

MELHORIA NA LINHA DE ENFARDAMENTO DE UMA FÁBRICA DE CELULOSE: Substituição de rolos por chapa lisa na encapadeira de fardos

Gabriel Tudissaki Alvares¹; João Otávio Guarnieri¹; Carla Gabriela da Silva Leite^{2*}

¹ Graduando em Engenharia de Produção, Faculdade Integradas de Três Lagoas – FITL/AEMS; ² Mestre em Engenharia Mecânica – UNESP, Engenheira de Produção – FIRB, docente das Faculdades Integradas de Três Lagoas – FITL/AEMS

* autor correspondente: carlagabrielaleite@hotmail.com

RESUMO

A produção de celulose ganhou um grande crescimento no Brasil nos últimos anos, as fábricas contam com vários setores e grande amplitude nas ciências da natureza. A área de enfardamento de uma fábrica de celulose normalmente opera o máximo de tempo possível sem apresentar paradas não programadas gerando perda de produção, a qual conta com muitos equipamentos que são de extrema importância para a produção em linha contínua. As indústrias buscam sempre inovar, como a utilização de tecnologias como a Indústria 4.0. Visto isso, alguns equipamentos necessitam de melhorias com base no histórico destes, a máquina encapadeira conta com diversas peças e ferramentas, ela tem como finalidade, encapar os fardos de celulose para disposição do envio pronto. Os rolos transportadores apresentam durante seu funcionamento anual algumas falhas por quebras e ou travamentos e que ocasionam a parada da linha, ou erros nos instrumentos e leituras erradas. Estudos atuais mostram que o custo da troca, manutenção e tempo de parada dos rolos com base na melhoria visada, garante a viabilidade do projeto. A substituição por chapa de inox lisa assegura maior eficiência na qualidade operacional, ganho de tempo de processo sem perdas excessivas.

PALAVRAS-CHAVE: celulose; enfardamento; indústria 4.0.

1 INTRODUÇÃO

A celulose compõe cerca de 33% das matérias vegetais presentes no planeta; dentre os compostos que se desenvolvem naturalmente é a que tem mais abundância. Serve como estrutura das paredes celulares, está presente em quase todas as plantas e é uma molécula química formada por uma cadeia complexa de glicose. Na madeira e

algodão, respectivamente cerca de 50% e 90%, são compostos pela celulose (CROPLIFE BRASIL, 2019).

Diversos produtos de consumo diário são gerados pela celulose, usufruindo desta como matéria-prima em indústrias no mundo todo como de embalagens e tecidos, papel, pode ser usada até em fraldas descartáveis, alimentos, farmácias, biocombustíveis e entre outras (SUMMITAGRO, 2021).

Descoberta pelo químico francês Anselme Payen (1838), que deduz sua fórmula química $((C_6H_{10}O_5)_n)$, a celulose é processada para produzir fibras de tecidos e papéis principalmente, também apresenta alta importância econômica (CROPLIFE BRASIL, 2019).

A produção de papel tem como matéria-prima a celulose, extraída dos troncos de madeira, desta maneira o primeiro passo é o corte da árvore para retirada da madeira pela máquina *harvester*, o desempenho destas são monitorados pelos sistemas de gestão de frotas. Após o corte, já dentro do setor operacional das fábricas, passam por descascadores e picadores para se transformarem em cavacos (pequenas pedações da madeira) selecionados. As cascas, seu subproduto, são utilizadas para a queima como combustível de caldeiras (PEREIRA, 2022).

Na etapa seguinte denominada de cozimento, os cavacos selecionados pelas peneiras são enviados aos digestores com reagentes químicos como hidróxido de sódio (NaOH) e sulfeto de sódio (Na₂S) para o processo de polpação. Fase que consiste nas reações químicas para o desprender e dissolver a lignina, solubilizando a celulose como uma massa marrom, os cavacos são cozidos em cerca de 170°C, comumente em torno de 120 minutos para o processo ter uma grande eficiência, após este tempo de residência a polpa passa por processos de lavagens e outros tanques, peneiras e centrifugas para retirar todas as impurezas sólidas (CROPLIFE BRASIL, 2019).

No branqueamento com a polpa já limpa, adicionam-se alguns reagentes (dióxido de cloro, peróxido de hidrogênio, cloro e entre outros) para aumentar o brilho da celulose por alterações químicas e permitir que as folhas fiquem mais branca. Caso ainda apresente resíduos de lignina, o papel pode apresentar coloração “amarelada” com necessidade de utilizar mais produtos para atingir o ponto

esperado (PEREIRA, 2022).

Setor de secagem, formação dos fardos (enfardamento) e expedição, após todo o processo anterior a celulose apresenta alto teor de umidade, algo que não é interessante para atingir sua qualidade. A secagem consiste em vários equipamentos que atingem a necessidade, como a mesa plana que faz a modificação da celulose transformando-a em uma folha lisa e contínua; nesse processo ela precisa chegar em um equilíbrio com a umidade do ar, sendo algo em geral 90% de fibras e 10% de água. Para diminuir a umidade da folha, passa por rolos de prensagem e secagem com ar quente, deixando-a lisa e compacta, já na área de enfardamento a celulose é embalada, cortada em tamanhos menores e distribuídas em fardos, concluindo o enfardamento a celulose é destinada à expedição onde prepara os fardos aos caminhões e consequentemente aos navios de cargas (CROPLIFE BRASIL, 2019).

O processo do enfardamento segue os passos, em ordem, (i) controle de peso da celulose a ser comercializada, (ii) diminuição de volume e controle dimensional dos fardos para armazenagem, (iii) aplicação da embalagem do fardo para se evitar contaminações do produto, (iv) formação de unidades empilhadas para o transporte da celulose e (v) identificação das unidades com numeração adequada por meio de uma máquina marcadora (JUNIOR, 2019).

Até 2005, no Brasil, não existe relatos nas áreas de enfardamento de celulose sobre a eficácia da comunicação entre componentes (TURPPO, 2014).

A encapadeira é um equipamento que tem como função aplicar uma capa de proteção nos fardos prontos e guiar até a posterior amarração, tem um sistema de acionamento hidráulico, pneumático e elétrico, tem como resultado de um equipamento que tem características de componentes com movimentos articulados, retilíneos e rotativos, a

manutenção por ocorrência do desgaste de pinos, rótulas, guias de deslizamento e entre outros. Indústrias de produção de celulose branqueada tem resultados elevados porque produz em grande escala, tendo grande papel econômico em

exportações brasileiras, dessa forma é preciso ter essencialmente a disponibilidade das linhas produtivas e confiabilidade dos equipamentos diante de um cenário de alto patamar (JUNIOR, 2019).

Quadro 1. Fluxo físico x fluxo de dados do processo de enfardamento de celulose.

FLUXO FÍSICO	POSIÇÃO	FLUXO DE DADOS
Os fardos entram na linha de enfardamento, isto é, configurados como fardos vindos da cortadeira.	- Transportador giratório; - Transportadores de fardos.	- Criar uma identidade definida; - Criar identidades de fardos; - Atribuir fardos para identidade; - Definir dados de qualidade; - Dados de qualidade do fardo.
Fardo sai da balança.	Balança.	Aquisitar o peso do último fardo pesado da balança.
O fardo sai da prensa.	Prensa de fardos.	Aquisitar a altura do último fardo prensado.
O fardo entra na encapadeira.	- Transportadores de fardos; - Encapadeira; - Transportadores de fardos;	- Aquisitar a altura do fardo; - Aquisitar informações se a capa foi aplicada ao fardo.
O fardo entre a primeira amarreadeira, dobradeira, segunda amarreadeira e transportadores.	- Transportadores de fardos; - Transportadores das amarreadeiras; - Dobradeira; - Transportadores de fardos.	Aquisitar o número de arames aplicados ao fardo dos transportadores das amarreadeiras.
O fardo entra no transportador antes da impressora.	- Transportador de fardos; - Impressora.	Lote e formação da unidade: - Criar uma unidade se a unidade atual estiver concluída; - Criar um lote de unidades se o lote atual estiver concluído; - Atribuir unidade criada ao lote da unidade; - Atribuir fardo à unidade. Gerenciamento de impressões: - Gerar um código/layout de texto de impressão e envie para a impressora; - Verificar o código de barras impresso.
Quando a unidade completa é empilhada e transportada para fora do empilhador.	- Empilhador de fardos; - Transportadores de pilhas.	- Aquisitar o número de arames de pilha aplicados à pilha do transportador de amarração de pilhas; - Calcular o peso da unidade; - Relatar unidade concluída.
A unidade é amarrada e transportada para fora da linha de enfardamento.	- Unitizadora; - Transportadores de unidades.	- Aquisitar o número de arames aplicados à unidade da unitizadora; - A unidade é relatada como transportada para fora da linha de enfardamento.

Fonte: Extraído de Junior, 2019.

A confiabilidade aborda as probabilidades de uma máquina desempenhar suas funções da maneira desejada por tal em circunstâncias específicas em

determinado tempo. Essa disciplina permite compreender pelas aplicações de modelagens estatísticas, o funcionamento de uma máquina quando está operando em determinadas condições (AZEVEDO, 2007).

2 OBJETIVOS

A pesquisa apresenta uma melhoria com base na redução no custo fixo da área de manutenção, redução do tempo de paradas não programadas, e otimização do tempo de perda da produção em relação a manutenção do equipamento.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Esse relato foi descrito em uma fábrica de celulose no setor de enfardamento do equipamento encapadeira. Este foi analisado diante de históricos de manutenção e desempenho por meio de relatórios diários de produção, relatórios de não conformidades e softwares de

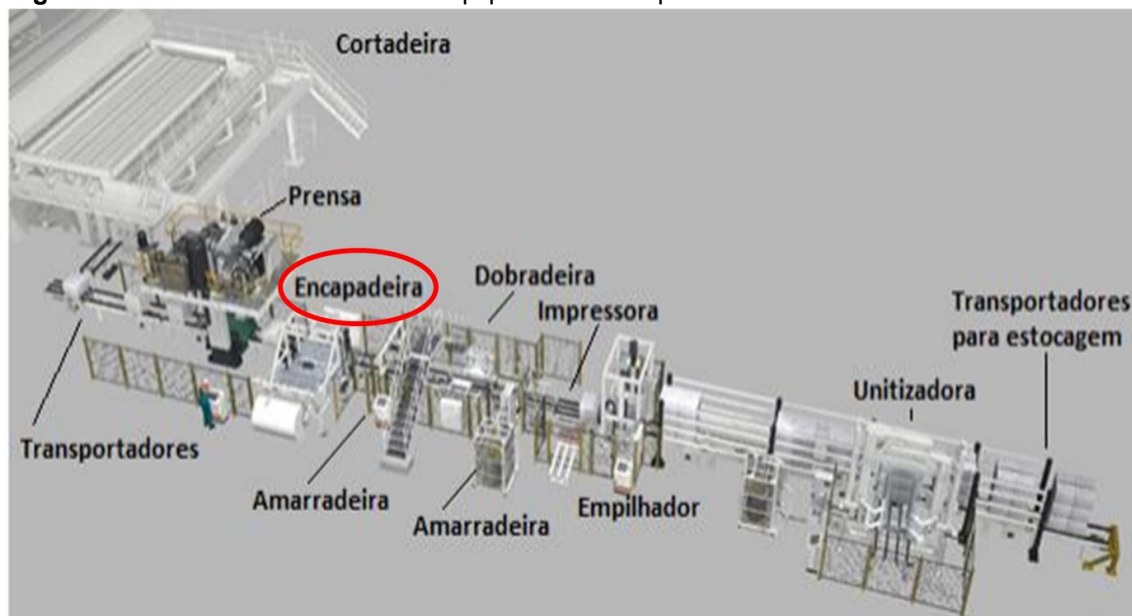
produtividade e eficiência, afetando diretamente a linha de produção e os custos por parada não programada ou parada corretiva.

4 RELATO DE CASO

A encapadeira apresentou não conformidades descritas nos históricos operacionais e de custos por parada. Pelos estudos de motivos de paradas foi observado que alguns componentes do equipamento apresentavam falhas ou quebras devido à má distribuição de peso originalmente sendo um erro original de fábrica, a fim do caso foi concordado que poderiam ser feitas melhorias e adaptações na máquina para um melhor desempenho.

A Figura 1 mostra o quão diretamente a encapadeira afeta a linha de produção, onde uma parada por motivo de falhas de qualquer equipamento gera um custo indesejável.

Figura 1. Linha de enfardamento. Equipamento encapadeira – círculo em vermelho.



Fonte: Extraído de Junior, 2019

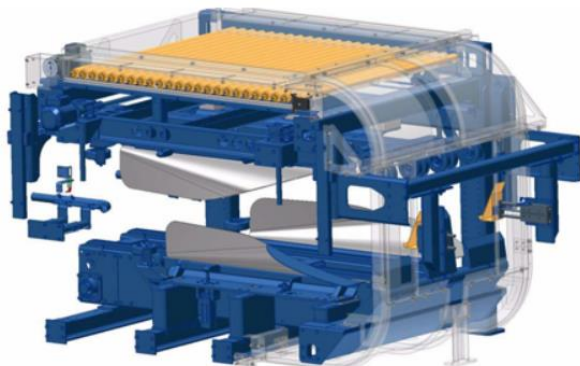
Diante disso, tornou-se viável adaptar e/ou melhorar uma máquina dentro da linha. Realizou-se então uma pesquisa focada a analisar todos os

parâmetros para que um projeto fosse útil e eficaz com base nos custos fixos anuais.

A encapadeira (Figura 2), pode ser

discorrida por resultados internos com respostas mais concretas.

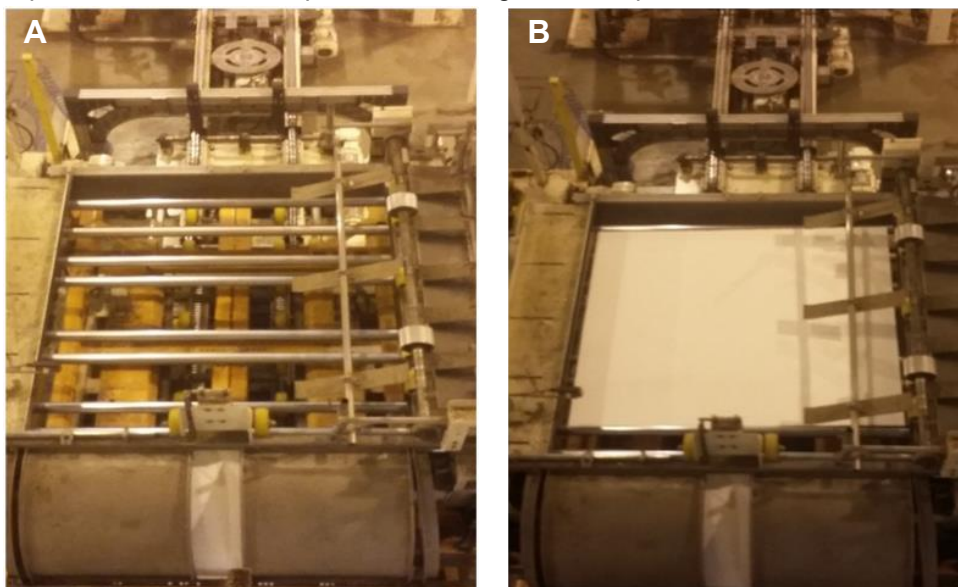
Figura 2. Encapadeira Andritz.



Fonte: Extraído de Andritz, 2023.

A encapadeira tem a responsabilidade de encapar o fardo de celulose que chega ao setor de enfardamento já com baixo teor de umidade, onde é composta por acionamentos eletromecânicos e eletropneumáticos, além de contar com uma unidade de prensagem superior com roldanas de pressão para dar o formato nas bordas na parte longitudinal e auxiliar o produto com a proteção do fardo. Pode-se observar como funciona usualmente o equipamento (Figura 3A) onde os rolos de acionamento esperam o fardo chegar para encapá-lo (Figura 3B).

Figura 3. Encapadeira em funcionamento. A. Os rolos estão preparados para receber o fardo. B. A capa entra no estágio do encapamento.



Fonte: Elaborado pelos autores (fotografia).

Pode-se considerar que pelos custos do equipamento (Tabela 1) e da manutenção mensal, além das paradas programadas, existe uma melhoria a ser aplicada de forma produtiva. Onde por pesquisas no mercado, existem modelos mais tecnológicos ou com modificações simples que trazem grandes resultados.

Com base nos valores unitários que todo o equipamento tem, observa-se que os roletes apresentam um custo elevado comparado ao seu histórico de quebras ou necessidade de troca devido a travamentos dificultando o funciona-

mento excelente do equipamento.

Pelos resultados obtidos pelos históricos de manutenção e desempenho, foi feito o levantamento de custos com o projeto original e baseado no orçamento sem incluir a mão de obra o valor de custo da encapadeira com todas as modificações, assim pode-se notar a grande diferença de custos gerados pelo equipamento, também foi alterado positivamente a taxa de periodicidade de manutenção que sanando os problemas principais de quebras de rolos transportadores, tornou esse tempo essencialmente

de forma indeterminada (Tabela 2).

Tabela 1. Custos de fábrica da encapadeira

EQUIPAMENTO	QUANTIDADE	UNIDADE DE MEDIDA	PREÇO UNITÁRIO (R\$)	TOTAL (R\$)
TENSIONADOR	4	Peças	1.245,04	4.980,16
CORRENTE	4	Metros	43,00	860,00
GUIAS	4	Peças	3.171,80	12.687,20
ROLETES	300	Peças	615,00	184.500,00
MOTOREDUTOR	4	Peças	4.683,43	18.733,72
INVERSOR	4	Peças	1.779,08	7.116,32
				228.887,40

Fonte: Elaborado pelos autores.

Tabela 2. Custos antes x depois da melhoria

EQUIPAMENTO	CUSTOS	PERIODICIDADE DE MANUTENÇÃO
ENCAPADEIRA COM ROLOS	R\$228.887,40	Mensal
ENCAPADEIRA COM MESA DE CHAPA DE INOX	R\$95.850,04	Indeterminado

Fonte: Elaborado pelos autores

Figura 4. Gabarito utilizado para testar a instalação e fabricação de novos componentes.

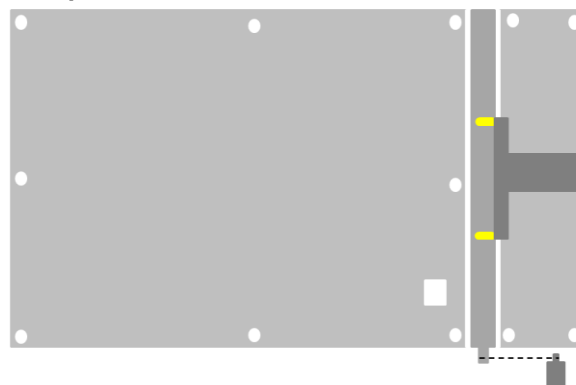


Fonte: Elaborado pelos autores (fotografia).

Após a análise e a necessidade de melhorar a máquina, pode-se atribuir como objetivos em geral, a redução de custo fixo da área, redução de tempo de paradas não programadas, diminuir a perda de produção e otimizar os tempos de manutenção. Dessa forma foram feitas pesquisas de quais peças deveriam ser modificadas ou trocadas por componentes melhores e mais duradores, onde buscamos sanar os problemas mais frequentes de quebras de rolos devido a distribuição de peso de forma errada e o mal dimensionamento dos parafusos de fixação, vendo que é um número alto de rolos, foi necessário a substituição por uma mesa em chapa inox para evitar o

contato direto com os rolos. Sendo preciso adaptar algumas partes estruturais do equipamento para a retirada das peças de baixa vida útil, também a instalação de um novo *layout* feito dentro de um gabarito de testes (Figura 4).

Figura 5. Modelo em desenho da mesa de chapa em inox.



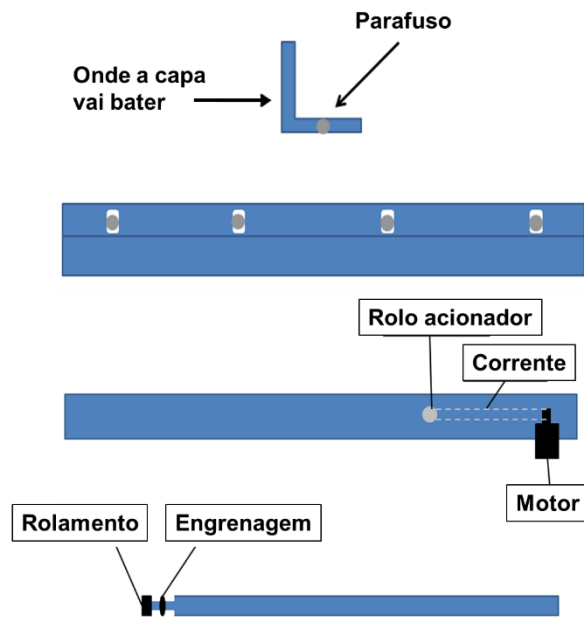
Fonte: Elaborado pelos autores.

Após os testes que foram feitos no gabarito, e como resultado foi feito a retirada de peças como os componentes para a instalação da chapa de aço inox em medidas 3/8mm afim de retirar os roletes que movimentavam o fardo em si, também foi preciso implementar eixos assim como o acionamento do motor para realizar o *nip* entre roletes de apoio com o eixo para deslocar a chapa para a

parte inferior, foi instalado duas placas de teflon com medidas de 1'x2000mm onde evita que enrosque na capa suas pontas longitudinais.

A Figura 5 mostra um modelo de chapa de inox com desenho do acionamento e local onde a capa do fardo escorrega, dessa forma o produto é embalado com mais agilidade e segurança.

Figura 6. Componentes modificados para a alteração de layout do equipamento.



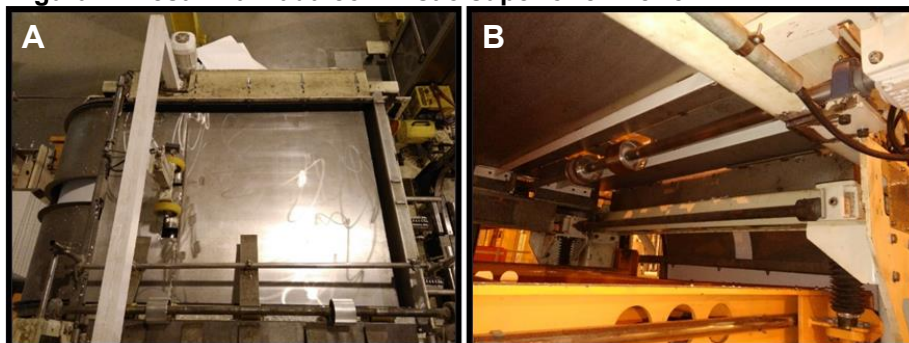
Fonte: Elaborado pelos autores.

Para as distribuições elétricas e

pneumáticas elaboradas para o desenvolvimento e ajuste correto do equipamento modificado, estudou-se a física do produto para o mesmo deslizar corretamente sem amassos na capa do fardo ou danificar quaisquer partes do equipamento (Figura 6), sistema que foi instalado para identificar os novos componentes, como um rolo acionador, motor de acionamento, mancais/rolamentos, engrenagem e o L de teflon com os parafusos de fixação que fará com que a capa não bata no fim de curso e trave com o passar do tempo.

Após todos os testes por cálculos, desenhos e resultados, então foi usado o gabarito de testes para prosseguir com as etapas do trabalho, que foi montar e adaptar a mesa onde a capa faz o deslizamento, consequentemente fazendo com que ela desça dentro dos guias da encapadeira e entre em contato com o fardo de celulose (Figura 7A), a mesma é observada pelo ângulo inferior que é possível identificar os eixos de acionamento acoplados sob toda a estrutura de apoio (Figura 7B), o qual faz o *gap* com duas roldanas superiores na figura 7A criando assim um *nip* de aproximação auxiliando no deslocamento por todo da capa.

Figura 7. Mesa finalizada com visão superior e inferior.



Fonte: Elaborado pelos autores (fotografia).

Pode-se identificar o sistema pneumático, com duas roldanas e um cilindro que auxiliam na tração da capa fazendo o deslocamento da mesma (Figura 8).

Finalizado os testes e apurado os resultados, o projeto está pronto para ser implementado no sistema de linha de produção, de princípio o trabalho teve uma grande redução de componentes de

baixa vida útil e a aplicação de outras peças no novo *layout* do equipamento (Figura 9).

Figura 8. Sistema pneumático finalizado.



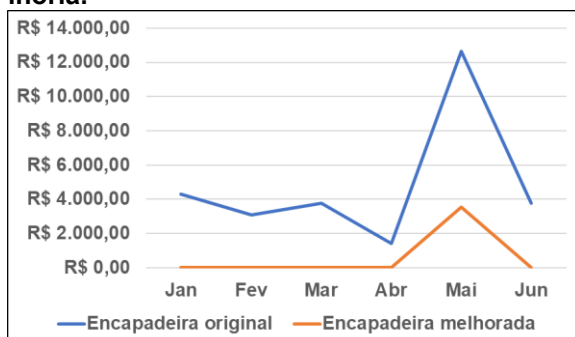
Fonte: Elaborado pelos autores (fotografia).

Figura 9. Visão externa geral da encapadeira.



Fonte: Elaborado pelos autores (fotografia).

Gráfico 1. Comparação antes x depois da melhoria.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Com os resultados positivos foi realizado um comparativo (Gráfico 1) do projeto pegando seu histórico e uma

estimativa com as modificações do trabalho no equipamento.

Verifica-se que há ampla diferença de custos, a encapadeira original (azul) apresentava vários problemas de falhas, quebras, travamentos e entre outros erros, com a *upgrade* do equipamento, nota-se de maneira estipulada que houve um enorme decaimento de gastos com componentes danificados, sendo visível e necessário algumas trocas trimestrais por exemplo ou a realização de inspeções. Contudo pode-se afirmar que as novas peças instaladas podem ter manutenções futuras, após a instalação deve-se acompanhar o desempenho do equipamento em todo e como por cada componente também, sendo gerado históricos pode-se definir a eficácia que trouxe o *upgrade*.

5 CONCLUSÕES

O trabalho realizado dentro de uma fábrica de celulose, na área de enfardamento voltado para o setor operacional mas também totalmente interligado à área de manutenção e voltado a gestão, sobre o equipamento encapadeira que consiste em encapar o fardo de celulose que chega já com baixo teor de umidade, o mesmo deve ser embalado corretamente afim de garantir a qualidade e a atingir a excelência operacional desejada da empresa. Com base nisso foi analisado vários aspectos nas peças que compõem o equipamento, onde também foram calculados os custos fixos, custos por paradas não programadas, custos em média e entre outros, concluindo que era necessário realizar e desenvolver alguma abordagem de modificação nesse.

Diante de tudo que foi abordado neste trabalho, se tornou perceptível que a melhoria bem aplicada tornou o equipamento muito viável economicamente e produtivamente, a necessidade de ter que ser realizada manutenções

corretivas ou preditivas por causa de componentes simples já traz motivações para ser estudado e feito uma melhoria. Como consequência, o equipamento ficou muito mais econômico trazendo resultados significantes tanto na parte de custos quanto na parte de excelência operacional, atualmente os valores de manutenção continuam os mesmos, portanto com muito menos frequências, o que pode acarretar em uma maior disponibilidade do equipamento em tempo de operação.

REFERÊNCIAS

BRANDÃO, L. S. Análise de falhas em amarradeiras de fardos de celulose. 2023. Disponível em: <<https://repositorio-api.animaeducacao.com.br/server/api/core/bitstreams/03721ce4-6f98-4aea-af3a-0f908a452b8b/content>>. Acesso em: 19 nov. 2023.

CANAL AGRO ESTADÃO. O que é celulose e para que serve. 2021. Disponível em: <<https://summitagro.estadao.com.br/noticias-do-campo/o-que-e-celulose-e-para-que-serve/#:~:text=A%20celulose%20est%C3%A1%20presente%20em,biocombust%C3%ADveis%20materiais%20de%20constru%C3%A7%C3%A3o%20etc>>. Acesso em: 24 out. 2023.

CROPLIFE BRASIL. O que é celulose? Da extração à produção de papel. 2020. Disponível em: <<https://croplifebrasil.org/noticias/da-celulose-ao-papel-como-funciona-essa-cadeia-produtiva/>>. Acesso em: 25 out. 2023.

EUCALYPTUS, ARACRUZ, Processo de fabricação de celulose. 2008. Disponível em: <https://www.eucalyptus.com.br/artigos/2008_Processo+Fabricar+Celulose.pdf>. Acesso em: 22 out. 2023.

JUNIOR, C. V. et al. Sistema de controle de linhas de enfardamento de celulose. 2019. Disponível em: <https://aprepro.org.br/combrep/2019/anais/arquivos/09302019_170937_5d92679135026.pdf>. Acesso em: 04 nov. 2023.

JUNIOR, M. A. Estratégia de manutenção com base em análise de confiabilidade dos equipamentos de uma linha de enfardamento de celulose. 2019. Disponível em: <https://riut.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/18607/2/CT_CEECVIT_II_2019_26.pdf>. Acesso em: 04 nov. 2023.

MENEZES, G. S. et al. O pilar manutenção planejada da manutenção produtiva total (TPM): Aplicação da manutenção centrada em confiabilidade (RCM). 2015. Disponível em: <<https://revistas.utfpr.edu.br/revistagi/article/view/3004>>. Acesso em: 19 nov. 2023.

PEREIRA, R. Veja como funciona o processo de produção de papel e celulose no Brasil. 2022. Disponível em: <<https://aiko.digital/papel-e-celulose-no-brasil/>>. Acesso em: 24 out. 2023.

PROJETO E PESQUISA EM ENGENHARIA QUÍMICA. Aprenda como funciona a produção de papel e celulose. 2021. Disponível em: <<https://propeq.com/papel-producao/>>. Acesso em: 24 out. 2023.

SOUZA, J. F. et al. Controle de produção linha de enfardamento. 2008. Disponível em: <https://www.inicepg.univap.br/cd/INIC_2008/anais/arquivos-INIC/INIC0388_01_A.pdf>. Acesso em: 04 nov. 2023.