

JAILSON ZOCCOLOTTI DE AQUINO

IMPORTÂNCIA DA MANUTENÇÃO DE SISTEMAS DE LAVAGEM NA
QUALIDADE DA POLPA CELULÓSICA

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação do Mestrado Profissional em Tecnologia de Celulose e Papel, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2014

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

Aquino, Jailson Zocolotti de, 1969-
A657i Importância da manutenção de sistemas de lavagem na
2014 qualidade da polpa celulósica / Jailson Zocolotti de Aquino. –
Viçosa, MG, 2014.
x, 41f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador: Hélio Garcia Leite.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f.40-41.

1. Celulose. 2. Celulose - Qualidade. 3. Manutenção.
I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Engenharia
Florestal. Programa de Pós-graduação em Tecnologia de
Celulose e Papel. II. Título.

CDD 22. ed. 676.17

JAILSON ZOCOLOTTI DE AQUINO

IMPORTÂNCIA DA MANUTENÇÃO DE SISTEMAS DE LAVAGEM NA
QUALIDADE DA POLPA CELULÓSICA

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação do Mestrado Profissional em Tecnologia de Celulose e Papel, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Aprovada: 26 de fevereiro de 2014.

Carolina Marangon Jardim

Rubens Chaves de Oliveira

Helio Garcia Leite
(Orientador)

AGRADECIMENTOS

A Deus e aos meus pais, Dalvo e Thereza, pela minha existência.

À minha família, Eunice, André e Ana que compreendem minha ausência e me apoiaram neste trabalho.

À Companhia Suzano Papel e Celulose, aos gerentes da área de celulose, Eduardo Andrade e Fabricio José que pelo alinhamento com a manutenção possibilita os resultados apresentados neste trabalho. Aos gerentes de manutenção José Riberio e Eduardo Toscano pela orientação no dia a dia para atingir os resultados.

Aos amigos do mestrado que acreditaram na realização deste projeto;

Ao professor Colodette e à Universidade Federal de Viçosa que não mediram esforços para realização deste mestrado;

Ao meu orientador Helio Garcia pelas sábias orientações;

Aos meus amigos do laboratório Marileide, Johnny, Dimas, Márcio Henrique e André Mendes pelas informações e sugestões na elaboração do trabalho.

Eternamente grato à amiga Carolina Jardim na qual foi a âncora para a realização deste trabalho.

Aos grandes amigos da área da celulose (GECCEL) e manutenção (GEMAN) da Suzano, dos quais respeito e convivo diariamente na vida profissional.

CONTEÚDO

LISTA DE FIGURAS	vi
LISTA DE TABELAS	vii
LISTA DE ABREVIATURAS	viii
RESUMO.....	ix
ABSTRACT	x
1- INTRODUÇÃO.....	1
2- REVISÃO DE LITERATURA.....	2
2.1- Lavagem da Polpa de Celulose	2
2.1.1- Equipamentos para lavagem da polpa de celulose.....	3
2.1.1.1- Difusores.....	3
2.1.1.2- Filtros lavadores.....	4
2.1.1.3- Prensas.....	6
2.1.1.4- DDW	7
2.1.2- Processos onde são utilizados equipamentos de lavagem.....	8
2.1.2.1- Processo de cozimento.....	8
2.1.2.2- Processo de lavagem e pré-branqueamento	9
2.1.2.3- Processo de branqueamento	9
2.2- Manutenção	10
2.2.1- Estratégias de manutenção	10
2.2.1.1- Identificação dos equipamentos.....	11
2.2.1.2- Classificação dos equipamentos por criticidade	12
2.2.1.3- Explosão de equipamentos em peças e determinação de modos de falha	13
2.2.1.4- Definição dos tipos de manutenção	13
2.2.1.5- Definição das características das falhas	17
2.2.1.6- Determinação do tipo de manutenção aplicada	17
2.2.1.7- Análise de falha	19
2.2.1.8- Escrevendo os procedimentos.....	21
2.2.2- Indicadores de desempenho de manutenção	22
3- MATERIAIS E MÉTODOS	27
3.1- Material	27

3.2- Métodos	27
3.2.1- Diagnóstico	27
3.2.2- Manutenção dos desvios encontrados.....	28
3.2.3- Impacto da manutenção na qualidade da polpa de celulose	28
3.2.4- Análise dos dados.....	28
4- RESULTADOS E DISCUSSÕES	29
4.1- Diagnóstico encontrado	29
4.2- Resolução dos problemas	31
4.3- Impacto na qualidade da polpa de celulose	33
5- CONCLUSÕES	39
6- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	40

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Ilustração de um difusor. Fonte: Manual Bahia Sul Celulose, 1991.	4
Figura 2- Ilustração de um filtro lavador. Fonte: Manual Bahia Sul Celulose, 1991.	6
Figura 3- Ilustração de uma prensa. Fonte: Manual Suzano Bahia Sul, 2004. ...	7
Figura 4- Ilustração de um DDW. Fonte: Manual Suzano Bahia Sul, 2005.	8
Figura 5- Lavagem da polpa marrom, descarregada do processo de cozimento, na linha 1 da Suzano, unidade Mucuri-BA.	8
Figura 6- Processos de depuração e pré-branqueamento com oxigênio da linha 1 da Suzano, unidade Mucuri-BA.	9
Figura 7- Processo de branqueamento da linha 1 da Suzano, unidade Mucuri-BA.	9
Figura 8- Fluxograma do fluxo de manutenção. Fonte: Aquino, 2007.	12
Figura 9- Níveis de causas de falhas. (Fonte: Abramam, 2004)	19
Figura 10- Indicadores para controle de manutenção, na Suzano, Mucuri-BA.	25
Figura 11- Indicadores para controle de manutenção, na Suzano, Mucuri-BA.	25
Figura 12- Visor de nível (121LT033) que ajusta o tempo de fechamento da válvula 121KV010.	30
Figura 13- Válvula de extração do difusor W-21, 121KV009, apresentando passagem.	30
Figura 14- Perfil de alvura na entrada do branqueamento, antes e após a manutenção dos difusores.	33
Figura 15 - Alvura da polpa celulósica, na entrada do branqueamento, antes e após a manutenção dos difusores.	34
Figura 16 - Perfil de consumo específico de cloro ativo no branqueamento, antes e após a manutenção dos difusores.	35
Figura 17- Consumo de cloro ativo, em virtude do aumento de alvura da polpa celulósica na entrada do branqueamento.	36
Figura 18- Indicador mensal de qualidade EP da polpa de celulose, obtida na Linha de Fibras 1, da Suzano unidade Mucuri-BA.	37
Figura 19- Indicador mensal de disponibilidade dos equipamentos, na Linha de Fibras 1, da Suzano unidade Mucuri-BA.	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Classificação do equipamento pela característica da falha.....	17
Tabela 2- Determinação do tipo de manutenção.....	18
Tabela 3- Equipamentos difusores avaliados.....	27
Tabela 4- Retorno financeiro oriundo da redução do consumo específico de cloro ativo no branqueamento.	36

LISTA DE ABREVIATURAS

DDW- *Drum Displacer Washers*.

TPM- *Total Productive Maintenance*, Manutenção Produtiva Total.

RCM- *Reliability Centered Maintenance*

RBM- *Risc Based Maintenance*, Manutenção Estratégica ou Centrada no Risco.

FMEA- *Failure Mode and Effect Analysis*), Análise do Modo e Efeito da Falha.

TMEF- Tempo médio entre falhas no período considerado.

NOIT- Relação entre o produto do número de itens no período considerado.

HROP- Tempos de operação no período considerado.

NTMC- Número total de falhas detectadas no período considerado.

TMPR- Tempo médio para reparo no período considerado.

HTMC- Tempo total de intervenção corretiva em um conjunto de itens com falha no período considerado.

NTMC- Número total de falhas detectadas no período considerado.

TMPF- Tempo médio para falha no período considerado.

HROP- Tempo total de operação de um conjunto de itens não reparáveis no período considerado.

NTMC- Número total de falhas detectadas de itens não reparáveis no período considerado.

DISP- Disponibilidade no período considerado.

HCAL- Número de horas do período considerado.

HRMN- Número de horas de intervenção pelo pessoal da manutenção no período considerado.

CMFT- Custo de manutenção por faturamento no período considerado.

CTMN- Custo total de manutenção no período considerado.

FTEP- Faturamento da empresa no período considerado.

CMRP- Custo de manutenção pelo valor de reposição.

CTMN- Custo total acumulado na manutenção de um determinado equipamento.

VLRP- Valor de compra deste equipamento novo.

RESUMO

AQUINO, Jailson Zocolotti de, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2014. **Importância da Manutenção de Sistemas de Lavagem na Qualidade da Polpa Celulósica.** Orientador: Helio Garcia Leite. Coorientadores: Ann Honor Mounteer e Marcelo Cardoso.

O trabalho determina a importância da manutenção para a qualidade da polpa de celulose obtida na Linha de Fibras 1, na empresa Suzano Celulose e Papel, unidade Mucuri-BA. Apresenta um estudo de caso de manutenção adequada, em equipamentos de lavagem (difusores), capaz de gerar resultados positivos na qualidade da polpa celulósica. No trabalho, após diagnóstico dos desvios, manutenção dos componentes de lavagem e contra-lavagem dos difusores, e cumprimento das ações do plano global, foi constatado um aumento na alvura da polpa celulósica na entrada do branqueamento (3,59%), uma redução no consumo específico de cloro ativo no branqueamento (4,15%) e uma redução anual do custo variável do branqueamento em aproximadamente R\$ 897 mil. Ainda, foi verificado aumento da disponibilidade e eficiência dos equipamentos e melhoria no índice de qualidade EP (extra prime) do produto final.

ABSTRACT

AQUINO, Jailson Zocolotti de, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2014. **Maintenance Importance of Washing Systems on Cellulose Pulp Quality.** Adviser: Helio Garcia Leite. Co-advisers: Ann Honor Mounter and Marcelo Cardoso.

The project determines the maintenance importance on cellulose pulp quality, in Suzano Pulp and Paper's fiberline 1, Mucuri-BA. It was presented a case study of proper maintenance in washing equipments (diffusers), able to generate positive results on pulp quality. After deviations diagnosis, component maintenance, and compliance with the actions of the comprehensive plan, it was observed an increase in the pulp brightness at the entrance of the bleaching process (3.59%), a reduction in active chlorine consumption (4.15%), and an annual reduction in bleaching costs of approximately US\$ 377 thousand. Further, it was found an increase in the equipment availability and efficiency, also a cellulose EP (extra prime) grade improvement of the final product.

1- INTRODUÇÃO

O processo de obtenção da polpa de celulose depende diretamente dos equipamentos projetados para este fim. Uma classe de equipamentos muito importante para esse processo são os equipamentos de lavagem como difusores, prensas, tambores lavadores e DDW (*Drum Displacer Washers*).

Estes equipamentos possuem, basicamente, a mesma função, no entanto, são utilizados em diferentes partes do processo de obtenção de polpa de celulose. Destacam-se as lavagens após os processos de cozimento, depuração, pré-branqueamento com oxigênio e cada estágio de branqueamento. Os lavadores são, também, utilizados nas máquinas de secagem da polpa de celulose e na máquina papel para lavar e, ainda, aumentar a consistência da polpa celulósica.

Uma etapa de lavagem inadequada da polpa celulósica pode, diretamente, causar problemas na qualidade do produto final (polpa de celulose branqueada) e desvios de processo, como o aumento do consumo específico de químicos na etapa de branqueamento.

Os equipamentos de lavagem são subdivididos em componentes que devem funcionar perfeitamente, de forma a garantir seu bom funcionamento durante todo o período de operação (campanha do equipamento, que normalmente é de um ano). Para isto, é necessário uma estratégia de manutenção bem aplicada.

Usualmente, a manutenção é sempre associada à disponibilidade dos equipamentos. No entanto, o presente estudo teve por objetivo demonstrar que uma manutenção adequada influencia diretamente na qualidade da polpa de celulose e não apenas na quantidade obtida. Também foi objetivo melhorar a estratégia de manutenção em equipamentos de lavagem da polpa de celulose focando, não apenas na disponibilidade do equipamento, mas também na sua importância para qualidade da polpa obtida.

2- REVISÃO DE LITERATURA

Uma fábrica de polpa de celulose de eucalipto tem a função básica de separação da celulose da lignina, esta separação é feita em etapas e ao final de cada etapa a polpa de celulose é “lavada”, sendo esta denominada *lavagem da polpa de celulose*. Os principais processos de separação da lignina da celulose são: cozimento, pré-branqueamento e branqueamento.

2.1- Lavagem da Polpa de Celulose

O processo de lavagem é, segundo Rogers et al. (1996), a operação fabril onde uma mistura heterogênea de um fluído (licor) e partículas de sólidos (fibras ou polpa) são separadas por meio filtrante que permite a passagem do fluído, mas retém as partículas de sólidos. Envolve, então, o fluxo de um fluído através de um meio poroso.

Boa parte da rentabilidade dos processos químicos alcalinos de fabricação da polpa celulósica está na recuperação do máximo de produtos químicos (sais de sódio: sulfato, carbonato e hidróxido) utilizados no cozimento, bem como no aproveitamento do poder calorífico do material orgânico dissolvido da madeira, na geração de vapor e energia. O material dissolvido que vai com a polpa para o estágio de deslignificação e/ou branqueamento pode prejudicar a deslignificação ou o branqueamento e, ainda, aumentar o consumo de reagentes químicos no branqueamento, com baixa alvura da polpa final ou baixa resistência desta (Trindade, 2003).

Atualmente, as técnicas de lavagem são baseadas na necessidade do fechamento do circuito, a fim de minimizar encargos e problemas com o tratamento de efluentes. A separação de mistura heterogênea é feita através de um meio filtrante, que permite a passagem do fluído, mas retém as partículas de sólidos (Trindade, 2003).

O objetivos do processo de lavagem da polpa marrom são remover a máxima quantidade de materiais orgânicos dissolvidos na madeira e materiais inorgânicos solúveis do licor de cozimento com a mínima quantidade de água limpa ou de recirculação do processo (Monkfienski, 2003).

O processo de lavagem tem um forte impacto econômico em uma indústria de celulose e papel, por influenciar no consumo de químicos (dióxido

de cloro, oxigênio e peróxido de hidrogênio) do branqueamento, afetando desta forma o custo variável de produção.

Segundo Frigieri e Ventorim (2012), foi constatado que o branqueamento sem lavagem entre os estágios de branqueamento é inviável, mesmo com uso de uma prensa. A falta da lavagem entre os estágios resulta na impossibilidade de se obter a alvura desejada na polpa de celulose. Por isso esta etapa tem extrema importância no processo.

2.1.1- Equipamentos para lavagem da polpa de celulose

Para fazer a lavagem da polpa, ao final de cada etapa do processo de obtenção de polpa de celulose branqueada, existem equipamentos que desempenham esta função, existem modelos diferentes de fabricante, com um mesmo princípio de funcionamento. Os mais conhecidos são: difusores, prensas, DDW, filtros de tambor.

2.1.1.1- Difusores

Difusor é um equipamento que faz lavagem por difusão mantendo a mesma consistência na entrada e saída de massa. É composto por uma peneira concêntrica vertical formada com vários anéis cuja quantidade depende do diâmetro do equipamento, um chuveiro rotativo com bicos entre os anéis da peneira e um raspador para descarga (Figura 1).

A massa é alimentada de forma ascendente passando entre os anéis da peneira, durante a alimentação a peneira sobe lentamente, enquanto os bicos do chuveiro rotativo projetam licor sobre a massa, o licor limpo, projetado, expulsa o licor que está na polpa para dentro da peneira que é extraído por um sistema de bombeamento. A consistência da mesma permanece a mesma, porque a vazão do licor de lavagem é igual à vazão do licor extraído (Manual Bahia Sul Celulose, 1991).

Ao passar por toda a peneira, a polpa é depositada em uma canaleta e descarregada pelo raspador para a próxima etapa do processo. Ao final do curso ascendente da peneira, que é feito por cilindros hidráulicos, a mesma desce rapidamente para iniciar um novo ciclo de lavagem. No momento da descida é injetado um licor por dentro da peneira que tem a função de contra-

lavagem dos furos da mesma que devem estar sempre desobstruídos para uma melhor eficiência de lavagem (Manual Bahia Sul Celulose, 1991).

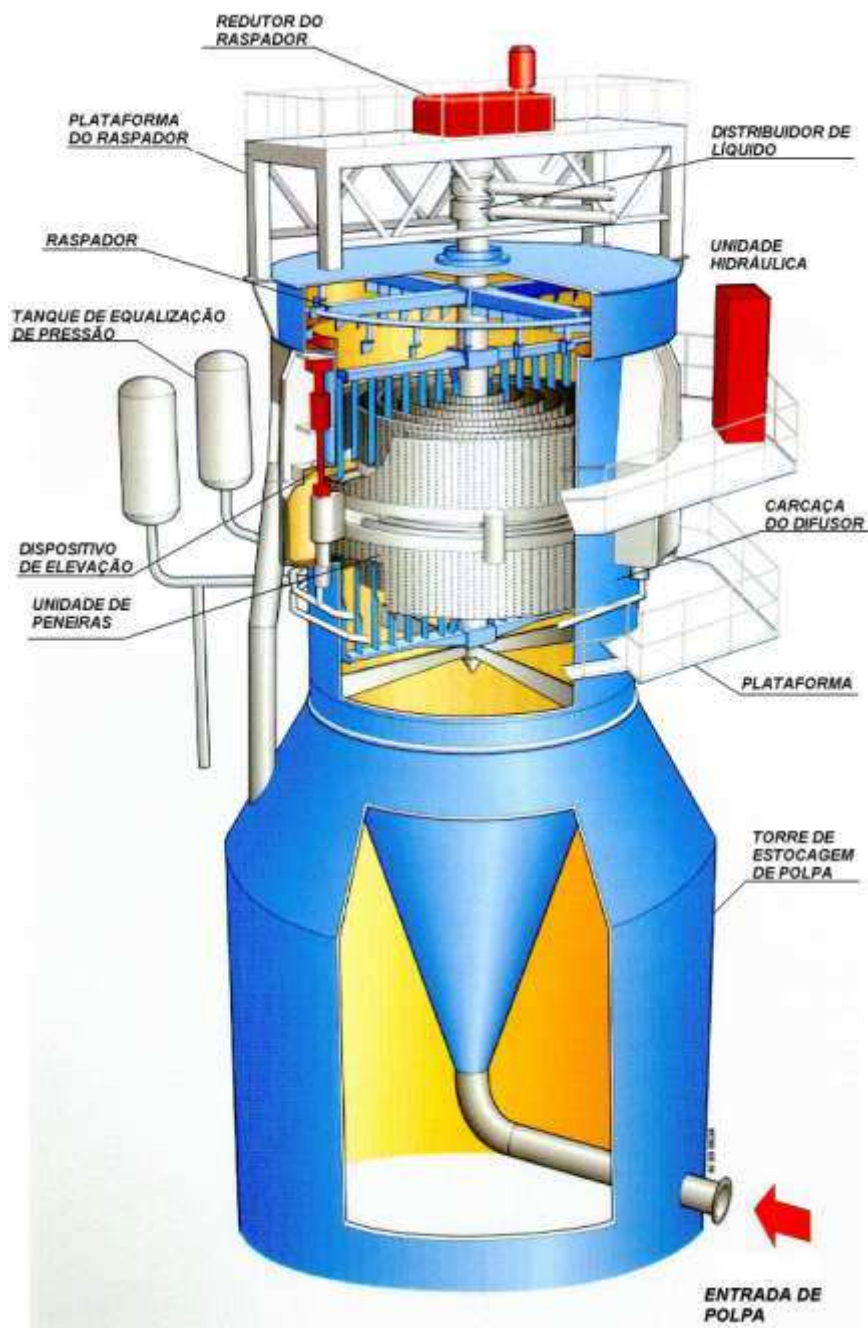


Figura 1- Ilustração de um difusor. Fonte: Manual Bahia Sul Celulose, 1991.

2.1.1.2- Filtros lavadores

Filtros lavadores são equipamentos compostos de uma tina onde a massa é alimentada, um tambor horizontal com uma camisa perfurada e

vestido um uma tela de malha mais fina, chuveiros transversais e uma rosca para descarga da massa (Figura 2).

A polpa é alimentada na tina do filtro por meio de um transbordo fazendo com que a parte inferior do tambor fique submersa na polpa diluída. A polpa adere à tela do tambor permitindo somente a passagem do filtrado pela tela. Quando a polpa está exposta fora da tina, chuveiros com filtrado lavam a polpa, e o excesso novamente é sugado para dentro do filtro aumentando a consistência da polpa, a sucção é através de vácuo formado dentro do tambor, por pernas barométricas que fazem o vácuo pelo deslocamento do próprio filtrado por diferença altura. A polpa é destacada do tambor reiniciando o processo (Manual Bahia Sul Celulose, 1991).

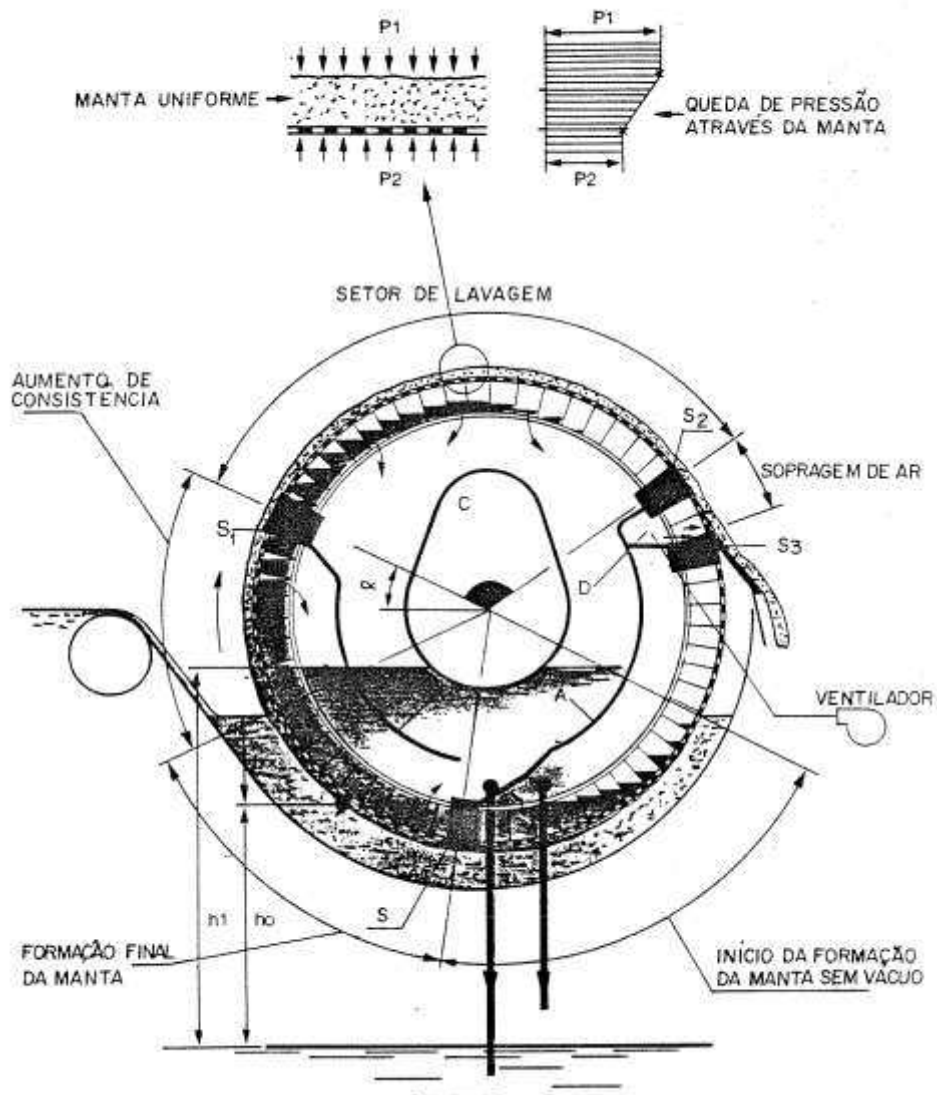


Figura 2- Ilustração de um filtro lavador. Fonte: Manual Bahia Sul Celulose, 1991.

2.1.1.3- Prensas

Prensas são equipamentos de lavagem tecnologicamente mais avançados e compactos. Compostos de sistema de alimentação, flaps e bacias para conduzir a armazenar a polpa, chuveiros de lavagem, dois cilindros com camisa perfurada, sistema de descarga (Figura 3).

A polpa é alimentada e, geralmente, é distribuída longitudinalmente nos flaps através de uma rosca, passando pelos flaps a massa é comprimida entre o flap e o tambor permitindo a passagem de filtrado para dentro do tambor.

Quando a massa está na bacia que fica na região inferior a polpa é lavada com filtrados que saem dos bicos do chuveiro instalados na mesma. Continuando o percurso a polpa passa uma fenda entre os rolos, fazendo que o filtrado seja empurrado para dentro do tambor e, assim, aumentando a consistência da polpa (Manual Suzano Bahia Sul, 2004).

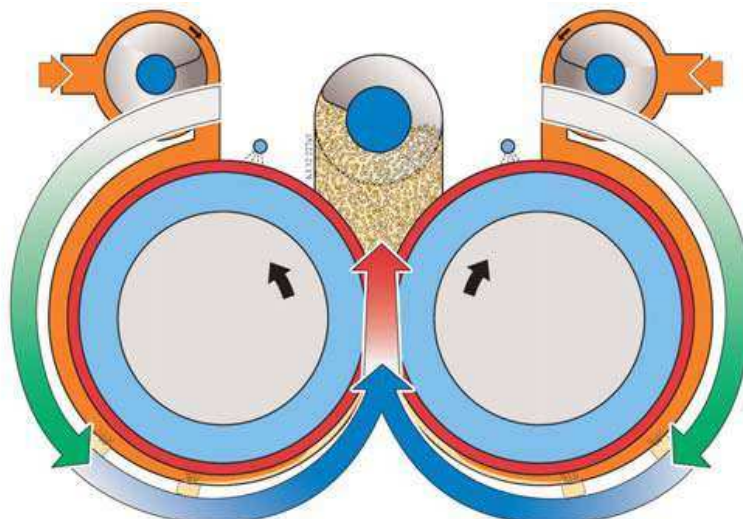


Figura 3- Ilustração de uma prensa. Fonte: Manual Suzano Bahia Sul, 2004.

2.1.1.4- DDW

O DDW (*DRUM DISPLACER*[®] ou *DD Washer*) é um equipamento composto de caixa de entrada, um tambor com canaletas divididas por uma chapa perfurada, uma carcaça que envolve o tambor, chuveiros de lavagem que são instalados na carcaça e uma rosca de descarga (Figura 4).

A polpa é alimentada na caixa de entrada e depositada nas canaletas, sobre as chapas perfuradas do tambor que está girando levando a “torta” da polpa para dentro da carcaça. O licor de lavagem é projetado sobre a polpa pelos furos dos chuveiros de lavagem que pressurizam o sistema forçando o filtrado contaminado a passar pela chapa perfurada. A relação da quantidade de licor injetado para lavagem versus a quantidade de filtrado retirado informa o aumento de consistência da polpa durante a lavagem. Ao passar pelos chuveiros de lavagem a polpa é destacada na rosca de descarga (Manual Suzano Bahia Sul, 2005).

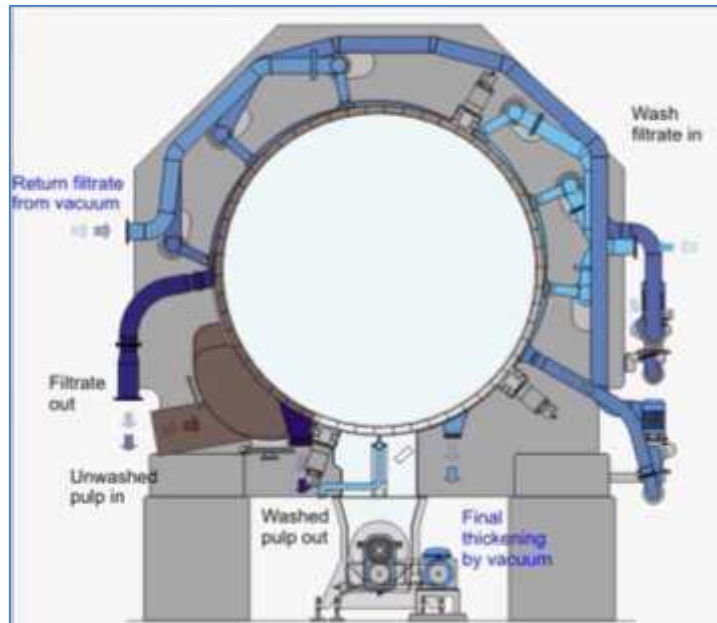


Figura 4- Ilustração de um DDW. Fonte: Manual Suzano Bahia Sul, 2005.

2.1.2- Processos onde são utilizados equipamentos de lavagem

2.1.2.1- Processo de cozimento

Após a descarga do digestor a polpa é lavada com licor, com o objetivo de remover a lignina que já está separada da fibra de celulose. Este processo reduz a necessidade de químicos no branqueamento. Na linha 1 da Suzano, unidade Mucuri-BA, os difusores W21 e W37 tem a função de fazer o processo de lavagem da polpa após a descarga do digestor (Figura 5).

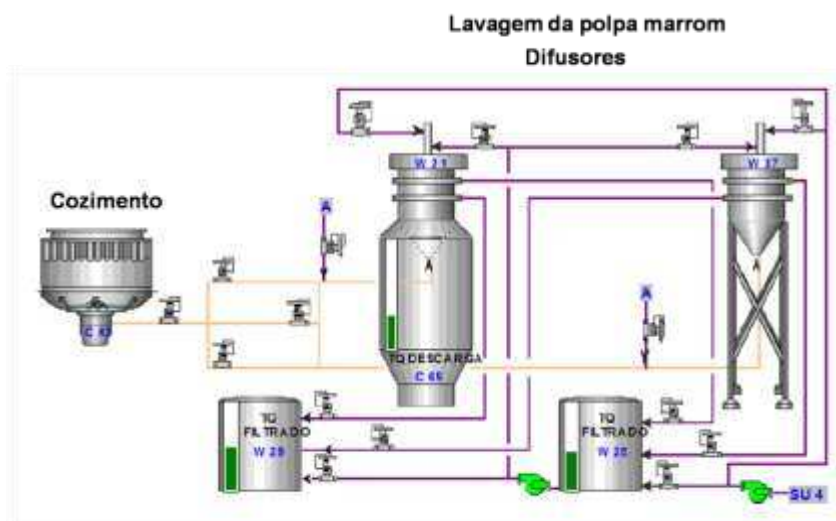


Figura 5- Lavagem da polpa marrom, descarregada do processo de cozimento, na linha 1 da Suzano, unidade Mucuri-BA.

2.1.2.2- Processo de lavagem e pré-branqueamento

Nesta etapa da fabricação, a polpa de celulose é pré-branqueada com oxigênio e a lavagem tem a função de remover o residual de químicos para próxima etapa (Figura 6).

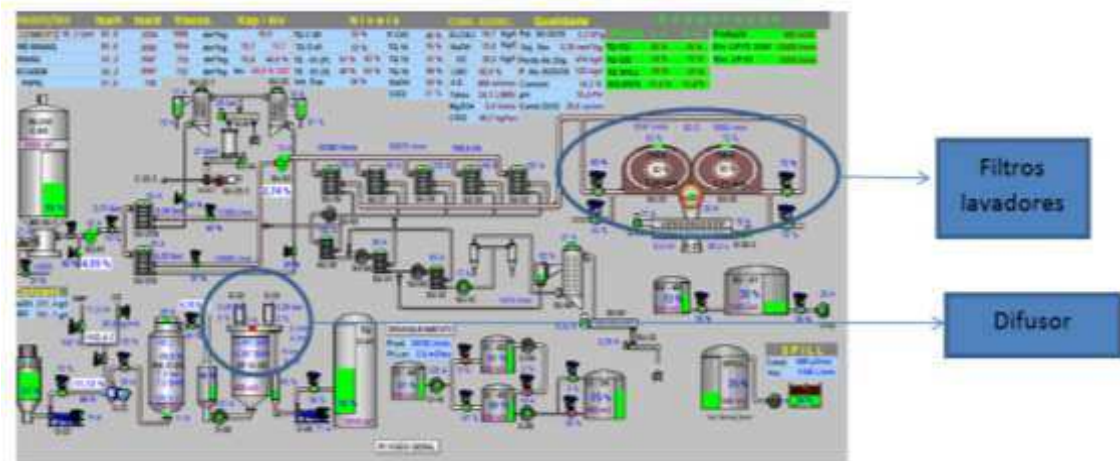


Figura 6- Processos de depuração e pré-branqueamento com oxigênio da linha 1 da Suzano, unidade Mucuri-BA.

2.1.2.3- Processo de branqueamento

Em cada estágio desta etapa a polpa de celulose é branqueada com químicos e entre um estágio e outro a polpa é lavada para remover o residual de químicos que ficou na polpa de celulose (Figura 7).

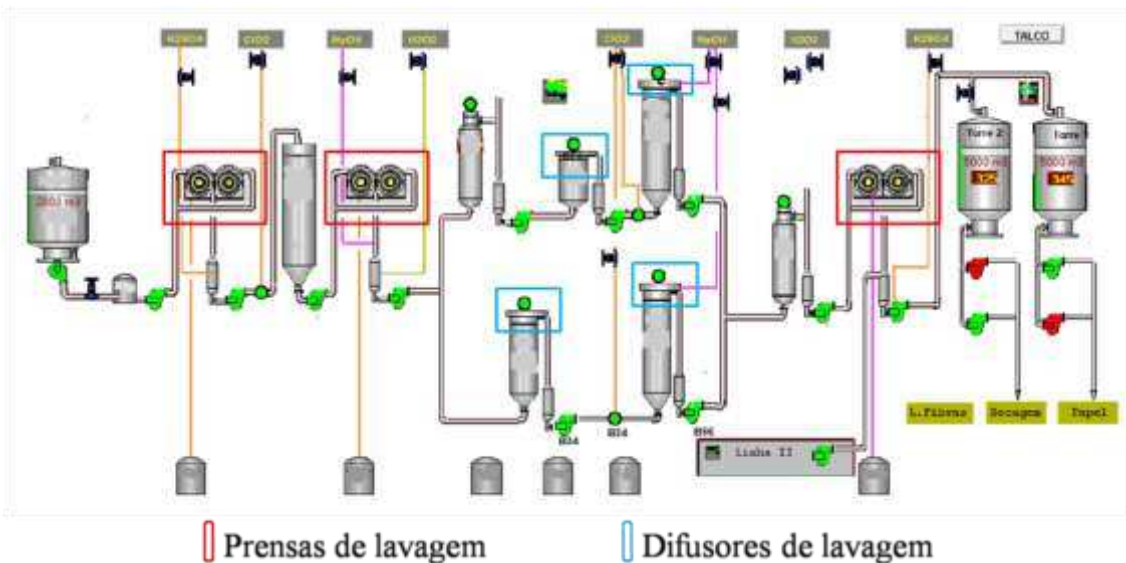


Figura 7- Processo de branqueamento da linha 1 da Suzano, unidade Mucuri-BA.

2.2- Manutenção

As indústrias são empresas que se dedicam à fabricação de bens, também podendo ser denominadas fábricas, usinas, manufaturas. Os bens fabricados são comercializados, gerando capital para as empresas.

A fabricação dos bens depende de pessoas e de máquinas. As pessoas, para fabricarem os bens, dependem de três fatores: (a) querer fazer – as pessoas devem estar motivadas para fazer as tarefas que são designadas; (b) poder fazer – as pessoas devem possuir os recursos necessários para fazer as tarefas necessárias; (c) saber fazer – as pessoas devem estar capacitadas para executar as tarefas que estão designadas a realizar (Tavares, 1999).

As máquinas dependem de estar disponíveis para executarem as tarefas de fabricação que são designadas para elas. Neste ponto, entra a manutenção industrial, com o objetivo de manter as máquinas ou os equipamentos disponíveis para a operação composta pelas pessoas durante todo o tempo previsto para operarem, utilizando um orçamento previamente definido (Tavares, 1999).

2.2.1- Estratégias de manutenção

Para atingir seu objetivo principal, que é maximizar a disponibilidade dos equipamentos a manutenção se organiza em tarefas preventivas e corretivas limitadas pelo orçamento de manutenção existente. O ponto de equilíbrio da manutenção é exatamente conseguir o máximo de disponibilidade com um orçamento competitivo.

Para determinar as tarefas de manutenção, pode-se utilizar o próprio manual do equipamento ou métodos como: Manutenção Produtiva Total (Total Productive Maintenance - TPM), Manutenção Centrada em Confiabilidade (Reliability Centered Maintenance - RCM) e Manutenção Estratégica ou Centrada no Risco (Risk Based Maintenance - RBM) (Aquino, 2007).

De acordo com Medeiros (2004), “A política de manutenção é o conjunto de diretrizes e premissas básicas que orientam como a manutenção é realizada na empresa”. Esta serve para determinar qual tipo de manutenção se aplicará em cada peça dos equipamentos, quanto será gasto com manutenção, quais equipamentos terão suas peças trocadas antes da falha, etc.

As empresas normalmente têm uma política, e, para uma fábrica de polpa de celulose, não é diferente. Baseado nesta política, o setor de manutenção também elabora uma política alinhada com a visão, a missão e os valores da empresa, que servirá de direcionamento para os fluxos e procedimentos necessários para aplicar a política de manutenção aos equipamentos da fábrica de polpa de celulose.

A aplicação da política de manutenção se dá em etapas que serão descritas a seguir. Estas etapas devem ser seguidas, pois fazer as etapas de forma desordenada afetará negativamente o desempenho da manutenção.

2.2.1.1- Identificação dos equipamentos

Segundo Tavares (1999), nesta etapa, todos os equipamentos de uma fábrica de polpa de celulose devem ser identificados e relacionados. Normalmente, esta identificação é um conjunto de números e, em alguns casos, de letras que trarão as seguintes informações: Unidade de processo ou serviço ou planta, Sistemas – conjunto de equipamentos, Equipamentos, Componentes e Peça. Normalmente, o número de identificação do equipamento identificará até o nível de componente, e as peças deverão ser listadas para cada item específico. Além desse número de identificação, deve-se relacionar a função do equipamento no sistema e as funções do mesmo como equipamento propriamente dito.

Todos os equipamentos têm uma função primária, mas podem ter outras funções, como, por exemplo: uma bomba tem como função primária bombear um fluido de um ponto para outro a uma determinada vazão e pressão, mas também tem como função secundária armazenar e conduzir este fluido, pois uma bomba pode estar cumprindo sua função primária, porém com um furo na carcaça comprometendo sua função secundária. Relacionar as funções ajudará muito na etapa de levantar os modos de falha e ajudará a equipe a conhecer melhor os equipamentos (Aquino, 2007).

2.2.1.2- Classificação dos equipamentos por criticidade

A metodologia de gestão TPM, segundo Loss Prevention (2002), constitui-se por uma ferramenta chamada “fluxo de classificação de criticidade de equipamento” ou “fluxo A,B,C”.

Esta etapa tem como função focar a manutenção nos equipamentos críticos, que devem ser definidos de acordo um fluxo de criticidade ou fluxo ABC. Conforme Loss Prevention (2002), este fluxo deve ser elaborado pela equipe de manutenção juntamente com operação, engenharia e segurança sempre alinhado com os valores da empresa.

O objetivo principal deste fluxo é focar a equipe de manutenção nos equipamentos importantes para a operação da máquina de papel, pois se sabe que existem limitantes como indisponibilidade de máquina e custos para fazer a manutenção. Portanto, deve-se focar no que realmente é mais importante.

À seguir (Figura 8), tem-se um exemplo simples de um fluxo de manutenção lembrando que cada empresa deve fazer seu fluxograma com seus valores e política. Com o fluxo em mãos, a equipe de manutenção, com a ajuda da equipe de operação, deve analisar qual a consequência de parada de cada equipamento, e, por sua vez, classificá-lo (Aquino, 2007).

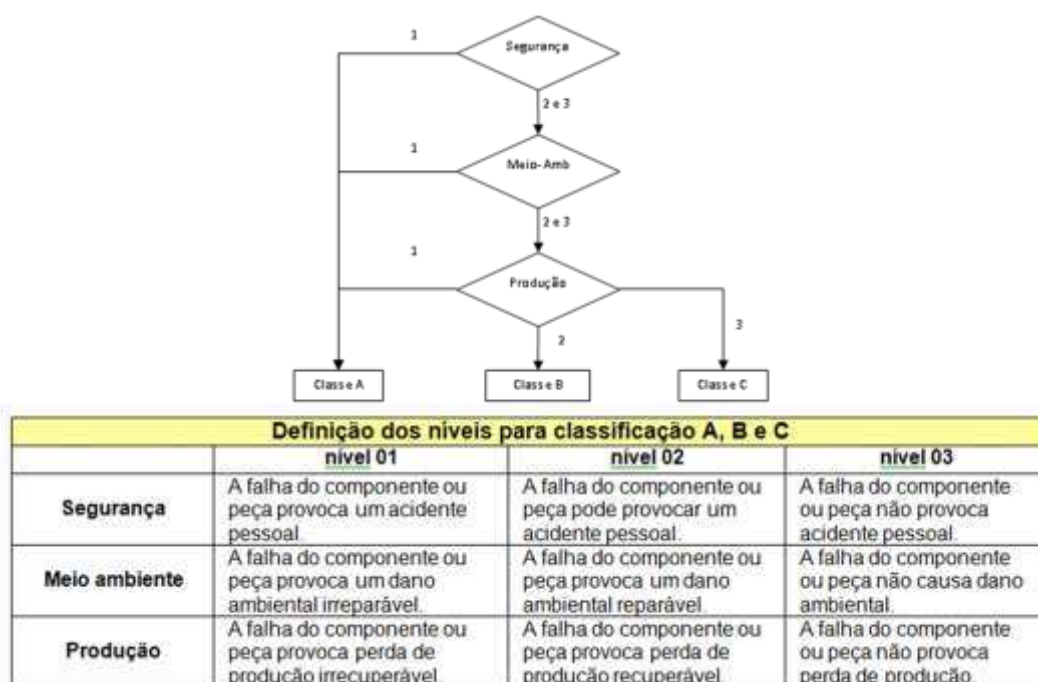


Figura 8- Fluxograma do fluxo de manutenção. Fonte: Aquino, 2007.

Na maioria das vezes, cerca de 30% são considerados equipamentos “A”, ou seja críticos; 40% são considerados “B”; e 30% são considerados “C”. É importante ser bastante seletivo na determinação dos equipamentos críticos, pois manutenção em equipamentos que não são críticos significa custos altos, e isso pode prejudicar a manutenção como um todo.

Classificando-se equipamentos não críticos como críticos, o custo de manutenção ficará acima do orçamento da empresa, fazendo com que seja solicitada redução de custos, e, nessa hora, comete-se o erro de cortar custos em equipamentos que não poderiam ser cortados.

2.2.1.3- Explosão de equipamentos em peças e determinação de modos de falha

Depois da classificação dos equipamentos, o universo de equipamentos a ser analisado será menor, ou seja, começando pelos equipamentos “A”, deve-se “explodir” os equipamentos por peças e determinar o modo de falha de cada uma delas. É importante que a análise seja feita na peça e não no equipamento, pois, na verdade, o que falha é a peça, e, dessa forma, é possível analisar os modos em que a mesma pode falhar, antecipando assim a falha e evitando-a.

Conforme Kardec e Nascif (2001), para fazer esta etapa, pode-se utilizar a ferramenta FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*), ou simplesmente a análise do modo e efeito da falha.

2.2.1.4- Definição dos tipos de manutenção

Com os modos de falha levantados, deve-se elaborar uma matriz com as características da falha apresentada e a classificação do equipamento. Desse modo, então, especificar o tipo de manutenção que deverá ser aplicada na peça. É importante que seja aplicado, na medida do possível, apenas um tipo de manutenção em cada peça para evitar a falha, pois é comum, em manutenção, ver inspetores fazendo inspeções em equipamentos que a manutenção troca periodicamente. É preciso salientar que nem toda peça deve ter uma manutenção determinada, somente aquelas sujeitas a falhar com o tempo devem ser analisadas.

Segundo Kardec e Nascif (2001), a maneira pela qual é feita a intervenção nos equipamentos, sistemas ou instalações caracteriza os diversos tipos de manutenção existentes, mas é importante uma caracterização mais objetiva dos diversos tipos de manutenção, desde que, independentemente das denominações, todos se encaixem em um dos cinco tipos descritos a seguir.

Os tipos de manutenção escritos e comentados, de acordo com o entendimento do autor, podem ser os seguintes:

(a) Preditiva ou preventiva baseada na condição:

Substituição da peça baseada na condição da mesma. Para a execução desta manutenção, são necessárias inspeções que podem ser sensitivas, ou seja, não utilizando instrumentos, apenas os sentidos (tato, visão, olfato, audição ou paladar) ou instrumentadas. Na inspeção instrumentada, utilizam-se instrumentos como medidores de vibração e termômetros, entre outros. Os instrumentos de processo também são uma fonte muito rica de informação. Em uma máquina de papel, existem muitos instrumentos fazendo leitura *online* dos dados de processo e devem ser utilizados como pontos para inspeções para determinar trocas baseadas na condição. A tendência de uma *trend* de vazão de uma bomba de dosagem, por exemplo, pode mostrar quando a mesma pode falhar ou se a mesma está funcionando de forma estável, também se pode avaliar o desgaste dos discos de refinadores somente avaliando a abertura da válvula do recalque do mesmo, etc. A manutenção deve criar planos periódicos para checar essas informações de forma que não haja surpresas; afinal, devem-se aproveitar esses instrumentos como mais uma fonte de informação (Aquino, 2007).

Depois de determinado “o que” e “como” deve ser feito, é hora de determinar “quando” deve ser feito. A escolha da periodicidade envolve conceitos e muito conhecimento de como o item se desgasta ou deteriora por isso a análise deve ser feita na peça e não no equipamento. Por exemplo: o tempo de uma inspeção periódica deve ser menor que o tempo que o item leva do defeito até a falha, este tempo é chamado de lead time da falha, ou seja, quanto tempo um determinado rolamento leva para quebrar quando é identificado um defeito no espectro de vibração; por isso é importante que a sensibilidade do coletor de vibração seja alta. Este seria o conceito, e descobrir

esse tempo requer um conhecimento profundo do item em que, em alguns casos, deve ser envolvido o fabricante.

Estas inspeções podem ser executadas por inspetores ou operadores e mantenedores, desde que estejam devidamente treinados.

Todo equipamento é dimensionado para uma capacidade maior que a necessária. Durante sua vida útil, o mesmo vai perdendo essa capacidade. A função da manutenção é atuar sobre o mesmo antes que essa capacidade chegue aos valores que a impossibilitem ou reduzam a capacidade de produção da fábrica de polpa de celulose. Cada item tem uma função, e esta função não pode ser reduzida ou impedida de ser executada.

(b) Preventiva:

Substituição da peça depois de um determinado tempo de operação. Toda peça de um equipamento tem uma vida útil pré-determinada, normalmente sugerida pelo fabricante, que pode ser, com o passar do tempo, adaptada a uma condição real, obtendo assim mais assertividade quanto a essa vida útil. Tal tipo de manutenção determina a troca das peças depois de um determinado tempo, prevenindo a sua falha (Aquino, 2007).

Para determinar o tempo de uma troca periódica, deve-se conhecer o item e o modo de falha do mesmo, ou seja, como o item se desgasta e quanto tempo ele leva para começar a perder eficiência na sua função.

É importante que essas periodicidades sejam definidas bem próximo do limite com segurança, para que os custos de manutenção não sejam extrapolados.

Após essas definições, basta alimentar o sistema de informação e acompanhar a realização, verificando se os recursos disponíveis são suficientes para a realização do plano de manutenção preventiva.

(c) Detectiva:

São simulações para verificar se o equipamento está funcionando. Tal manutenção é muito aplicada em equipamentos de segurança, como detector de fumaça, válvulas de segurança, etc. e consiste em testar o equipamento em sua condição de necessidade, ou seja, pressurizar a válvula de segurança para a mesma abrir, reduzir a pressão no pressostado para checar se o mesmo alarma e colocar fumaça no detector de fumaça para o mesmo alarmar. Pela

falta desta manutenção, normalmente acontecem acidentes trágicos. Na história, há muitos exemplos de falhas em itens de segurança que provocaram verdadeiras tragédias.

(d) Corretiva

Quando se detecta alguma anormalidade em um equipamento, como ruído, aquecimento ou vazamento, mas este ainda não perdeu sua função, tem-se um defeito ou anomalia. Quando a anormalidade faz com que o equipamento perca ou reduza a função prejudicando o processo produtivo, tem-se uma falha. Neste tipo de manutenção, o equipamento é trocado após a falha, logo não é preciso fazer inspeções e trocas periódicas, pois está determinado que o mesmo perderá sua função antes da troca (Aquino, 2007).

(e) Melhoria

Consiste em fazer melhorias no equipamento ou peça para que seja possível aplicar um dos tipos de manutenção mencionados.

Quando não é possível aplicar algum dos tipos de manutenção citados em uma peça, é necessário fazer uma melhoria de manutenção. É importante que, quando se determina que a peça é de um equipamento crítico e que sua falha pára o mesmo, deve-se aplicar um destes tipos de manutenção: preditiva, preventiva ou detectiva. Se não for possível, deve-se fazer uma melhoria para tornar isso possível, pois certamente a falha desta peça vai parar a máquina de papel.

Estas melhorias devem ser conduzidas pela engenharia de manutenção, visto que melhorias podem introduzir problemas na máquina. É muito comum o engenheiro de manutenção fazer melhorias operacionais para aumentar a capacidade dos equipamentos e, por consequência, a capacidade da máquina. Com isso, as melhorias de manutenção não são executadas ou são executadas pelos executantes da manutenção sem critérios, provocando problemas na máquina de papel (Aquino, 2007).

Seria uma boa prática a operação de uma fábrica de polpa de celulose não ter apenas engenheiros de processo, mas também um engenheiro de equipamentos para conduzir esses aumentos de capacidade não desfalcando assim a manutenção (Aquino, 2007).

2.2.1.5- Definição das características das falhas

Para determinar o tipo de manutenção que se deve adotar na peça do equipamento, deve-se determinar como se apresenta este modo de falha, segundo Medeiros (2004), com a elaboração de um quadro de classificação do equipamento pela característica da falha, este trabalho pode ser executado com facilidade. Um exemplo de matriz para determinar o tipo de manutenção a ser aplicada encontra-se na Tabela 1.

Tabela 1- Classificação do equipamento pela característica da falha

Característica da falha por tipo de equipamento				
Criticidade do equipamento	Característica da falha			
	Periódica de detecção fácil	Periódica de detecção difícil	Aleatória de detecção fácil	Aleatória de detecção difícil
A	Preventiva baseada na condição ou detectiva	Preventiva baseada no tempo	Preventiva baseada na condição ou detectiva	Manutenção por melhoria
B	Preventiva baseada na condição ou detectiva	Preventiva baseada no tempo	Preventiva baseada na condição ou detectiva	Preventiva baseada no tempo
C	Corretiva	Corretiva	Corretiva	Corretiva

Fonte: Aquino, 2007.

2.2.1.6- Determinação do tipo de manutenção aplicada

Com a Tabela 1 em mãos e sabendo que os equipamentos que estão sendo analisados têm criticidade, a seguir, determina-se a manutenção para as peças do passo anterior (Tabela 2):

Tabela 2- Determinação do tipo de manutenção

Determinação do tipo de manutenção			
Peça	Modo de falha	Característica da falha	Tipo de manutenção
Rotor	Desgaste	Periódica: detecção fácil. Medição de vibração devido a desbalanceamento.	Preventiva baseada na condição.
	Folgas	Aleatória: detecção fácil. Medição de vibração.	Preventiva baseada na condição. Se as folgas estiverem muito frequentes, deverá ser usada manutenção por melhoria.
Rolamentos	Desgaste	Periódica: detecção fácil. Medição de vibração.	Preventiva baseada na condição.
Retentores	Vazamentos	Periódica: detecção fácil. Inspeção sensitiva.	Preventiva baseada na condição.

Fonte: Aquino, 2007.

Além da manutenção proposta, não se devem esquecer as recomendações do fabricante quanto às condições básicas dos equipamentos como: limpezas, lubrificação, etc.

Depois deste levantamento feito com os equipamentos “A”, deverá ser feito o mesmo procedimento para os equipamentos “B” e “C”. Na Tabela 1 as manutenções em equipamentos “C” deverão ser, em sua maioria, corretivas e no fluxo de criticidade, não está sendo considerado o custo desta manutenção. Em alguns casos, quando o custo do reparo após a falha for muito alto, devem-se tratar os equipamentos “C” com algum tipo de manutenção que não seja corretiva.

Além dos equipamentos, existem nas fábricas de polpa de celulose estruturas de aço e concreto, pisos e telhados que, apesar de não serem equipamentos, devem ser observados, já que têm um desgaste natural por algum agente externo. Periodicamente, devem-se orçar reparos nestas regiões para não chegar ao ponto de os custos dos reparos ficarem muito altos. Neste acompanhamento, deve-se ter um tratamento diferente dos equipamentos para que estes itens não sejam esquecidos, pois é natural que a equipe de manutenção do dia-a-dia não seja dimensionada para esse tipo de reparos,

estes devem ser tratados por outra equipe de manutenção contratada separadamente.

2.2.1.7- Análise de falha

Se, mesmo depois de toda a proposta de manutenção elaborada e aplicada nos equipamentos, acontecer uma falha classe “A” em um deles parando a máquina de papel, ou afetando a qualidade, deve-se fazer uma análise de falha com ferramentas específicas, como: 5 porquês, análise de problemas e diagrama ishikawa (Aquino, 2007).

Nas análises de falhas, é muito comum que a conclusão seja superficial chegando-se apenas às causas primárias, que podem não resolver o problema por completo. A Figura 9, abaixo, mostra que as causas de falhas se dão sempre em três níveis, sendo: o primeiro nível os objetos (equipamentos, peças), o segundo nível as pessoas (mantenedores, operadores) e o terceiro nível a causa-raiz que são os métodos e as ferramentas. Por isso, nas análises, é importante que sempre se chegue à causa-raiz, e o plano de ação deve ser abrangente para atingir possíveis equipamentos que ainda não falharam (Abraman, 2004).



Figura 9- Níveis de causas de falhas. (Fonte: Abraman, 2004)

Nessas análises, deve ser encontrada a causa-raiz do problema que levou à falha do equipamento. A causa-raiz pode ser de qualquer um dos seguintes tipos: “falha de projeto; defeito nos materiais aplicados; erros de montagem e instalação; operação inadequada e fim de vida útil” (CEDTEC, 2005).

(a) Erro de projeto:

Falha foi provocada por um erro do projeto da peça, como, por exemplo, uma folga do rolamento de um secador mal determinada, uma mudança no projeto original sem critério, material para tubulação de amido que possibilita a precipitação de carbonetos não resistindo à corrosão.

(b) Defeitos nos materiais aplicados:

Problemas com materiais aplicados nas peças dos equipamentos como trincas e poros. Estes defeitos nem sempre são visíveis, mas podem ser detectados após a falha com análises metalográficas por exemplo. Outro defeito comum é o de fabricação de peças. Apesar de o material base não ter imperfeições, estas podem aparecer em processos de fabricação como usinagem e soldagem. Uma simples troca de fornecedor de sobressalentes pode fazer aparecer esse tipo de causa, por isso, sempre que alterar um material do fabricante, a engenharia deve ser envolvida.

(c) Erros de montagem e instalação:

Estes erros podem ocorrer na montagem da fábrica de polpa de celulose ou durante as trocas executadas pela manutenção. Na montagem da fábrica, faz-se necessário o comissionamento para reduzir tais erros. Um erro de montagem, por exemplo, é um desalinhamento que pode não trazer consequências imediatas, mas reduz e muito a vida útil do equipamento. A falta de procedimentos e manuais com as recomendações do fabricante provocam este tipo de causa.

(d) Operação inadequada:

Operar o equipamento inadequadamente também é uma causa de falha. São operações inadequadas: operar acima da capacidade permitida ao equipamento, bem como abaixo do limite permitido. Por exemplo: uma bomba centrífuga não deve trabalhar com válvula do recalque aberta somente 15%, pois certamente a mesma irá recircular e terá sua vida útil reduzida. Não

obedecer às sequências de partidas e paradas recomendadas pelo fabricante também caracteriza operação inadequada.

(e) Final de vida útil:

Se um equipamento “A” falhar por fim de vida útil, com certeza tem-se um problema de execução na manutenção. Ou o plano está errado, ou não foi executado.

2.2.1.8- Escrevendo os procedimentos

Segundo Falconi (2004), os procedimentos operacionais devem ser iniciados pelas atividades críticas, no caso em questão pelos equipamentos “A”.

Esta é a fase de “como fazer”. Depois de definido “o que fazer”, deve-se então escrever os procedimentos de como fazer a manutenção proposta.

Cada atividade determinada deve ter um roteiro ou procedimento informando como deve ser realizada, de forma que seja executada da maneira mais correta, rápida e segura.

Os procedimentos devem ser escritos de forma que a manutenção dependa o mínimo possível de pessoas específicas, ou seja, segundo Marins (2006) : “O procedimento deve ser bastante claro para que até um gerente da área que nunca executou a tarefa possa fazê-lo sozinho, apenas com o procedimento em mãos”. E também para que qualquer iniciante possa aplicar a manutenção sugerida sem risco de re-trabalhos ou de surpresas. A seguir, serão apresentados alguns exemplos de atividades que necessitam de procedimentos.

(a) Preditiva ou preventiva baseada na condição:

Definir o tipo de medição que deverá ser executada e onde serão medidos os valores; determinar qual instrumento será utilizado ou qual sentido (no caso de inspeção sensitiva); definir os valores aceitáveis e os não aceitáveis.

(b) Preventiva baseada no tempo:

Definir o que trocar e como trocar; escrever passo a passo a troca na sequência correta; escrever os ajustes necessários com seus valores, as ferramentas necessárias e os recursos necessários.

(c) Trocas aleatórias

As trocas necessárias a partir das inspeções preventivas baseadas na condição também deverão ter procedimento. Como na troca da preventiva baseada no tempo, deve-se definir o que trocar e como trocar. Escrever passo a passo a troca na sequência correta, escrever os ajustes necessários com seus valores, as ferramentas necessárias e os recursos necessários.

(d) Lubrificação

A lubrificação também terá procedimentos contendo o tipo de lubrificante, a quantidade, o equipamento necessário para lubrificar e a condição em que o equipamento deve estar no momento da lubrificação.

(e) Limpezas

Estes procedimentos devem conter o que limpar, uma referência de como deve ser considerado limpo (como uma foto do local), as ferramentas e os produtos para a limpeza e a condição em que equipamento deve estar no momento da limpeza.

2.2.2- Indicadores de desempenho de manutenção

De acordo com Falconi (2004), gerenciar é o ato de buscar as causas (meios) da impossibilidade de se atingir uma meta (fim), estabelecer contramedidas, montar um plano de ação, atuar e padronizar cada sucesso. Itens de controle são características numéricas sobre as quais é necessário exercer o controle. Somente aquilo que é medido é gerenciado. O que não é medido está à deriva.

A manutenção deve ser acompanhada por indicadores que mostrarão o seu desempenho, bem como seu impacto no desempenho da fábrica de polpa de celulose, mas vale ressaltar que os resultados desses itens são consequências da gestão da manutenção.

Segundo Tavares (1999), a escolha dos indicadores corretos é fundamental para o sucesso da avaliação da manutenção, mas é importante também considerar três fatores que podem prejudicar o trabalho de avaliação:

- (a) As limitações e dificuldades de adaptação dos executantes de manutenção e solicitantes de serviços, quanto à fidelidade e

consistência das informações – estes devem ser treinados de modo a conseguir coletar os dados necessários;

(b) A forma como serão aplicados seus resultados, que podem criar temores nas pessoas e a conseqüente sabotagem nos registros – diante de resultados negativos o melhor a fazer é achar solução para revertê-los e não procurar culpados e julgá-los ou contar histórias que explicam mas não revertem o resultado;

(c) A reduzida disponibilidade de pessoal em empresas com efetivo ajustado às suas necessidades produtivas – ao adicionar um controle novo na manutenção devem-se nomear responsáveis para unificar os dados e avaliá-los, traçando planos de ação, o pessoal de frente da manutenção não fará isso, pois já tem suas tarefas do dia-a-dia.

Além desses três fatores, é importante que os indicadores estejam alinhados com as variáveis que medem o desempenho da máquina de papel.

A escolha correta depende também do comparativo desejado pela organização, ou seja, se as referências serão outras unidades de manutenção independentemente do setor produtivo ou serão unidades de manutenção de organizações do mesmo setor. Para a primeira escolha, têm-se os “índices classe mundial” que servem de referência para qualquer unidade de manutenção.

Conforme Tavares (1999), chamam-se “índices classe mundial” aqueles que são utilizados segundo a mesma expressão em todos os países.

Dos seis “índices classe mundial”, quatro se referem à análise de gestão de equipamentos e dois se referem à gestão de custos:

(a) Tempo médio entre falhas (TMEF) - Relação entre o produto do número de itens (NOIT) por seus tempos de operação (HROP) e o número total de falhas detectadas nestes itens (NTMC) no período observado.

$$TMEF = \frac{NOIT * HROP}{NTMC}$$

(b) Tempo médio para reparo (TMPR) - Relação entre o tempo total de intervenção corretiva em um conjunto de itens com falha (HTMC) e o número total de falhas detectadas nestes itens (NTMC) no período observado.

$$\text{TMPR} = \frac{\text{HTMC}}{\text{NTMC}}$$

- (c) Tempo médio para falha (TMPF) - Relação entre o tempo total de operação de um conjunto de itens não reparáveis (HROP) e o número total de falhas detectadas nestes itens (NTMC) no período observado.

$$\text{TMPF} = \frac{\sum \text{HROP}}{\text{NTMC}}$$

- (d) Disponibilidade (DISP) - Relação entre a diferença do número de horas do período considerado (HCAL) com o número de horas de intervenção pelo pessoal da manutenção (HRMN) para cada item observado e o número total de horas no período considerado (HCAL).

$$\text{DISP} = \frac{\sum(\text{HCAL} - \text{HRMN})}{\sum \text{HCAL}} * 100$$

- (e) Custo de manutenção por faturamento (CMFT) - Relação entre o custo total de manutenção (CTMN) pelo faturamento da empresa (FTEP) no período considerado.

$$\text{CMFT} = \frac{\sum \text{CTMN}}{\text{FTEP}} * 100$$

- (f) Custo de manutenção pelo valor de reposição (CMRP) - Relação entre o custo total acumulado na manutenção de um determinado equipamento (CTMN) e o valor de compra deste equipamento novo (VLRP).

$$\text{CMRP} = \frac{\sum \text{CTMN}}{\text{VLRP}} * 100$$

Na empresa Suzano, unidade Mucuri-BA, os indicadores para controle de manutenção são abrangentes e controlam a rotina de manutenção a fim de garantir a confiabilidade necessária da planta. Os indicadores controlados estão dispostos nas Figuras 10-11, abaixo:

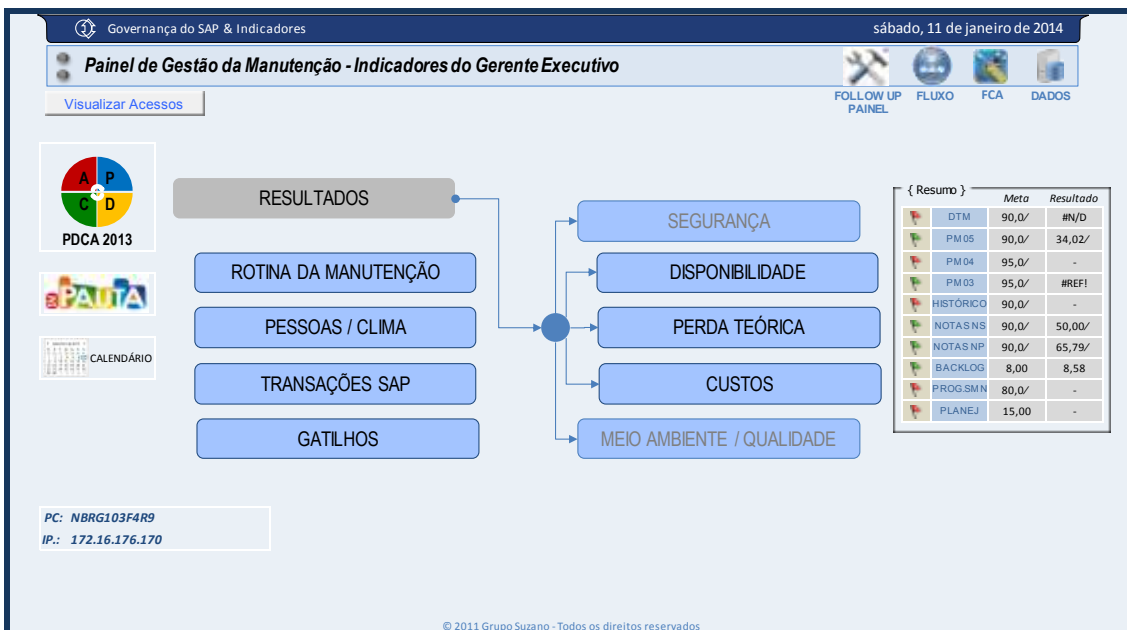


Figura 10- Indicadores para controle de manutenção, na Suzano, Mucuri-BA.



Figura 11- Indicadores para controle de manutenção, na Suzano, Mucuri-BA.

Baseando-se nos indicadores de manutenção classe mundial e no painel de gestão da Suzano, unidade Mucuri-BA, observa-se que a qualidade da polpa de celulose não é um indicador controlado pela manutenção. Esta situação é encontrada também em outras fábricas de polpa de celulose.

Defeitos em equipamentos de lavagem que não causam perda de disponibilidade podem causar grandes perdas de qualidade de produto sem que sejam percebidas pela manutenção.

3- MATERIAIS E MÉTODOS

3.1- Material

O material utilizado neste estudo foi a polpa celulósica de eucalipto obtida na linha 1 de processamento da Suzano Papel e Celulose, unidade Mucuri-BA. Foram estudados os equipamentos de lavagem (difusores), envolvidos no processo de obtenção da polpa celulósica branqueada (90% ISO). Todas as condições analisadas foram condições de processos reais da fábrica. Os períodos analisados foram: (a) Antes da manutenção nos difusores: 01/01/2011 a 10/08/2011; (b) Após a manutenção nos difusores: 10/08/2011 a 31/12/2011. Os equipamentos difusores avaliados foram (Tabela 3):

Tabela 3- Equipamentos difusores avaliados

Etapa de lavagem do processo	Difusor
Cozimento	W-21, W-37
Pré-branqueamento	O-30
Branqueamento	B-25, B-30, B-35, B-40

3.2- Métodos

3.2.1- Diagnóstico

Para contribuir para a melhoria da qualidade da polpa de celulose branqueada na empresa Suzano, unidade Mucuri-BA, realizou-se um estudo para o levantamento dos desvios que impactam diretamente na eficiência de equipamentos de lavagem. Neste contexto, foram estudados os difusores da linha de fibras 1.

Foi observado o funcionamento destes equipamentos de lavagem, determinando a função de cada componente e o efeito na polpa de celulose no caso do seu funcionamento inadequado. E ainda, se os equipamentos estavam exercendo a função de lavagem com a eficiência projetada, pela avaliação de parâmetros operacionais do equipamento (análise de gráficos e tendências no painel de controle de operação do equipamento durante o mês de Abril de 2011).

Foi realizado levantamento de campo, verificação de tendências de variáveis, verificação da base de dados e alarmes bloqueados, análises do teor de fibras nas extrações, análise de consistência nas descargas, verificação de ajustes dos relés térmicos dos motores, verificações de ajustes de controle, dentre outras verificações que diretamente e indiretamente impactam na eficiência dos difusores de lavagem da linha de fibras 1.

Nesta etapa houve a contribuição de uma empresa de consultoria, com profissional especializado em difusores, de forma a auxiliar na obtenção de um preciso diagnóstico de desvios.

3.2.2- Manutenção dos desvios encontrados

De acordo com os desvios encontrados nos equipamentos de lavagem (difusores), de acordo com a etapa de diagnóstico (item 4.2.1), foram realizadas as manutenções necessárias nos equipamentos envolvidos.

3.2.3- Impacto da manutenção na qualidade da polpa de celulose

Foi verificado como a manutenção realizada nos equipamentos difusores, mediante preliminar diagnóstico de desvio, impactou na qualidade da polpa celulósica, na empresa Suzano, unidade Mucuri-BA.

Todas as condições analisadas foram condições de produção e processos reais da fábrica. Dados referentes à madeira não foram avaliados.

3.2.4- Análise dos dados

Para comparação das alvuras médias da polpa celulósica, na entrada do branqueamento, antes e após o manutenção, foi empregado o teste t, em nível de 5% de significância. Esse mesmo teste foi empregado para comparar os consumos médios de cloro ativo, em virtude do aumento de alvura da polpa celulósica na entrada do branqueamento. Foram feitas também algumas análises estatísticas descritivas para alvura e consumo de cloro ativo.

4- RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1- Diagnóstico encontrado

Na etapa de diagnóstico dos desvios nos equipamentos lavadores (difusores), foram encontrados vários problemas que poderiam causar paradas da fábrica afetando a disponibilidade dos equipamentos e a qualidade do produto final (polpa de celulose branqueada):

- (a) ausência de rotina de análise de consistência na saída dos difusores W-21, W-37 e O-30, o que dificulta ao operador avaliar a eficiência dos equipamentos;
- (b) desalinhamento e desnível das hastes das peneiras (difusor W-21). Nas condições que se encontravam, as buchas de teflon são danificadas e, por consequência, danificam os tubos guias, gaxetas, comprometendo o sistema de elevação das peneiras. O desalinhamento pode ser observado pela distância entre haste e preme gaxeta, considerando um paralelismo do preme gaxeta (mesma distância nos três parafusos de ajustes).
- (c) cabos pendurados fora da eletro-calha, com risco de rompimento dos mesmos, impactando em parada total ou parcial do difusor W-21.
- (d) o visor de nível encontrava-se fora de operação, no chão sem identificação e motivos para desacoplamento do tanque, com a válvula de bloqueio fechada e sem identificação do motivo. Vale ressaltar, que o visor de nível é fundamental no processo, devido à necessidade, quando na dúvida de funcionamento, do transmissor de nível do balão.

Para uma melhor performance na contra lavagem das peneiras é necessário ajustar o tempo de fechamento da válvula, para que possa descarregar totalmente o balão (Figura 12). No caso da válvula 121KV009 recomenda-se, ainda, retirada da mesma para manutenção por apresentar passagem pela sede, conforme observado na Figura 13.

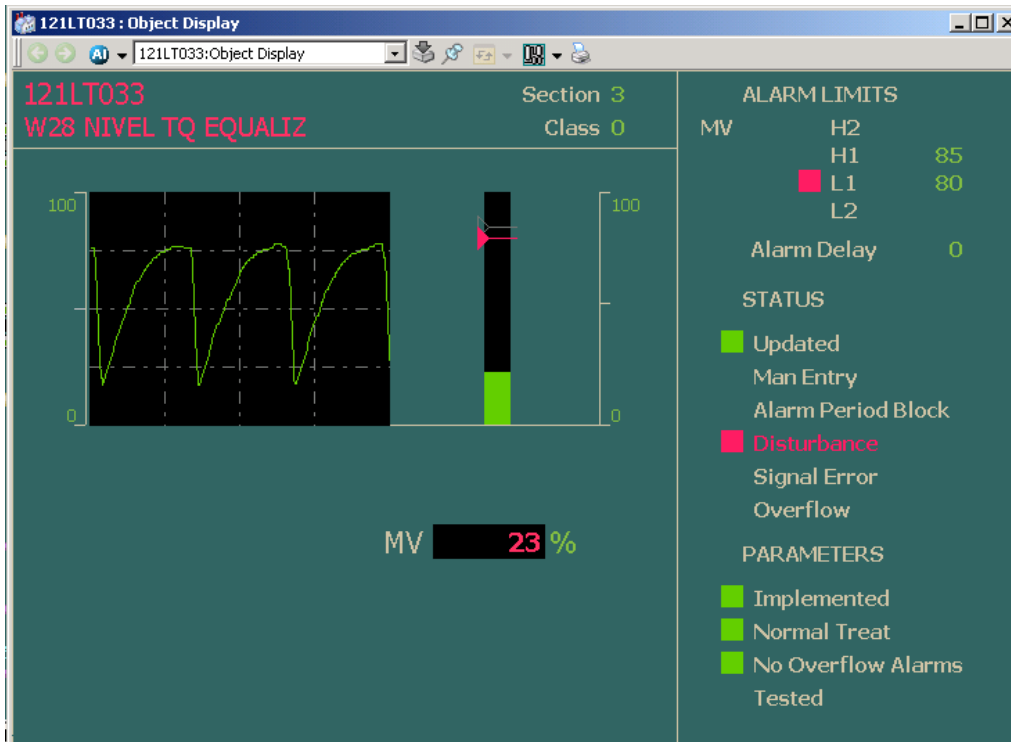


Figura 12- Visor de nível (121LT033) que ajusta o tempo de fechamento da válvula 121KV010.

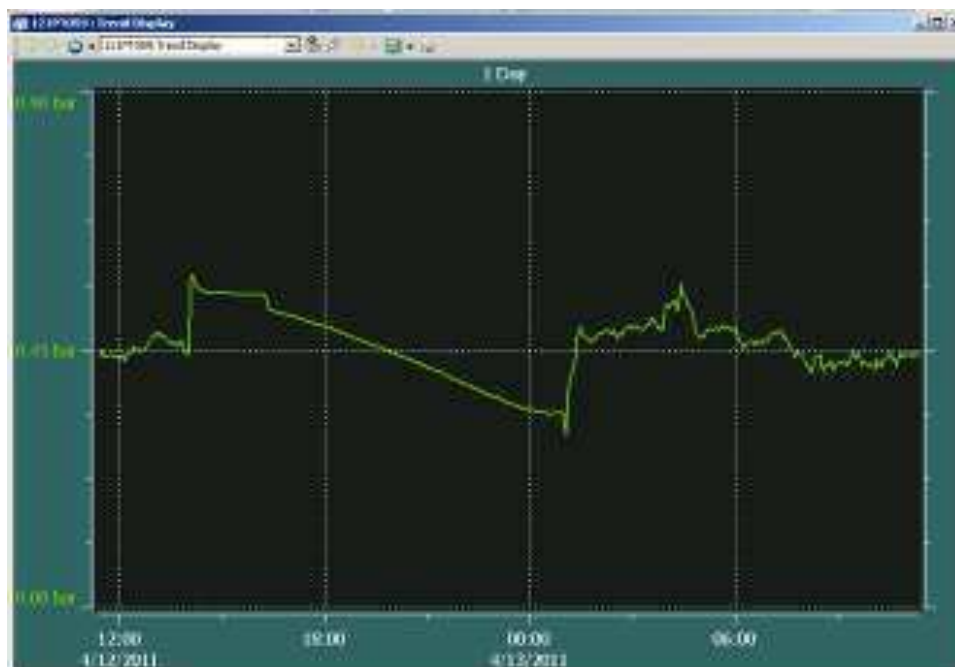


Figura 13- Válvula de extração do difusor W-21, 121KV009, apresentando passagem.

4.2- Resolução dos problemas

Após o diagnóstico foi elaborado um planejamento para eliminação dos defeitos encontrados. Visto que, para a realização de alguns concertos, fazia-se necessária a aquisição de materiais específicos e peças para os equipamentos, os mesmos foram agendados em ocasião de parada geral da planta, período de 10/08/2011 até 17/08/2011.

Também, durante a parada geral, os componentes dos equipamentos difusores foram desmontados e, então, confirmadas as partes com desgaste e que provocavam os desvios encontrados.

A seguir tem-se o plano global com todas as ações para eliminação dos desvios nos equipamentos difusores:

- (a) Manutenção periódica anual no sistema de elevação dos difusores de lavagem, considerando o alinhamento e nivelamento das peneiras, troca de hastes de acionamento quando apresentarem desgastes que possam comprometer a vedação das gaxetas, a troca das buchas de vedação, os tubos guia e as arruelas esféricas. Essa manutenção pode ser monitorada através do tempo da diferença de pistão, quando esse for superior a 1-6 segundos e, quando o valor de perda de fibras for superior a 200 ppm.
- (b) Retorno da análise de consistência nos difusores, pelo menos uma vez por turno, para um melhor controle da eficiência. O uso da corrente do raspador para essa análise não é o mais recomendável, pois, os transdutores de corrente dos motores não são rastreados e nem confirmados metrologicamente, podendo apresentar falhas e erros na medição e, por consequência, comprometerem o sistema de elevação, bocais de vazão das peneiras dos difusores dentre outros.
- (c) Inspeção semanal nos sistemas hidráulicos considerando os seguintes itens:
 - Válvulas em geral, pressão de óleo, pressão de nitrogênio, controle do tempo de subida da peneira, eficiência do trocador de calor, funcionamento dos acumuladores de alta e baixa pressão;

- Sistemas de elevação (hastes de acionamento da peneira arranhadas causando vazamento pelas gaxetas e, por consequência, aumentando o índice de corrosão nas partes metálicas);
 - Sistema de levantamento da peneira (inspeção minuciosa nos cilindros hidráulicos, identificando folgas e vazamentos de óleo). Troca das gaxetas dos cilindros logo que os vazamentos sejam identificados.
- (d) Inspeção semanal no funcionamento dos sensores superiores e inferiores das peneiras. Esse funcionamento deverá ser visualizado na tela de ajuda do operador. Jamais, o sensor não será ajustado para correção de alinhamento das peneiras, visto que tal procedimento mascara as condições operacionais das peneiras, e compromete sua sustentação.
- (e) Inspeção semanal e purga nos transmissores de pressão dos difusores e pressão diferencial das peneiras.
- (f) Inspeção quinzenal no funcionamento das válvulas de extração, lavagem, contra lavagem, nível do balão, pressurização do balão e de alívio do balão.
- (g) Acompanhamento quinzenal das tendências do controle de nível do balão de contra lavagem, identificando o funcionamento do transmissor de nível e o controle de fluxo de ar das válvulas de contra lavagem, visando uma contra lavagem eficiente.
- (h) Acompanhamento quinzenal das tendências do controle de pressão do balão de contra lavagem, identificando o funcionamento do transmissor de pressão e funcionamento das válvulas de pressão e despressurização do balão, impedindo que a pressão exceda o valor de alarme, pois, uma pressão elevada e constante na peneira, funcionará como uma sanfona e por consequência danificando (rasgando ou trincando) as peneiras, comprometendo a eficiência da mesma, além de perda de fibras (impacto ambiental).

- (i) Acompanhamento das sintonias de controle, visando melhor eficiência e estabilidades dos difusores e redução de produtos químicos.
- (j) Substituição das gaxetas das hastes de acionamento, por gaxeta 8000TW de fabricação Sotequi, pois, além de uma maior durabilidade é de material macio, o que evita desgaste acentuado das hastes.

4.3- Impacto na qualidade da polpa de celulose

Após a manutenção dos componentes de lavagem e contra-lavagem dos difusores da Linha de Fibras 1, e cumprimento das ações do plano global, descrito no item anterior (5.2), foi constatado um aumento na alvura da polpa celulósica na entrada do branqueamento, conforme Figura 14 abaixo. Foram avaliados dados do período de 01/01/2011 até 31/12/2011. Vale ressaltar que para a análise foram considerados os períodos de produção estável, eliminando os dados de parada e retorno de processo.

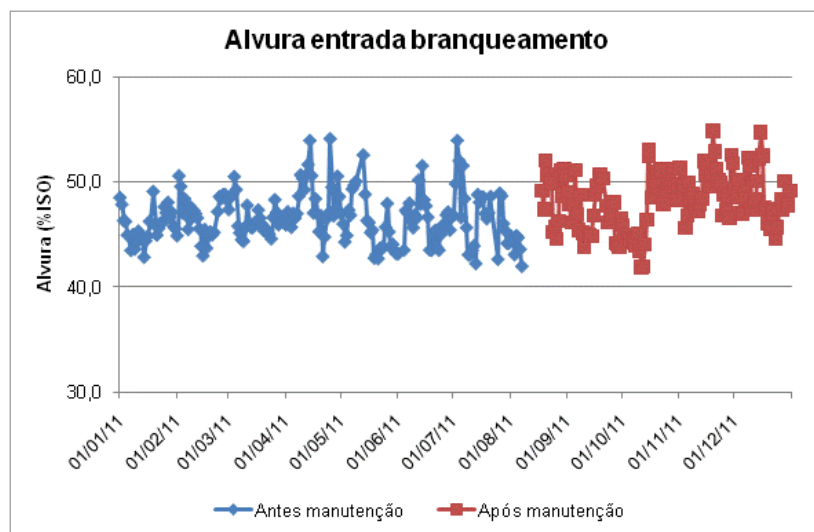


Figura 14- Perfil de alvura na entrada do branqueamento, antes e após a manutenção dos difusores.

A Figura 14 evidencia o aumento da alvura da polpa na entrada do processo de branqueamento, após a manutenção dos difusores. Foi constatado um aumento médio percentual equivalente a 3,59%, onde a alvura passou de valores médios de $46,52 \pm 2,31$ % ISO para $48,19 \pm 2,65$ % ISO. O teste t para

dados independentes confirmou a existência de diferença significativa entre os períodos, antes e após a manutenção. Em valor nominal de alvura da polpa, o aumento foi equivalente a 1,67% ISO (Figura 15).

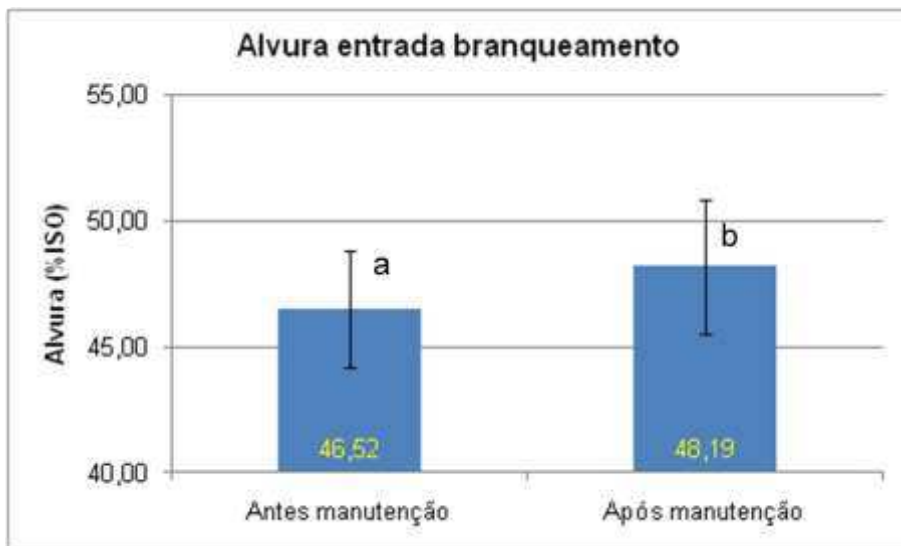


Figura 15 - Alvura da polpa celulósica, na entrada do branqueamento, antes e após a manutenção dos difusores.

Em consequência ao aumento de alvura na entrada do branqueamento, alterações processuais na obtenção da polpa de celulose branqueada foram observadas. Cabe atentar a um dos parâmetros mais controlados no processo de branqueamento, que é o consumo específico de cloro ativo, o químico que mais contribui ao custo variável da obtenção de polpa de celulose branqueada. Na Figura 16, verifica-se o perfil de consumo específico de cloro ativo do período de 01/01/2011 até 31/12/2011. Aqui também foram considerados os períodos de produção estável, eliminando os dados de parada e retorno de processo.

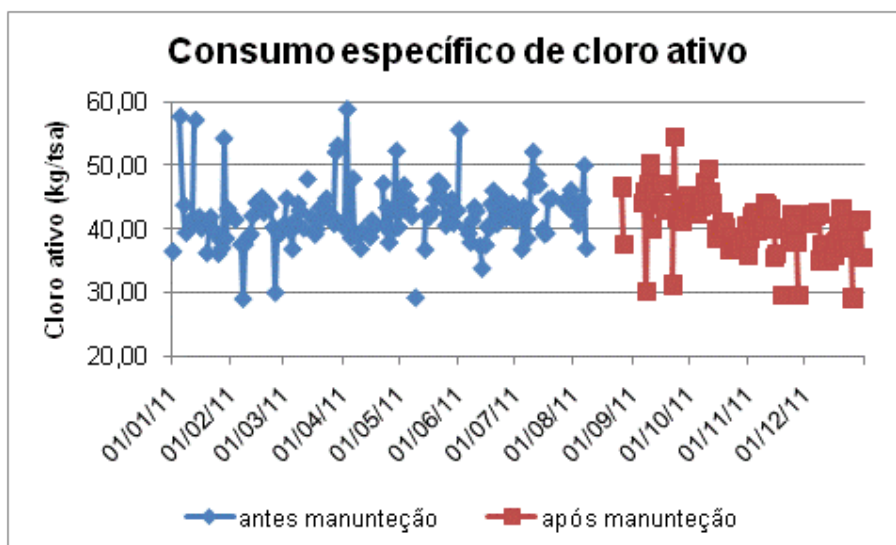


Figura 16 - Perfil de consumo específico de cloro ativo no branqueamento, antes e após a manutenção dos difusores.

Como observado, Figura 16, o aumento da alvura na entrada do processo de branqueamento impactou em uma redução média percentual equivalente a 4,15% no consumo específico de cloro ativo no branqueamento da polpa celulósica. O consumo de cloro ativo passou de valores médios de $42,28 \pm 4,58$ kg/tsa para $40,52 \pm 4,40$ kg/tsa. O teste t para dados independentes confirmou a existência de diferença significativa ($p < 0,05$) entre os períodos, antes e após a manutenção. Em valor nominal, a redução de consumo específico foi equivalente a 1,76 kg/tsa (Figura 17).

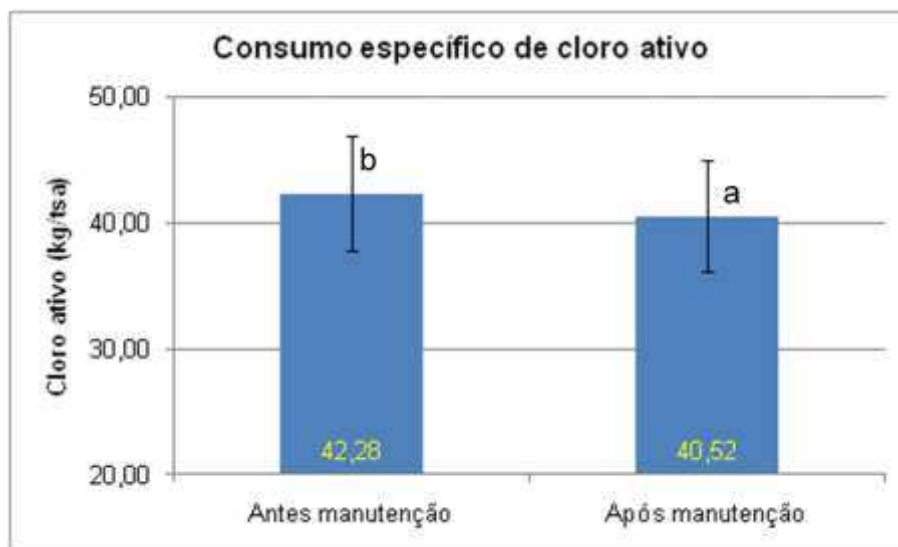


Figura 17- Consumo de cloro ativo, em virtude do aumento de alvura da polpa celulósica na entrada do branqueamento.

A redução no consumo de cloro ativo no branqueamento, equivalente a 1,76 kg/tsa, impacta significativamente no controle do custo variável da etapa de branqueamento da polpa celulósica. A redução representa uma economia anual de aproximadamente R\$ 897 mil, conforme Tabela 4.

Tabela 4- Retorno financeiro oriundo da redução do consumo específico de cloro ativo no branqueamento.

Estequiometria		
Cloro ativo	2,63	Dióxido de cloro
Clorato	1,75	Dióxido de cloro
Preço (R\$/tonelada) em 2011		
Clorato		1.092,46
Produção (toneladas) em 2011		
Linha 1		702.000,00
Redução cloro ativo de 1,76 kg/tsa		
Clorato		1,17
Retorno financeiro (anual)		
R\$ 897.281,10		

Verificou-se, ainda, que a manutenção dos difusores contribuiu efetivamente para o aumento de qualidade do produto final, a polpa de celulose branqueada. Neste produto final o objetivo é a qualidade EP (extra prime). Na

unidade fabril de estudo, Linha de Fibras 1 de Mucuri-BA, observou-se que o patamar de polpa de celulose EP não vinha sendo atingido nos últimos meses (janeiro a julho de 2011), representado pelas barras vermelhas, com valores de polpa de celulose EP abaixo da meta estabelecida. No entanto, à partir da manutenção dos difusores, em agosto de 2011, os valores de polpa de celulose EP foram aumentando, sendo que, à partir de outubro a meta de qualidade EP foi atingida, sendo mantida nos demais meses do ano (Figura 18).

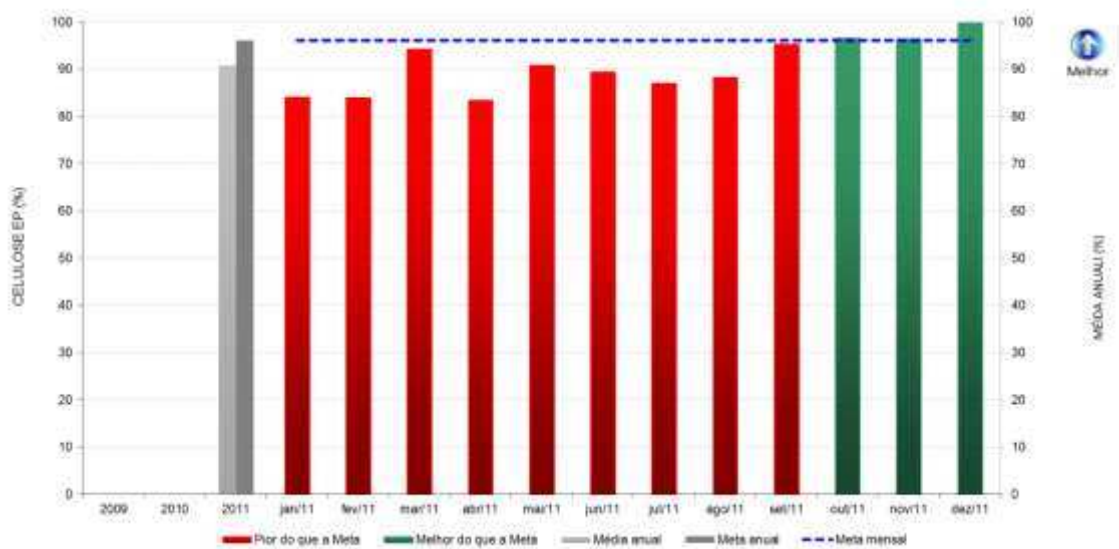


Figura 18- Indicador mensal de qualidade EP da polpa de celulose, obtida na Linha de Fibras 1, da Suzano unidade Mucuri-BA.

Por fim, vale salientar a importância da manutenção, e disponibilidade dos equipamentos, para a qualidade da polpa de celulose. A Figura 19 apresenta o indicador mensal de disponibilidade dos equipamentos, na Linha de Fibras 1. É observado que, a partir de setembro de 2011, existe maior disponibilidade dos equipamentos, fator que corrobora a obtenção de polpa de celulose qualidade EP.

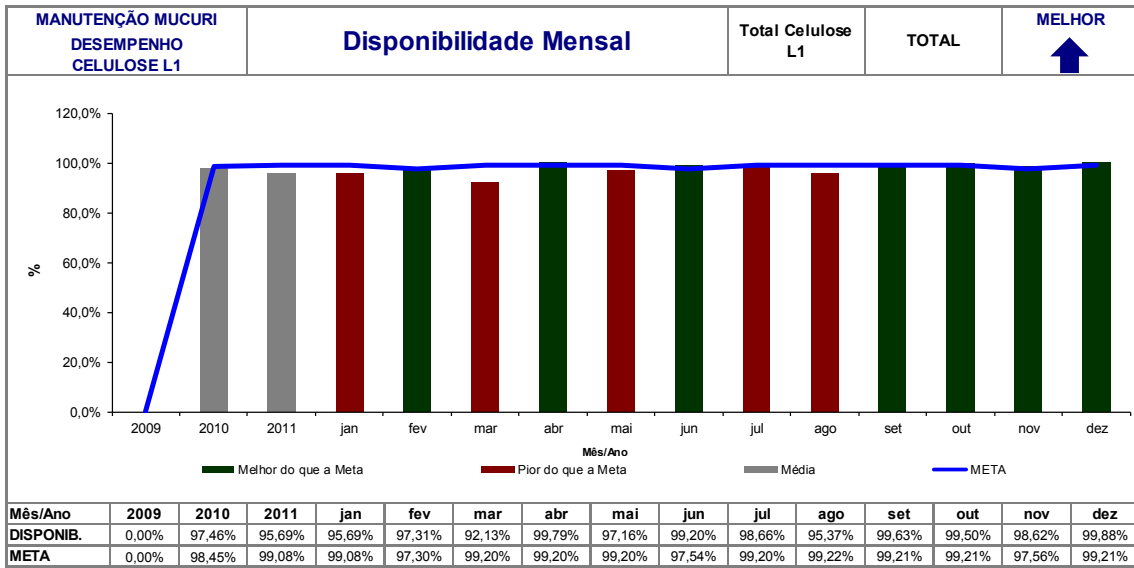


Figura 19- Indicador mensal de disponibilidade dos equipamentos, na Linha de Fibras 1, da Suzano unidade Mucuri-BA.

5- CONCLUSÕES

O trabalho comprovou que um plano de manutenção adequado contribuiu diretamente para a qualidade da polpa de celulose.

Após diagnóstico dos desvios, manutenção dos componentes de lavagem e contra-lavagem dos difusores, e cumprimento das ações do plano global, foi constatado um aumento na alvura da polpa celulósica na entrada do branqueamento (3,59%), uma redução no consumo específico de cloro ativo no branqueamento (4,15%) e uma redução anual do custo variável do branqueamento em aproximadamente R\$ 897 mil. Ainda, foi verificado aumento da disponibilidade e eficiência dos equipamentos e melhoria no índice de qualidade EP (extra prime) do produto final.

6- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAMAN – CONGRESSO NACIONAL DE MANUTENÇÃO 19., 2004, Curitiba: Associação Brasileira de Manutenção, 2004.

AQUINO, J.Z. Gestão de Manutenção de uma Máquina de Papel. 2003. Dissertação (Pós-graduação Lato Sensu em Tecnologia de Celulose e Papel) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2007.

CEDTEC – Curso Técnico Mecânica. In: CEDTEC (Centro de Desenvolvimento Técnico) [S.l.:s.n.], 2005.

FALCONI, VICENTE C., Gerenciamento da rotina do trabalho do dia-a-dia. [S.l.]: INDG - MG, 2004.

FRIGIERI, T.M.; VENTORIM, G. (2012) Efeito da Redução de Água na Lavagem da Polpa Kraft no Branqueamento ECF. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE CELULOSE E PAPEL. 2012, São Paulo. Anais... São Paulo: ABTCP, 2012. 10 p.

KARDEC, ALAN; NASCIF, JÚLIO. Manutenção: função estratégica. 2.ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2001.

LOSS PREVENTION. O FACILITADOR e o TPM. In: Loss Prevention. [S.l.:s.n.], 2002.

Manual Técnico, Bahia Sul Celulose, 1991, Digestor Kamyr.

Manual Técnico, Suzano Bahia Sul, 2004, KVAERNNER.

Manual Técnico, Suzano Bahia Sul, 2005, Andritz.

MEDEIROS, U. Organização e planejamento: controle e técnicas de gestão da manutenção industrial. Vitória: UCL, 2004.

MOKFIENSKI, A. Fundamentos de Lavagem de polpa. 2º Encontro de Operadores de Sistema de Lavagem e Branqueamento Universidade Federal de Viçosa – Viçosa MG, ABTCP. 2003.

ROGERS, J.; FUNO, P.; NERY, J. A lavagem da polpa. O Papel, São Paulo, Brasil, Vol. 57, No. 3, 1996, pp. 30-38.

TAVARES, Lourival A. Administração moderna da manutenção. Rio de Janeiro: Novo Pólo Publicações, 1999.

TRINDADE, H. de S. A importância da lavagem da polpa nos estágios de branqueamento. 2003. 62p. Dissertação (Pós-graduação Lato Sensu em Tecnologia de Celulose e Papel) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2003.