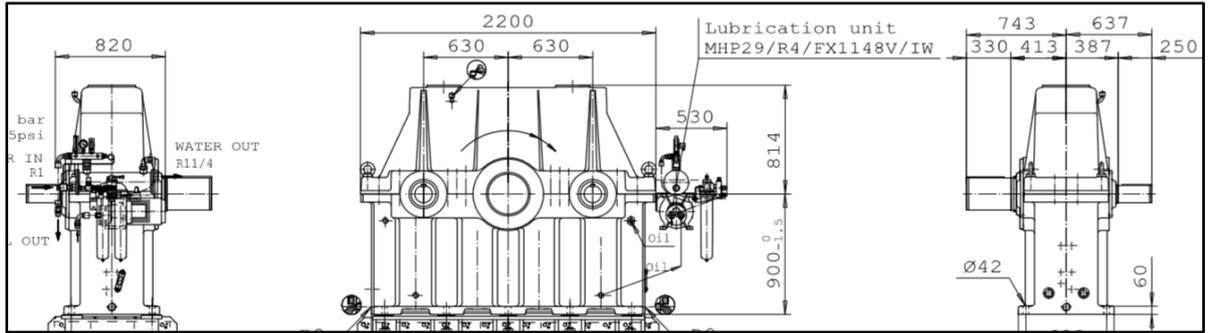
## **Anexos.**

---

Anexo 1 – Especificações técnicas do sistema de picagem de madeiras (adaptado de Demuth, 2013).

<b>ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS</b>	
Modelo	DPDI 3800
Ano de fabricação	2013
Quantidade	3 peças
Capacidade	500m <sup>3</sup> sub/h
Comprimento nominal do cavaco	22±3mm
Diâmetro da boca de alimentação	970mm
Largura de alimentação	1880mm
Tipo de alimentação	por gravidade
Descarga de cavacos	Traseira
Diâmetro do disco	3800mm
Espessura do disco	260 mm
Rotação do disco	268 RPM
Nº de facas	16 peças
Momento de Inércia	49.150 kg.m <sup>2</sup>
GD <sup>2</sup>	196.600 kg.m <sup>2</sup>
Potência instalada	2 x 1200 kW





Anexo 3 – Tabelas de Severidade, Probabilidade de Ocorrência e Probabilidade de Detecção (adaptado de Fogliatto e Ribeiro, 2009).

<b>SEVERIDADE</b>		
Muito Alta	Quando o compromete a segurança da operação ou envolve infração a regulamentos governamentais	10 9
Alta	Quando provoca alta insatisfação do cliente, pr exemplo, um veículo ou aparelho que não opera, sem comprometer a segurança ou implicar infração	8 7
Moderada	Quando provoca alguma insatisfação, devido à queda no desempenho ou mau funcionamento de partes do sistema	6 5
Baixa	Quando provoca uma leve insatisfação, o cliente observa apenas uma leve deterioração ou queda no desempenho	4 3
Mínima	Falha que afeta minimamente o desempenho do sistema, e a maioria dos clientes talvez nem mesmo note sua ocorrência	2 1

<b>OCORRÊNCIA</b>		
Muito Alta	Falhas quase inevitáveis	10 9
Alta	Falhas ocorrem com frequência	8 7
Moderada	Falhas ocasionais	6 5 4
Baixa	Falhas raramente ocorrem	3 2
Mínima	Falhas muito improváveis	1

<b>DETECÇÃO</b>		
Muito Remota	Os controles não irão detectar esse modo de falha, ou não existem controles	10 9
Remota	Os controles provavelmente não irão detectar esse modo de falha	8 7
Baixa	Há uma baixa probabilidade de os controles detectarem esse modo de falha	6 5
Moderada	Os controles podem detectar o modo de falha	4 3
Alta	Há uma alta probabilidade de os controles detectarem o modo de falha	2 1
Muito Alta	É quase certo que os controles irão detectar esse modo de falha	1

Anexo 4 – Diagrama de decisão para seleção das tarefas de manutenção (adaptado de Fogliatto e Ribeiro, 2009)

