

FACULDADES INTEGRADAS DE ARACRUZ - FAACZ
CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA MECÂNICA

ALESSANDRO BARROS GOMES JUNIOR
BRYAN TEIXEIRA ROCHA
CARLO HENRIQUE BARBOSA PEREIRA
JEFFERSON LOUREIRO DE LIMA

**VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICO COM A IMPLANTAÇÃO DE
REVESTIMENTO DE BORRACHA EM PRENSAS METÁLICAS COM SUPERFÍCIE
LISA EM MÁQUINAS DESAGUADORAS DE CELULOSE**

Aracruz
2020

ALESSANDRO BARROS GOMES JUNIOR
BRYAN TEIXEIRA ROCHA
CARLO HENRIQUE BARBOSA PEREIRA
JEFFERSON LOUREIRO DE LIMA

**VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICO COM A IMPLANTAÇÃO DE
REVESTIMENTO DE BORRACHA EM PRENSAS METÁLICAS COM SUPERFÍCIE
LISA EM MÁQUINAS DESAGUADORAS DE CELULOSE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a
Coordenadoria do Curso de Engenharia Mecânica
das Faculdades Integradas de Aracruz – FAACZ,
como requisito parcial para a obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Harerton Oliveira Dourado

Aracruz
2020

ALESSANDRO BARROS GOMES JUNIOR
BRYAN TEIXEIRA ROCHA
CARLOS HENRIQUE BARBOSA PEREIRA
JEFFERSON LOUREIRO DE LIMA

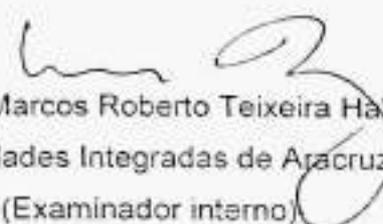
Trabalho de conclusão de curso apresentado à
coordenadoria do curso de das Faculdades Inte-
gradas de Aracruz, como requisito parcial para a
obtenção do título de Bacharel em .

Aprovado em 23 de janeiro de 2020

COMISSÃO EXAMINADORA



Prof. Dr. Hareton César Dourado
Faculdades Integradas de Aracruz
(Orientador)



Prof. Dr. Marcos Roberto Teixeira Halasz
Faculdades Integradas de Aracruz
(Examinador interno)

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Declaramos, para fins de pesquisa acadêmica, didática e técnico científica, que este Trabalho de Conclusão de Curso pode ser parcialmente utilizado, desde que se faça referência à fonte e aos autores.

Aracruz, 28 de janeiro de 2020.

Alessandro Barros Gomes Junior

Bryan Teixeira Rocha

Carlo Henrique Barbosa Pereira

Jefferson Loureiro de Lima

RESUMO

A produção de celulose apresenta significativamente relevância para o mercado brasileiro, nos mais variados segmentos industriais, tendo considerável participação no Produto Interno Bruto (PIB) do país. Assim para a efetivação desta produção são necessários processos e equipamentos específicos que são utilizados continuamente, como é o caso das máquinas desaguadoras que são objeto do presente estudo. O estudo foi elaborado centrando-se no questionamento de haver ou não ganho econômico na empresa produtora de celulose com a implantação de um revestimento específica prensas metálicas com superfície lisa em Máquina Desaguadora de Celulose (MDC). Desse modo objetivou-se identificar a influência que o aumento no tamanho da área de contato por entre dois rolos (NIP) tem sobre o teor seco da folha de celulose na etapa de prensagem. Vale mencionar que a metodologia aplicada para realização do presente estudo centrou-se em estudo bibliográfico para construção de referencial teórico. Ao produzir celulose a empresa busca realizar um trabalho de qualidade cada vez maior dentro das especificidades do cliente, o que sofre influência direta dos equipamentos utilizados gerando às empresas custos altos e uma busca constante por equipamentos que proporcionem ganho econômico. O estudo deixa claro que a implantação do revestimento de borracha em uma prensa jumbo lisa em MDC é uma possibilidade para se atrelar ao produto final uma melhor relação custo x benefício.

Palavras-chave: Prensa. Máquina Desaguadora de Celulose. Eficiência. Ganho econômico.

LISTA DE ILUSTRAÇÃO

Figura 1 - Secagem e acabamento	13
Figura 2 - Mesa desaguadora de celulose	14
Figura 3 - Seção de prensagem e rolos pré-secagem.	15
Figura 4 - Gráfico de custos operacionais de desaguamento	16
Figura 5 – Prensa plana.	19
Figura 6 – Esquema de remoção de água na prensa de sucção	20
Figura 7 – Prensa ranhurada.....	21
Figura 8 - Prensa com furação cega	21
Figura 9 - Perfil de pressão na prensa de sapata.....	23
Figura 10 - Detalhe interno das zonas de vácuo do rolo de sucção nos NIP`s.	24
Figura 11 - Detalhe interno das zonas de vácuo do rolo de sucção <i>Pick-up</i> nos NIP`s.	25
Figura 12 – Corte transversal de um rolo de sucção e pressão	26
Figura 13 - Monofilamento singelo	31
Figura 14 - Monofilamento retorcido.....	31
Figura 15 - Fio fiado	31
Figura 16 – Corte de uma seção do feltro	32
Figura 17 - Etapas da prensagem	33
Figura 18 – Durômetro de bolso.....	39
Figura 19 – Durômetro Pusey & Jones	39
Figura 20 - Pressão específica de prensagem (kg/cm^3) x Largura do NIP (mm).....	40
Figura 21 – Desenho esquemático da MDC 1.....	45

LISTA DE TABELA

Tabela 1 –Dureza sensitiva e Shore A	37
Tabela 2 – Dados Técnicos da máquina desaguadora 1	45
Tabela 3 - Dados de estudos prévios realizadas por fornecedores de revestimentos.	46
Tabela 4 – Levantamento de resultados para levantamento do teor seco	47
Tabela 5 – Estudo de Instalação(Atual).	49
Tabela 6 - Dados propostos.	49
Tabela 7 – Dados de ganho energético e receita de venda.....	50

LISTA DE ABREVIATURAS

C – Pressão constante

cm³/m² - Centímetro cúbico por metro quadrado

° C – Celsius

Etc. – Etecetera

E₀ – Módulo de *Young*

F – Força de penetração

g/m² - gramas por metro quadrado

HE – Espessura da folha na entrada do NIP

HM – Ponto máximo de teor seco da folha

HS – Espessura da folha na saída do NIP

HT – Ponto máximo de saturação da folha

Kg/cm³ - Quilograma por centímetro cúbico

Kg/h – Quilograma por hora

KN/m – Quilo Newton por metro

KPa/s – Quilo Pascal por segundo

M* - Quantidade de água devolvida à folha pelo umedecimento

mm – Milímetro

Mmáx. – Quantidade máxima de água removida no centro do NIP

m/min. – Metros por minuto

Mpa – Mega Pascal

ms – milésimos de segundos

MW – Megawatts

N – Newton

Obs. - Observação

P – Profundidade de penetração

P. – Página

pH – Potencial Hidrogeniônico

Prof. – Professor

P&J – *Pusey & Jones*

R – Raio de penetração esférico

R.A. – Remoção de Água

R\$ - Reais

Ton. - Tonelada

Ton/h – Tonelada por hora

tsa/dia – Tonelada seca ao ar por dia

U\$ - Dólar

LISTA DE SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASTM – *American Society for a Testing and Materials*
AU – Poliuretano tipo poliéster
C – Centro de Folha
CR – Polímero Cloropreno
EPDM – Polímero Etileno Propileno Diene
EPM – Borracha de Etileno Propileno
ES – Espírito Santo
FAACZ – Faculdades Integradas de Aracruz
GDP - *Gross Domestic Product*
GIDB - Graus Internacional de Dureza da Borracha
IRHD – *International Rubber Hardness Degrees*
ISO – *International Organization for Standardization*
LA – Lado de acionamento
LC – Lado de comando
MDC – Máquina Desaguadora de Celulose
MEK – Metil Etil Cetona
NBR – Copolímero Butadieno Copolímero
NIP – Zona de contato entre dois rolos
NR – Polímero Isopreno
PG – Parada Geral
PIB – Produto Interno Bruto
PU – Poliuretano
SBR – Estireno Butadieno Copolímero

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	OBJETIVOS	12
1.1.1	Objetivo geral.....	12
1.1.2	Objetivo específico.....	12
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	13
2.1	PROCESSO DE PRENSAGEM	15
2.1.1	Evolução dos conceitos de prensagem	16
2.2	EVOLUÇÃO DA SEÇÃO DE PRENSAS	17
2.3	TIPOS DE PRENSAS.....	18
2.3.1	Prensa Plana.....	19
2.3.2	Prensa de Sucção.....	19
2.3.3	Prensas ventiladas com ranhuras e com furação cega	20
2.3.4	Prensa com NIP estendido (sapata de pressão).....	22
2.4	TIPOS DE ARRANJOS DE PRENSAS	23
2.5	TIPOS DE ROLOS DA SECÇÃO DE PRENSAS	23
2.5.1	Rolos de sucção.....	24
2.5.2	Rolo de sucção pick-up (Pegador).....	24
2.5.3	Rolo central.....	25
2.5.4	Rolo de sucção e pressão	26
2.6	TEORIA DA PRENSAGEM	26
2.6.1	Tipos de NIP de prensagem.....	27
2.6.1.1	No que se refere à folha	27
2.6.1.2	Relacionados à prensa	28
2.6.2	Feltros.....	29
2.6.2.1	A evolução dos feltros	29
2.6.2.2	Funções de um feltro em uma máquina desaguadora de celulose	30
2.6.2.3	Principais características de um feltro	32
2.6.3	Funcionamento de um NIP de prensagem	32
2.7	REVESTIMENTOS DOS ROLOS.....	34
2.7.1	Classificação dos tipos de revestimentos	35
2.7.1.1	Elastomérico (elastômero).....	35

2.7.1.2	Natural (NR)	35
2.7.1.3	Neopreme (CR)	36
2.7.1.4	Estireno-Butadieno (SBR)	36
2.7.1.5	Poliuretano (AU)	36
2.7.1.6	Nordel(EPDM)	36
2.7.1.7	Elastômero aditivado	36
2.7.1.8	Granito.....	37
2.7.1.9	Compósito	37
2.8	DUREZA DA BORRACHA.....	37
2.8.1	Aparelho para medição de dureza em borracha e elastômero.....	38
2.9.	DIMENSIONAMENTO DO REVESTIMENTO A SER UTILIZADO	41
2.9.1	Prensagem	41
2.9.2	Revestimento Borracha x PU (Poliuretano)	42
2.9.3	Custo Benefício	43
2.9.4	Dados Gerais	43
2.9.5	Outras Informações.....	44
2.9.6	DADOS TÉCNICOS	44
4	METODOLOGIA	46
4.1	DESENVOLVIMENTO DO PROJETO	46
4.3	CONSIDERAÇÕES	47
4.3	RESULTADOS PROPOSTOS.....	48
4.4	ANÁLISE ECONÔMICA	48
3.7	CUSTO DO PROJETO.....	50
5	CONCLUSÃO	51
6	SUJESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	52
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	53

1 INTRODUÇÃO

O Brasil tem se destacado como o maior produtor mundial de celulose de fibra curta para mercado e como maior produtor de papéis da América do Sul, em especial nos segmentos de papel para embalagem e de fins sanitários, é a 9.^a maior do mundo no ranking de fabricantes mundiais, enquanto a de celulose do País ocupa a 2.^a posição em volume de produção com mais de 18 milhões de toneladas de celulose produzidas (CAPO, 2017/18).

Na fabricação de papel utiliza-se principalmente como matéria prima a celulose, sendo esta produzida por indústria química de processo contínuo que transforma fibra de madeira em celulose (D'ALMEIDA, 1988).

A área de linhas de fibras é responsável pela transformação da madeira em celulose utilizando uma linha de produção contínua que começa na área de produção de cavaco onde as toras de eucaliptos são transformadas em cavaco e transportadas por uma correia transportadora até a área de linha de pasta, onde a madeira em forma de cavaco passa por um processo de cozimento, lavagem, depuração e branqueamento (D'ALMEIDA, 1988).

A pasta de celulose resultante destas etapas do processo é então bombeada até o setor de secagem e acabamento, onde é transformada em uma folha sendo esta cortada, empilhada, embalada e expedida na forma de fardos (ANTRITZ, 2001).

A secagem da pasta de celulose se divide na máquina desaguadora e no secador (POYRY, 1997). O secador sendo uma etapa da secagem térmica excede imensamente o estágio de desaguamento em termos de consumo de energia, devido ao alto custo de secar a folha de celulose utilizando o vapor como fonte de energia (VOITH ENGINEERED REABILITY, 2006).

Assim, o teor seco na entrada do secador afeta diretamente o custo de produção, pois quanto maior o teor seco menos vapor utiliza-se no secador. Sendo o teor seco diretamente influenciado pelo tamanho da área de contato entre dois rolos, NIP de prensagem nas seções de prensas, isto é quanto maior o NIP de prensagem maior vai ser a retirada de água e isto resulta em um aumento no teor seco da polpa de celulose.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Viabilidade técnica e econômica com a implantação de revestimento de borracha em prensas metálicas com superfície lisa em máquinas desaguadoras de celulose.

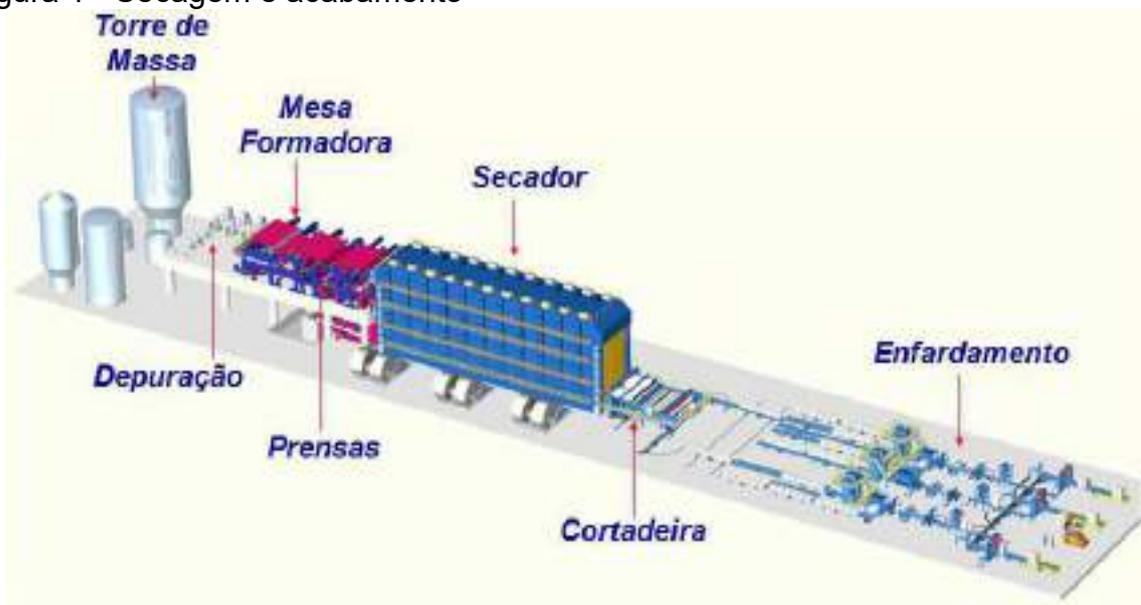
1.1.2 Objetivo específico

- ✓ Efetuar uma pesquisa de revisão bibliográfica sobre os principais tipos de prensas e revestimentos utilizados na indústria de celulose, com foco na eficiência do desaguamento e sua relação com o tamanho do NIP;
- ✓ Apresentar as vantagens da utilização da prensa jumbo revestida em relação a prensa lisa.
- ✓ Apresentar o investimento para instalação da prensa jumbo revestido, analisando e comparando os ganhos mensuráveis com a redução de consumo de vapor.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Em uma fábrica de celulose o processo de secagem de pasta de celulose é a penúltima parte do processo, e se divide em quatro etapas: máquina desaguadora (depuração, mesa formadora e prensas), secador, cortadeira/lay-boy e enfardamento, conforme ilustrado na Figura 1 (VOTORANTIN CELULOSE E PAPEL, 2014).

Figura 1 - Secagem e acabamento

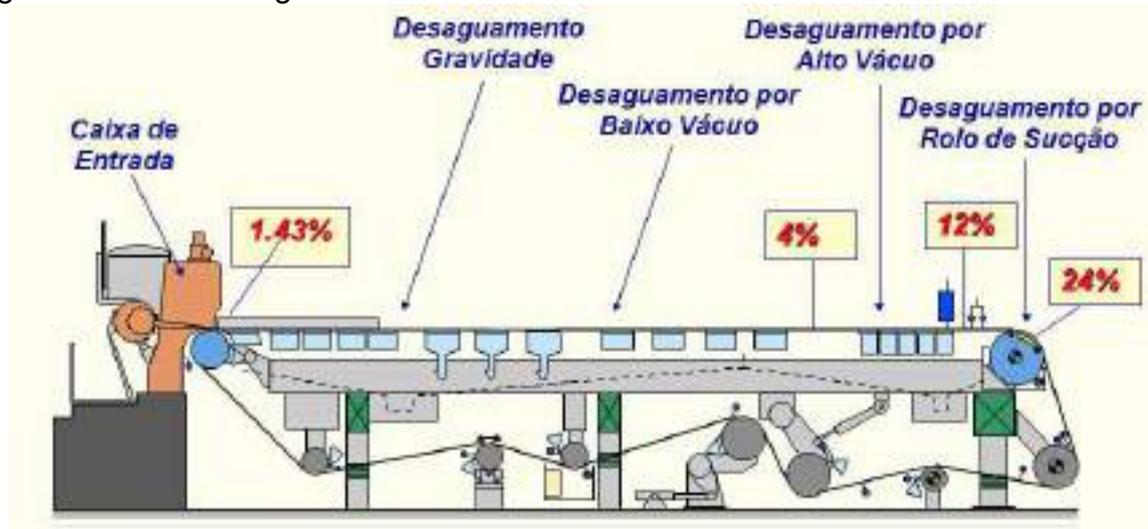


Fonte: MAPEL *apud* BOSSATO, MODENESI, VIEIRA (2015, p. 14)

A massa branqueada chega à depuração da secagem com uma consistência de 3%, sendo depurada para retirar impurezas solidas (POYRY, 1997). Após a depuração a massa é bombeada para a primeira etapa do processo de secagem, que é a Máquina Desaguadora de Celulose (MDC), a massa passa por uma caixa de entrada com uma consistência de 1,43%, que espalha a massa sobre uma tela formadora instalada na MDC (FIBRIA CELULOSE S.A., 2009). A retirada de água da massa nesta etapa ocorre em duas etapas de desaguamento: baixo vácuo e alto vácuo (POYRY, 1997). A seção de baixo vácuo possui nove caixas instaladas sob a tela desaguadora atingindo uma consistência de 4%. A seção de alto vácuo possui sete caixas de vácuo e uma caixa de vácuo porque auxilia na drenabilidade da massa atingindo uma consistência de 12% (FIBRIA CELULOSE S.A., 2009). O desaguamento final da folha na seção de formação é efetuado pelo rolo

lumbreaker, que é prensado sobre um rolo metálico perfurado, chamado de rolo *couch* assim atingindo uma consistência de 24% (POYRY, 1997). A descrição do processo é mostrada na Figura 2.

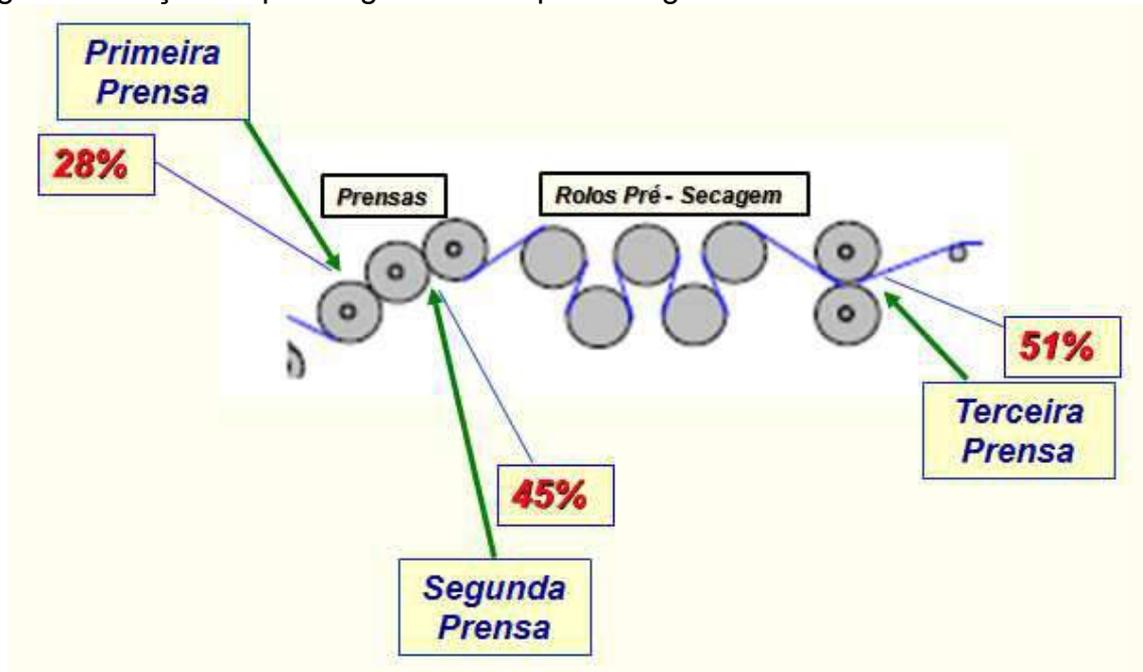
Figura 2 - Mesa desaguadora de celulose



Fonte: MAPEL *apud* BOSSATO, MODENESI, VIEIRA (2015, p. 15)

A folha úmida com 24% de consistência é transportada para seção de prensagem constituída de primeira, segunda e terceira prensa (ANTRITZ, 2001). Na primeira prensa temos dois rolos, um rolo metálico perfurado chamado *pick-up* e um rolo metálico furado revestido de borracha chamado de rolo central, que fazem a prensagem da folha elevando a consistência até 28%, na segunda prensa temos o rolo central inferior e um rolo liso metálico superior, a folha passa por essa prensa elevando a consistência para 45 (VOTORANTIN CELULOSE E PAPEL, 2014). Após a etapa da primeira e segunda prensa a folha passa por um processo de aquecimento chamado de pré-secagem, constituído de cinco cilindros metálicos aquecidos por vapor (POYRY, 1997). Na etapa seguinte a folha é transportada para terceira e última prensa formada por dois rolos metálicos lisos onde a consistência é elevada até 51%. Conforme mostrado na Figura 3. (POYRY, 1997)

Figura 3 - Seção de prensagem e rolos pré-secagem.



Fonte: PORYR *apud* BOSSATO, MODENESI, VIEIRA (2015, p. 16)

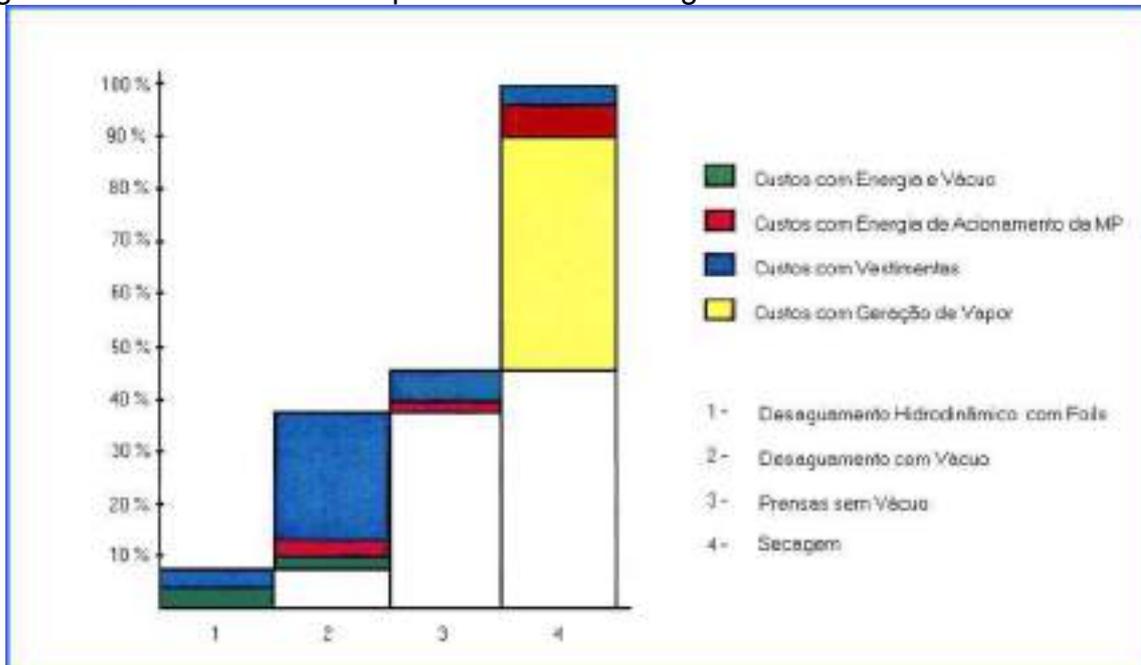
Após a última secção de prensas a folha entra no secador onde o restante da água é retirada por evaporação, chegando à folha a uma secura de 90%, sendo a umidade restante ligada higroscopicamente às fibras (ANTRITZ, 2001).

2.1 PROCESSO DE PRENSAGEM

O processo de prensagem tem como objetivo remover a quantidade máxima possível de água da folha, atingindo uma consistência de 51% antes de submetê-la à secagem por calor. Outras funções são a redução do volume específico e a melhora da lisura da folha (POYRY, 1997; FIBRIA CELULOSE S.A., 2009). Em uma MDC o custo de retirada da água é bem significativo para o processo de fabricação de celulose. O custo de remoção de água em uma MDC, desde a caixa de entrada até a saída do secador é de U\$ 25 por tonelada, onde a primeira e segunda etapa do processo de drenagem através da gravidade e vácuo aplicado pelas caixas e rolos de sucção, tem um custo de U\$ 1,4 por tonelada. A etapa de prensagem, que é formada por um conjunto de três prensas, tem um custo de U\$ 1,9 por tonelada, e a última etapa formada pela secadora a vapor tem um custo de U\$ 22 por tonelada. A Figura 4 ilustra os custos de produção do processo de secagem em uma fábrica de

celulose (FALSARELLA, ADANUR *apud* BOSSATO, MODENESI, VIEIRA, 2015; VOITH ENGINEERED REABILITY, 2006).

Figura 4 - Gráfico de custos operacionais de desaguamento



Fonte: VOITH ENGINEERED REABILITY (2006)

O custo de retirada de água por prensagem é cerca de 20 vezes menor que o da secagem por vapor, possibilitando uma grande economia nos custos de secagem e em uma maior produtividade (D'ALMEIDA, 1989). Segundo D' ALMEIDA (1989), analisando estes dados, conclui-se que o processo de secagem por vapor através do secador é o mais caro. O aumento do teor seco antes desta etapa gera uma grande economia de vapor ou aumento de produção na indústria de celulose. E em segundo plano, aumentando o teor seco, aumenta também a vida útil das vestimentas utilizadas na seção de prensagem, reduzindo o custo operacional.

2.1.1 Evolução dos conceitos de prensagem

Sedoff *apud* Bossato, Modenesi e Vieira (2015), realizou estudos sobre a capacidade de retenção de água e a compressibilidade da celulose úmida de diferentes origens e diferentes graus de moagem, e a dependência da duração da aplicação da carga. Campbell *apud* Bossato, Modenesi e Vieira (2015), desenvolveu o modelo aproximado para o aumento no teor seco obtido sob pressão definida em

um dado tempo. Com esse modelo, descobriu-se que o aumento do teor seco era proporcional a pressão e a duração da aplicação de pressão, e inversamente proporcional ao quadrado da gramatura, ao quadrado da área de superfície específica da celulose e a viscosidade da água da temperatura predominante. Estudos realizados sobre o desaguamento no NIP, onde se atribuía a extrusão de água na parte de entrada no NIP inteiramente a compressão do feltro. A expansão do papel saturado e do feltro após o meio do NIP de prensagem provocava uma separação da água entre a folha e o feltro. A transferência de água da folha ao feltro ocorreu assim no lado de saída da fenda e foi inteiramente causada pela sucção criada pelo feltro em expansão e pela tensão superficial (NISSAN *apud* BOSSATO, MODENESI, VIEIRA, 2015). Bergstron *apud* Bossato, Modenesi e Vieira, (2015) realizou testes em laboratório, utilizando um simulador de prensa para rápida aplicação e remoção de carga. Seus resultados indicaram que durante a compressão, a água é transferida da folha para o feltro e do feltro para o sistema através da permeabilidade do feltro. No ciclo de recuperação, parte da água é reabsorvida pelo papel, principalmente pela sucção de capilaridade ou pela sucção de expansão. A força de compressão na entrada no NIP está equilibrada em cada ponto do NIP, este equilíbrio de forças se dá pela soma da tensão mecânica e a pressão criada pela resistência a vazão da água na rede de fibras. A tensão mecânica predomina enquanto a folha e o feltro não estiverem saturados. Quando a folha se torna saturada, a pressão hidráulica começa a subir e a água flui para o feltro. Na saída do NIP ocorre um fluxo inverso, o feltro reabsorve parte da água que foi expelida e que se alojava temporariamente em canais / furos auxiliares (próprios da geometria do NIP) e o papel por sua vez reabsorve água do feltro. Isto é causado principalmente pelas forças de capilaridade (WAHLSTROM, 1960).

2.2 EVOLUÇÃO DA SEÇÃO DE PRENSAS

A principal função das seções de prensagem em uma MDC é a remoção da máxima quantidade de água da folha de celulose antes que a folha entre na seção de secagem por vapor; também tem o objetivo de deixar a folha mais lisa, eliminando as marcas provenientes da tela de formação, e influenciando na densidade e resistência da folha de celulose (ZIMMEMIANN *apud* BOSSATO, MODENESI, VIEIRA, 2015). O sistema de prensagem em uma MDC era originalmente formado

por dois rolos sólidos e lisos que se baseavam na compressão mecânica da folha de celulose para escoar água a partir do NIP (linha de menor distância entre os dois rolos), com a água proveniente do NIP saindo pelo rolo inferior. Este sistema funcionava muito bem em máquinas de baixa velocidade. Entretanto, com a implantação de máquinas mais rápidas, o sistema deixou de ser eficiente, com isso havendo a necessidade de remoção de água em maior quantidade e em menor tempo. A solução desenvolvida utilizaria rolos de sucção que se compostos de uma camisa perfurada normalmente em bronze e recoberta por revestimento macio, internamente à camisa havia uma caixa de vácuo fixa e selada contra a camisa giratória instalada na parte inferior da prensa, ao invés de um rolo liso (PHILIPP, D'ALMEIDA, *apud* BOSSATO, MODENESI, VIEIRA, 2015). A remoção de água é feita pela combinação de compressão mecânica e sucção, aplicada através de poros localizados na estrutura do rolo inferior, onde a água é retirada por compressão, passa pela tela de formação e é aspirada pelos orifícios do rolo de sucção (ZIMMEMIANN, *apud* BOSSATO, MODENESI, VIEIRA, 2015). A prensagem úmida ainda passou por processos de modernização devido à necessidade de maior eficiência de funcionamento na seção de prensas, fatores econômicos e aumento da capacidade de produção das MDC's (FALSARELLA, 2008). Todo este processo evolutivo levou à uma expansão da zona de prensagem, com obtenção de uma larga superfície de contato, dando origem a prensa de sapatas ou prensa de NIP estendido, na qual o NIP chega a uma largura de 250 a 290 mm, bem maior que o NIP de 13 mm das prensas de rolos lisos ou o de 65 mm dos rolos de sucção (PHILIPP, D'ALMEIDA, *apud* BOSSATO, MODENESI, VIEIRA, 2015).

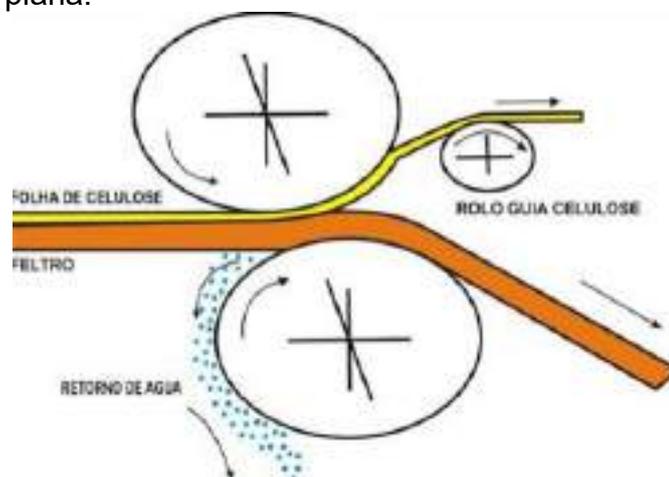
2.3 TIPOS DE PRENSAS

Os itens a seguir abordarão os vários tipos de prensas ou modalidades de NIP's de prensagem. A combinação das várias modalidades de NIP é que torna possível o arranjo ou layout geral de uma seção de prensas úmidas numa máquina de celulose e papel (VOITH ENGINEERED REABILITY, 2006).

2.3.1 Prensa Plana

Neste tipo de prensa, o papel e o feltro passam através do NIP formado por dois rolos lisos, tendo o rolo superior um revestimento duro e o rolo inferior um revestimento macio. A água expelida do NIP escorre pelo rolo inferior na direção oposta da folha sendo recolhida em uma calha. Para não incrementar ou minimizar o teor de umidade do feltro antes da entrada do NIP, o que provocaria o aumento do teor de umidade da folha, coloca-se o rolo superior em posição anterior em relação ao inferior, tocando o papel e o feltro primeiramente o rolo superior. Após sair do NIP de prensagem, a folha deve separar-se imediatamente do feltro para evitar a reabsorção de água. Com velocidades mais elevadas, a água expelida na prensa será forçada contra o NIP, causando o esmagamento da folha e novo umedecimento do feltro. Este foi o fator limitante na utilização da prensa plana e que originou o desenvolvimento da prensa de sucção. A Figura 5 mostra uma configuração característica de prensa lisa (CAINELLI, FALSARELLA, *apud* BOSSATO, MODENESI, VIEIRA, 2015).

Figura 5 – Prensa plana.



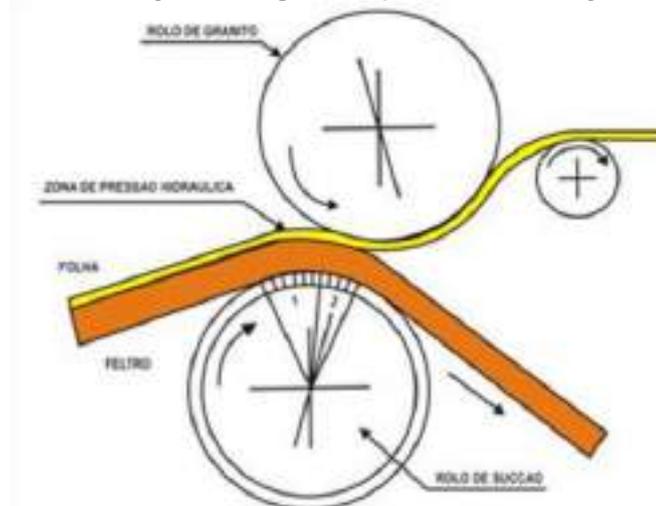
Fonte: VOITH ENGINEERED REABILITY (2006)

2.3.2 Prensa de Sucção

O rolo de sucção compõe-se de uma camisa perfurada, normalmente em bronze e recoberta por revestimento macio. Internamente à camisa está instalada uma caixa de vácuo fixa e selada contra a camisa giratória. Portanto, a caixa é estática em

relação ao NIP e o movimento circular da camisa oferece constantemente uma área aberta por onde a água escapa do NIP ajudada pelo vácuo, diminuindo a pressão hidráulica resistente no NIP da prensa. A Figura 6 mostra uma configuração característica de prensa plana. (ZIMMEMIANN, *apud* BOSSATO, MODENESI, VIEIRA, 2015).

Figura 6 – Esquema de remoção de água na prensa de sucção



Fonte: VOITH ENGINEERED REABILITY (2006)

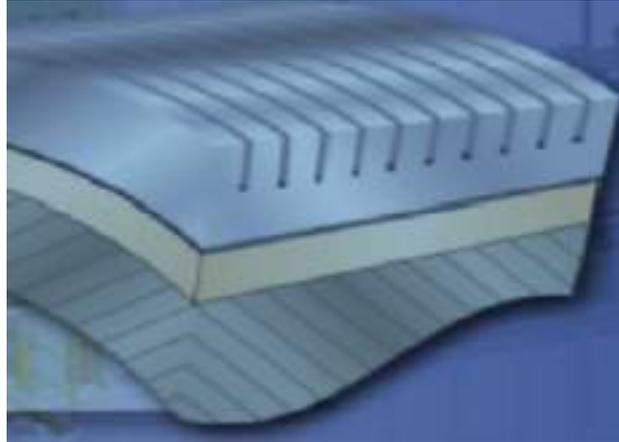
2.3.3 Prensas ventiladas com ranhuras e com furação cega

Ranildo *apud* Soares (2012) citou que tais prensas Consistem em dois rolos, sendo o rolo superior liso e revestido de borracha dura e o inferior ranhurado ou com furação cega, conforme o tipo de prensa. Exceção é para o primeiro NIP de prensagem de máquinas equipadas com prensa múltipla (*Duo-Zentri*). Neste caso o rolo ranhurado ou com furação cega é o rolo inferior e pressiona o rolo de sucção, num arranjo com dupla feltragem. A água eliminada no NIP de prensagem é forçado a entrar nas ranhuras ou furação cega e após sair do NIP é expelida pela força centrífuga, depois removida por um raspador de água instalado no rolo.

O *layout* destas prensas exige também um posicionamento dos rolos, como na prensa plana, o rolo superior deve ficar antes do rolo inferior ranhurado ou com furação cega, para garantir o contato da folha e do feltro, primeiro com o rolo superior a fim de não saturar a folha / feltro e a formação de bolhas de ar antes de entrarem no NIP de prensagem.

As ranhuras, conforme Figura 7, são usinadas no revestimento de borracha de forma espiralada e tem, em média, largura de 0,5mm, profundidade de 2,5mm e espaçadas entre si em 3mm.

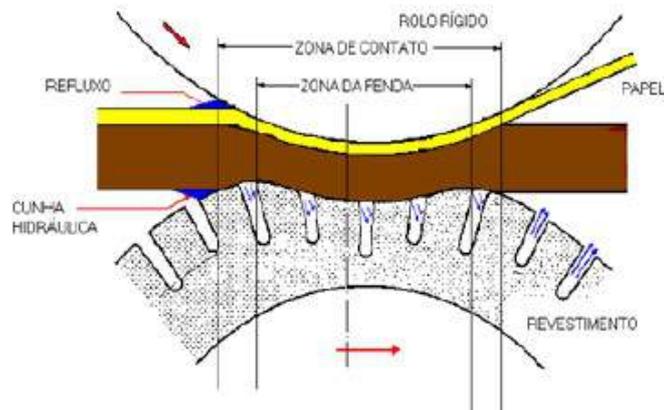
Figura 7 – Prensa ranhurada



Fonte: CAINELLI, FALSARELLA (1994, p. 18)

A maioria das prensas usa rolos revestidos de borracha com dureza de 5 P&J. Esta é a dureza de elastômero máxima que permite tornar operacional o rolo ranhurado as pressões lineares exigidas ao longo do NIP. A espessura do revestimento é da ordem de 20 mm, e a vida útil é de cerca de 10 mm. Após isso tem que ser trocado. As prensas com furos cegos (Figura 8) possuem basicamente, o mesmo emprego nas máquinas, e a operação das prensas tanto com furos cegos ou como ranhuras são muito similares. Os furos têm o objetivo de reduzir a pressão hidráulica no NIP das prensas, contribuindo desta forma com o aumento da velocidade de operação das máquinas de celulose.

Figura 8 - Prensa com furação cega



Fonte: CAINELLI, FALSARELLA (1994, p. 22).

Os furos são usinados uma única vez no revestimento e representam uma área aberta de 21%. Este é o limite prático para obterem-se os resultados desejados sem levar ao colapso o revestimento, o qual está submetido à carga de compressão resultante da pressão linear do NIP.

O diâmetro dos furos varia de 2 a 2,5mm e a profundidade varia entre 9 e 11mm. Esta diferença é para garantir que haja uma distribuição homogênea da pressão ao longo da base do revestimento. A espessura do revestimento é da ordem de 20mm e a vida é de cerca de 45% deste valor. A dureza do revestimento é de 0 a 1 P&J.

Em aplicações quando deseja um NIP macio (caso de gramaturas maiores), da ordem de 15 P&J, o revestimento é mais exigido devido às pressões lineares no NIP.

O diâmetro do rolo influencia na vida do revestimento, bem como a velocidade de trabalho e ambos se traduzem na frequência de passagem do revestimento pelo NIP e que pode levar a fadiga e colapso do mesmo.

2.3.4 Prensa com NIP estendido (sapata de pressão)

Devido à resistência à drenagem ou devido à pressão hidráulica admissível do papel de baixa drenabilidade, só podem alcançar altas taxas de desaguamento nas prensas úmidas se os tempos de desaguamento forem longos, com ocorrência simultânea de uma alta pressão de prensagem e curto percurso de desaguamento. Um maior alargamento da zona de prensagem é obtido com a prensa de sapata (HONKALAMPI, 2007). Dois elementos rotativos são comprimidos um contra o outro; um dos elementos pode ser deformado elasticamente, para formação de uma larga superfície de contato. Uma camisa de prensagem, elástica, gira em torno de uma travessa fixa. Uma sapata de pressão, pressionada hidráulicamente e guiada na travessa, transmite a desejada força de prensagem à camisa, em toda a largura da máquina. É possível empregar assim pressões lineares de até 1400 KN/m, com uma largura da zona de prensagem de 250 a 290mm. A Figura 9 mostra o comportamento do NIP em uma prensa de sapata (VOITH ENGINEERED REABILITY, 2006)

Figura 9 - Perfil de pressão na prensa de sapata



Fonte: ANDRITZ (2001).

2.4 TIPOS DE ARRANJOS DE PRENSAS

A escolha do arranjo de prensas em uma máquina desaguadora de celulose é função dos seguintes itens:

- ✓ Produção/velocidade da máquina.
- ✓ Tipo de papel a ser produzido.
- ✓ Instalação nova ou reforma.

Estes arranjos de prensas podem ter dois, três ou quatro rolos, combinados em sequências ou não entre si, mas cuja principal função é a remoção máxima de água.

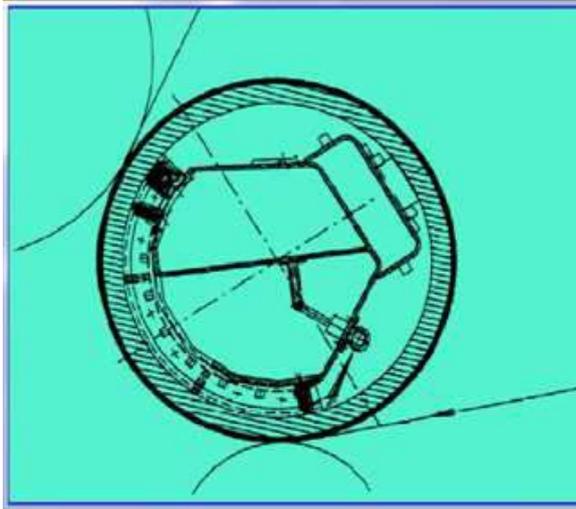
2.5 TIPOS DE ROLOS DA SECÇÃO DE PRENSAS

Os sistemas de prensagem são constituídos de vários tipos de rolos com características diferentes uns dos outros, dentre estas características vamos abordar os tipos de rolos e suas particularidades. As características dos rolos influenciam diretamente na remoção de água que aumenta com a dureza do revestimento e diminui com o aumento do diâmetro do rolo. O diâmetro do rolo bem como sua dureza e espessura da borracha (no caso de rolos revestidos) é determinada pelo tipo de papel (D'ALMEIDA, 1989).

2.5.1 Rolos de sucção

São compostos de uma camisa (corpo) perfurada e uma caixa interna fixa dividida em zonas onde é aplicado vácuo de acordo com a posição de aplicação do rolo. A camisa do rolo é feita em bronze centrifugado ou em aço inoxidável e revestida posteriormente. Para máquinas largas, devido o rolo de sucção trabalhar sob vários esforços solicitantes resultantes da força de vácuo, pressões lineares ao longo dos primeiros e segundo NIP`s e o peso próprio da camisa, esta é fabricada em aço inoxidável centrifugada e também revestida (CAINELLI, FALSARELLA *apud* BOSSATO, MODENESI, VIEIRA, 2015). A furação da camisa/revestimento não pode ter uma área aberta muito grande, porque diminui a resistência a fadiga por flexão do rolo. Normalmente revestida com espessura de 20 mm, com dureza de 15 +/- 3,0 P&J, com a área aberta da camisa de 20% (furo diâmetro de 4 mm) e área aberta do revestimento de 16% - furo diâmetro de 3,5 mm (VOITH ENGINEERED REABILITY, 2006). A Figura 10 mostra detalhe interno das zonas de vácuo do rolo de sucção nos NIP`s.

Figura 10 - Detalhe interno das zonas de vácuo do rolo de sucção nos NIP`s.



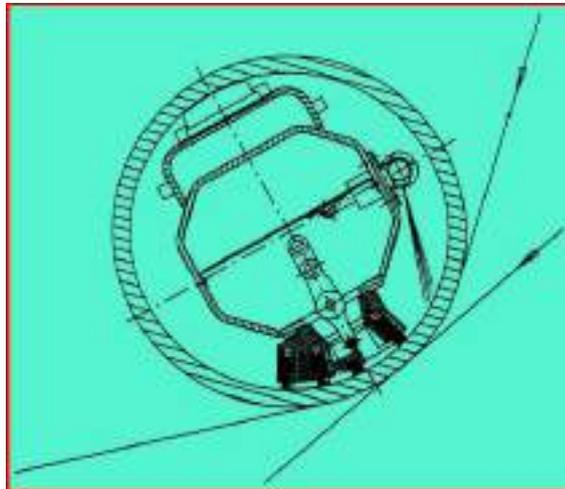
Fonte: VOITH ENGINEERED REABILITY (2006).

2.5.2 Rolo de sucção pick-up (Pegador)

Rolo de sucção utilizado para retirar e transferir a folha da parte da tela para a seção de prensagem. A camisa do rolo é feita normalmente em bronze centrifugado e revestida posteriormente, entretanto, para máquinas muito largas, esta é fabricada

em aço inoxidável centrifugado e também revestida (CAINELLI, FALSARELLA *apud* BOSSATO, MODENESI, VIEIRA, 2015). A furação da camisa / revestimento não pode ter uma área aberta muito grande, porque diminui a resistência a fadiga por flexão do rolo. Normalmente revestida com espessura de 20mm, com dureza de 25 +/- 4,0 P&J, com a área aberta da camisa de 20% (furo diâmetro de 4mm) e área aberta do revestimento de 16% - furo diâmetro de 3,5mm (VOITH ENGINEERED REABILITY, 2006). A Figura 11 mostra detalhe interno das zonas de vácuo do rolo de sucção nos NIP`s.

Figura 11 - Detalhe interno das zonas de vácuo do rolo de sucção *Pick-up* nos NIP`s.



Fonte: VOITH ENGINEERED REABILITY (2006).

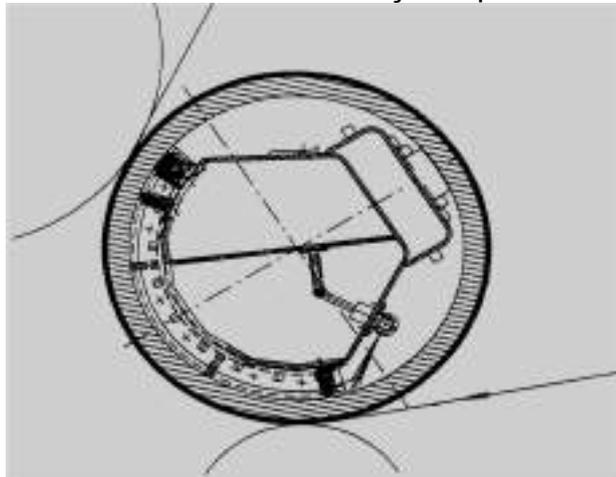
2.5.3 Rolo central

Conhecido também como rolo de granito, pois é frequente a utilização de rolo de granito em máquinas que fabricam papéis que precisam de uma superfície com ótima lisura. O rolo principal é responsável pela lisura do papel e pela passagem fechada do papel entre o segundo e terceiro NIP`s de prensagem, pois a folha encosta diretamente na sua superfície. Devido ao fato de ser um rolo liso e com dureza de ordem de 0 – 1 P&J, a folha de papel adere a sua superfície e só pode ser removida por um raspador de, caso haja rompimento da folha (POYRY, 1997).

2.5.4 Rolo de sucção e pressão

Rolo de sucção utilizado para remoção da água nos NIP's de pressão. O rolo possui mais características variáveis em relação aos demais, pois o mesmo pode ter ranhuras (Venta-NIP) ou com furação cega (*dry-press*); também pode ser com abaulamento fixo (rolo de pressão normal) ou com abaulamento variável (rolo perfil). O emprego do abaulamento fixo é mais comum em máquinas estreitas e o custo é muito inferior ao abaulamento variável. Este, por sua vez, permite efetuar correções no abaulamento da camisa corrigindo distorções do NIP que possam afetar o desaguamento e conseqüentemente o corpo do papel (CAINELLI, FALSARELLA *apud* BOSSATO, MODENESI, VIEIRA, 2015). Este tipo de rolo é normalmente revestido com espessura de 20mm, com dureza de 0–1,0 P&J para furação cega e 5,0 P&J para rolos com ranhuras, possui área aberta de 21% para a furação cega, com furos de 2,2 a 2,5mm para papéis de escrever e imprimir ou 3,2 a 3,5mm para prensas de celulose, a profundidade dos furos é de 9 e 11mm (VOITH ENGINEERED REABILITY, 2006).

Figura 12 – Corte transversal de um rolo de sucção e pressão



Fonte: VOITH ENGINEERED REABILITY (2006).

2.6 TEORIA DA PRENSAGEM

As diversas teorias para explicar o processo de prensagem foram baseadas em dados experimentais de máquinas pilotos (JUSTO, ZIMMERMANN, 2006). Entende-se a prensagem da água na folha como um processo mecânico contínuo de redução

de volume. Envolve a compressão da folha para comprimir a água tanto do interior das fibras como a água localizada entre as fibras. Quanto mais cumprida a folha, maior a quantidade de água será removida pelo processo. A prensagem é realizada com a folha em contato com um ou dois feltros (tecido de alta gramatura que tem como finalidade conduzir a folha de celulose para o sistema de prensagem e como auxiliar de drenagem) no NIP formado entre dois rolos (FREITAS, 2012). A carga aplicada na prensa é aplicada pelas forças contrárias geradas dentro da folha e do feltro. A carga aplicada pode ser dividida em duas partes, pressão hidráulica devido à resistência ao movimento da água para fora da folha e do feltro e a pressão mecânica requerida para comprimi-los (JUSTO, ZIMMERMANN, 2006). A pressão total em qualquer ponto do NIP é igual à soma destas duas componentes, para melhor compreensão o NIP foi dividido em quatro etapas baseadas na interação das pressões hidráulica e mecânica (WAHSTRON, 1969). A remoção de água da folha no NIP de prensagem pode ser resumida e expressa de forma simplificada pela Equação 1 abaixo:

$$R.A.=C(M_{max.}-M^*) \text{ (Eq.1)}$$

R.A. - remoção de água

C - pressão constante

M_{max.} - quantidade máxima de água removida no centro do NIP (teórica)

M* - quantidade de água devolvida à folha pelo umedecimento

Outras variáveis também estão embutidas na fórmula acima, as quais foram levantadas por Bliesner e Busker, e não serão discutidas neste trabalho. No entanto como definição genérica a fórmula é válida.

2.6.1 Tipos de NIP de prensagem

2.6.1.1 No que se refere à folha

NIP de pressão controlada: Insignificante resistência ao fluxo entre as fibras. O teor seco é basicamente determinado pela resistência ao fluxo fora das paredes das fibras. São NIP's para folhas leves, onde a pressão hidráulica na interface sólida é

somente uma pequena parte do total de pressão. Isto significa que a água removida é proporcional a gramatura, e a umidade no centro do NIP é independente da gramatura em condições constantes de pressão. O efeito de pressão suplanta o tempo em que a folha está sendo comprimida no NIP, devido a facilidade de remoção de água nestes tipos de papéis (JUSTO, *apud* BOSSATO, MODENESI, VIEIRA, 2015).

NIP de fluxo controlado: Chegam-se as condições de fluxo controlado pelo incremento da gramatura da folha. Mesmo com o aumento da gramatura, a água removida no NIP não sofre incremento, a qual permanece constante para uma dada condição de prensagem. Debaixo destas condições o fluxo é controlado pela camada densa na interface do feltro. A pressão hidráulica na superfície impermeável é igual a pressão total. A prensagem é praticamente um fenômeno de fluxo, e a água removida é função logarítmica do impulso de prensagem. O tempo de residência no NIP é fator preponderante no incremento de teor seco, principalmente para folhas mais pesadas ou com maior refinação (FREITAS, 2012).

2.6.1.2 Relacionados à prensa

NIP plano e NIP ventilado: Vários modelos foram discutidos e estudados para o conhecimento do que ocorria no NIP Saturado de uma prensa. Eles estão baseados em estudos e experiências de laboratório, os quais foram programados e colocados para uma condição real de prensagem (POYRY, 1997).

Fatores que podem afetar na eficiência de prensagem tomando como base a teoria de prensagem definida por WAHLSTROM (1968), para um NIP de fluxo vertical, e outros estudos desenvolvidos para a refinação do mesmo modelo matemático, pode-se definir algumas regras básicas para aumentar a eficiência de prensagem:

Pressão aplicada nas prensas: o aumento de remoção de água no NIP está diretamente relacionado ao aumento da compressão da folha no NIP, a pressão aplicada nos respectivos NIP's das prensas deve estar adequado ao conceito de prensagem, papel produzido e velocidade da máquina (ARACRUZ, 2007).

Tempo de residência no NIP: aumentando o tempo em que a folha é comprimida, também aumenta a remoção de água, principalmente em folhas de fluxo controlado. O conjunto pressão e o tempo corretamente projetado resulta no ganho de teor seco e eficiência operacional.

Redução do percurso da água: otimizar o fluxo vertical através de prensas ventiladas, feltros com o máximo de espaços vazios e baixa resistência ao fluxo. O percurso da água será reduzido pela metade em prensas com feltro duplo.

Distribuição de pressão no NIP: aplicação de feltros apropriados para a formação de pontes evitando o sombreado da folha pelos rolos de sucção e ventilados, maximizando os pontos de contato com a folha no NIP.

Umedecimento da folha: feltros relativamente densos com fibras finas na superfície em contato com a folha contribuem para minimizar o efeito de umedecimento na fase de expansão do NIP. Feltro e folha devem ser separados o mais rápido possível na saída do NIP (ARACRUZ, 2007).

Temperatura da folha: o aumento da temperatura da folha resulta em incremento de teor seco, devido a redução da viscosidade da água, aumento da compressibilidade das fibras e redução da tensão superficial do fluido diminuindo o umedecimento da folha.

Desaguamento eficaz do feltro: o feltro deve retornar ao NIP com espaços vazios suficientes para absorver toda a água removida da folha no NIP. Portanto ele tem que ser mantido limpo e com desaguamento eficiente, fato este conseguido através do projeto correto dos elementos condicionadores.

Outros fatores: A geometria e arranjo das prensas, tipo de rolos e revestimento e aplicação correta de feltros, adequando estes e os outros fatores descritos anteriormente ao conceito de prensagem, matéria prima e velocidade da máquina.

2.6.2 Feltros

Os feltros em uma MDC servem para facilitar o fluxo da água para fora da folha de celulose, isto ocorre, pois, a folha de celulose tem uma gramatura e espessura muito alta, estes feltros também servem para conduzir parte da água retirada da folha até uma seca feltro (ARACRUZ, 2007).

2.6.2.1 A evolução dos feltros

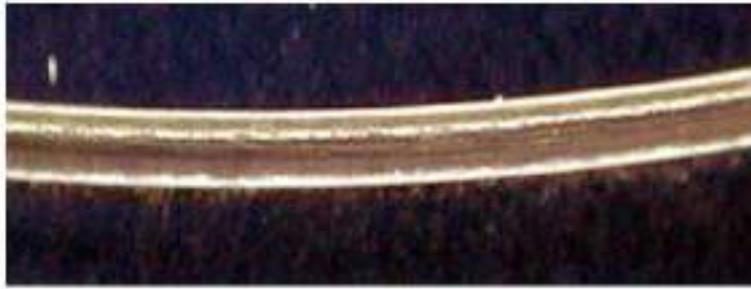
Para atender as exigências no desaguamento com maior eficiência nas prensas, maiores velocidades de máquina e maior volume de água com folhas mais pesadas, os feltros tiveram que acompanhar esta evolução nos conceitos de desaguamento.

As máquinas que produzem folhas de 700g/m², rodando a menos de 50m/min, usam feltros com duas lajes com emenda para atender os requisitos na prensagem (ARACRUZ, 2007). Com o aumento na gramatura da folha para 900–1000g/m² e velocidades de até 140m/min, vieram os feltros com três lajes (FREITAS, 2012). A prática mostra que gramaturas maiores de folha, necessitam de feltros mais abertos e mais resistentes ao adensamento. Assim vieram os feltros com quatro lajes, facilitando o fluxo de água para o rolo de sucção e/ou caixa de condicionamento (FREITAS, 1989). Nas prensas de sapata, devido as tensões diferenciais que se formam, um feltro com dupla emenda é o mais apropriado, também por questões de uniformidade e resistência para eliminar quebras (FREITAS, 1989). Atualmente, a demanda para feltros com cinco lajes já é uma realidade em algumas máquinas e posições (FREITAS, 1989). É importante mencionar que esta evolução certamente não teria ocorrido com tal velocidade sem o recurso da tecnologia nas emendas destes feltros.

2.6.2.2 Funções de um feltro em uma máquina desaguadora de celulose

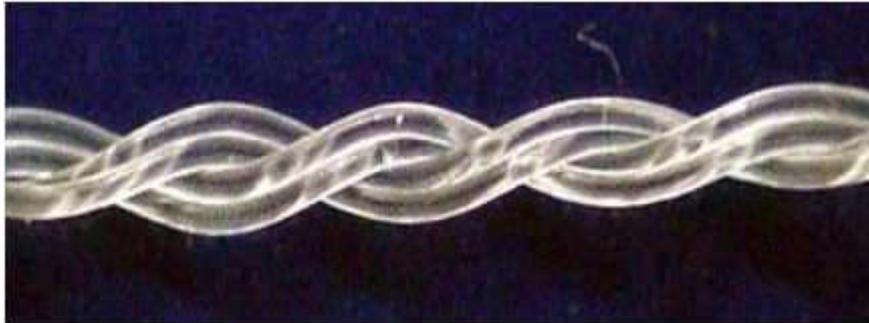
- ✓ Absorver a água retirada da folha no NIP da prensa;
- ✓ Suportar a folha no NIP para evitar o esmagamento da mesma;
- ✓ Promover uma distribuição uniforme de pressão sobre a folha de celulose;
- ✓ Conduzir a folha de uma posição para outra;
- ✓ Operar como uma correia de transmissão de potência, acionando os rolos não acionados das prensas. Normalmente, nos feltros de secagem utiliza-se 100% poliamida (nylon) de vários diâmetros (ARACRUZ, 2007). As estruturas das bases são constituídas de monofilamentos singelos, retorcidos e/ou fios, apresentados nas Figuras 13, 14 e 15.

Figura 13 - Monofilamento singelo



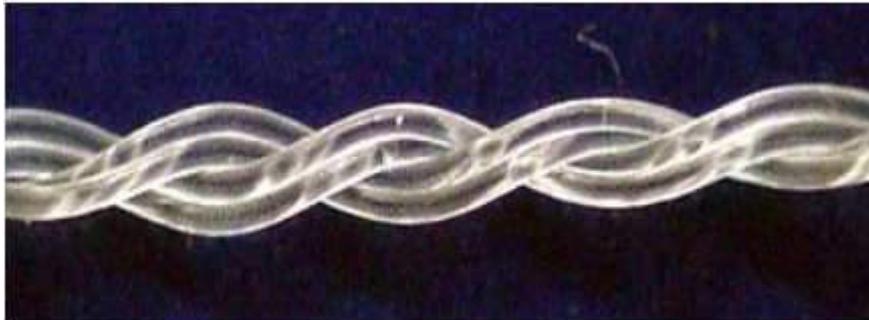
Fonte: XERIUM apud BOSSATO, MODENESI, VIEIRA (2015, p. 39)

Figura 14 - Monofilamento retorcido



Fonte: XERIUM apud BOSSATO, MODENESI, VIEIRA (2015, p. 39)

Figura 15 - Fio fiado



Fonte: XERIUM apud BOSSATO, MODENESI, VIEIRA (2015, p. 39)

A utilização do nylon é em função da sua grande capacidade de absorção de água e características físico/químicas com capacidade para resistir aos ataques na máquina de desaguamento de celulose (FREITAS, J. C.; 1989). Fibras especiais termo fusíveis são utilizadas para aumento de resistência mecânica, desgaste e compactação (ARACRUZ, 2007)

Os feltros passam por uma tecelagem onde há uma evolução de um desenho, previamente definido em função da aplicação (FREITAS, J. C.; 1989). Tais evoluções traduzem-se em diferentes estruturas de bases e conceitos de tecimento

(endless e feltros com emenda). A Figura 16 a seguir mostra o perfil de um feltro cortado e sua estrutura.

Figura 16 – Corte de uma seção do feltro



Fonte: XERIUM apud BOSSATO, MODENESI, VIEIRA (2015, p. 39)

2.6.2.3 Principais características de um feltro

- ✓ Feltros abertos: base/manta grossa;
- ✓ Uso de base com resistência à compactação e capacidade de manter-se limpo;
- ✓ Uso de fibras especiais com tratamento para aumentar a resistência mecânica e química;
- ✓ Uso de base com monofilamentos grossos; Tendência de utilizar feltros com emendas - Aproximadamente 95% das posições na América do Sul já utilizam este modelo (ARACRUZ, 2007).

2.6.3 Funcionamento de um NIP de prensagem

O comportamento da folha e da água no NIP tem influência do tipo de rolo, feltro e propriedades da folha de papel e, de uma maneira geral, o efeito físico pode ser classificado em 4 etapas de prensagem (WAHSTROM, 1969). A Figura 17 mostra esquematicamente as fases da prensagem, conforme identificadas por Justo e Zimmermann (2006), onde:

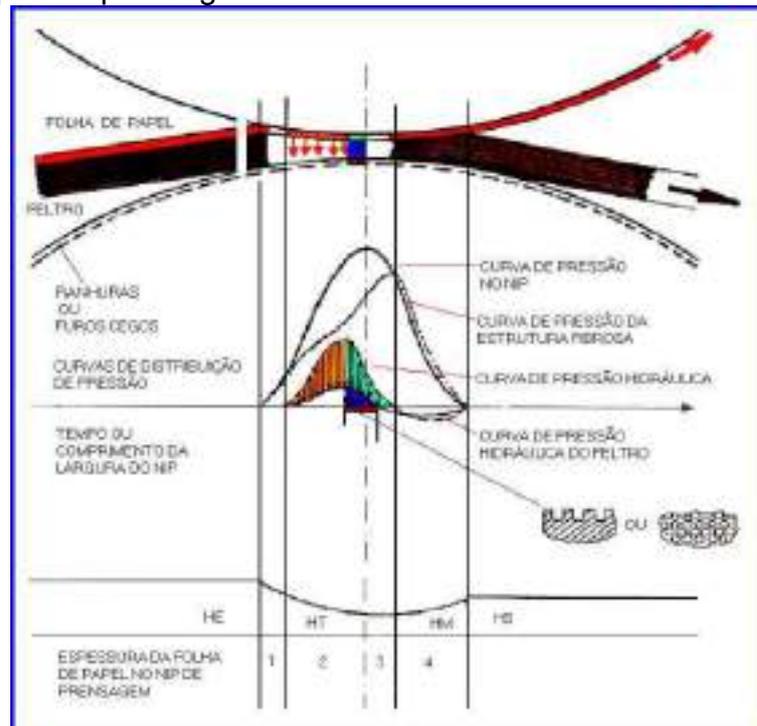
HT=Ponto máximo de saturação da folha

HM=Ponto máximo de teor seco da folha

HE=Espessura da folha na entrada do NIP

HS=Espessura da folha na saída do NIP

Figura 17 - Etapas da prensagem



Fonte: VOITH ENGINEERED REABILITY (2006).

Etapa 1: Começa na entrada da zona de contato, onde se inicia a curva de prensagem (composição externa) e estende-se até o ponto que a folha de papel fica saturada (HT). O feltro não está saturado durante esta etapa. A pressão total da estrutura fibrosa da folha cresce com a compressão e ocorre uma variação muito pequena no teor seco do papel. A pressão total é consumida sem comprimir a estrutura fibrosa (WAHSTROM, 1969).

Etapa 2: Estende-se desde o ponto de saturação da folha (HT) até o ponto central da zona de contato. Como a folha está saturada e com aumento da pressão hidráulica, a água se transfere do papel para o feltro. Esse também chega à saturação e produz-se, então, um fluxo perpendicular de água através do feltro que é expelida e vai ocupar os espaços vazios existentes abaixo do feltro e assim escapando do sistema.

Etapa 3: Inicia-se no ponto central da zona do contato e segue até o ponto de máximo teor seco do papel no NIP (HM). Nesta etapa a folha de papel está comprimida ao máximo que a estrutura fibrosa do papel permite e, consequência disto é a pressão hidráulica interna que faz expulsar a água do papel cai à zero, não havendo mais qualquer fluxo de água. É nesta fase de expansão que o feltro passa pelo ponto onde a sua pressão hidráulica interna é nula e, como consequência, é

interrompida a transferência da água contida no feltro para as áreas abertas (espaços vazios) de armazenagens provisórias. O feltro volta a ficar não saturado.

Etapa 4: O feltro e a folha de papel expandem-se. O papel reabsorve água do feltro, mas devido à expansão, volta ao estado não saturado. Em ambos os materiais (papel e feltro) cria-se uma pressão hidráulica negativa. As forças de compressão que atuam sobre a estrutura da folha e do feltro são maiores que a pressão total. O vácuo devido à expansão será maior no papel do que no feltro, o que produz uma circulação de água e ar no interior do feltro e deste até o papel. Quando o papel e o feltro se separam, no final da etapa 4, a água que se apresenta na superfície limite entre elas dividiu-se em consequência da separação das películas (WAHSTROM, P.B., 1969).

2.7 REVESTIMENTOS DOS ROLOS

Para finalizar a descrição sobre os tipos de prensas existentes cabe uma breve descrição dos materiais utilizados para revestimentos dos rolos utilizados nas prensas. Será feita uma descrição geral sobre revestimentos utilizados nos rolos das prensas. Inicialmente os rolos das prensas eram revestidos de borracha natural, que foi substituída por compostos a base de neopreme ou estireno com dureza variável. (JUSTO, 2006)

O sucesso de revestimentos de rolos de borracha depende das propriedades físicas e mecânicas da composição de cobertura. Dentre as muitas propriedades físicas dos compostos de revestimento, as quais determinam um desempenho bem-sucedido, a dureza é a única geralmente usada para especificação e para comparação de rolos. (XERIUM COMPANY apud BOSSATO, MODENESI, VIEIRA, 2015).

Elastômeros de borracha têm sido utilizados para cobrir rolos de máquinas de papel para mais de 100 anos. A melhoria contínua dos materiais tem levado os revestimentos de rolos a uma melhor resistência à abrasão, tenacidade, resistência química e as propriedades da superfície (HUNTER, apud BOSSATO, MODENESI, VIEIRA, 2015).

Os revestimentos dos rolos utilizados em um sistema de prensagem podem ser compostos especiais de borracha natural, ou outros 18 tipos diferentes de borracha sintética (elastômeros) (XERIUM COMPANY apud BOSSATO, MODENESI, VIEIRA, 2015).

Os revestimentos de rolos apresentam uma variedade de funções em muitas e diversas indústrias. Eles devem possuir uma ampla variação de propriedades físicas e características operacionais (MCNAMEE, 1982).

O revestimento de dureza macia com baixa carga num cilindro de impressão será muito diferente do revestimento duro com alta carga em um cilindro de prensa. Para este fim, os fabricantes de revestimento de rolos aproveitam-se dos diversos elastômeros disponíveis para atender as propriedades específicas e únicas dos revestimentos de rolos (MCNAMEE, 1982).

Com o surgimento de materiais similares a borracha, os fabricantes de revestimentos de rolos contam com vários elastômeros sintéticos além da borracha natural para aplicações conforme usos específicos. Assim como a um elastômero de borracha devem ser acrescentados ingredientes específicos, também aos elastômeros sintéticos para desenvolver os compostos para revestimento de rolos (XERIUM COMPANY apud BOSSATO, MODENESI, VIEIRA, 2015).

2.7.1 Classificação dos tipos de revestimentos

2.7.1.1 Elastomérico (elastômero)

Um único elastômero não é capaz de atender, satisfatoriamente todas as exigências da indústria de celulose. Este tipo de revestimento é classificado conforme suas características abaixo (VOITH ENGINEERED REABILITY, 2002; XERIUM COMPANY apud BOSSATO, MODENESI, VIEIRA, 2015).

2.7.1.2 Natural (NR)

Os compostos baseados em borracha natural, apresentam resistência a maioria dos produtos químicos (pH de 5 a 8) em concentrações moderadas, ácidos orgânicos, alcoóis, acetonas ou aldeídos.

Nitrílica (NBR) com estabilidade térmica: Os compostos baseados na Nitrílica com estabilidade térmica produzem revestimentos com maior dureza e, portanto, maior módulo, maior resistência à abrasão, quando comparados aos copolímeros nitrílicos convencionais (MCNAME, 1982).

2.7.1.3 Neopreme (CR)

Os compostos a base de Neoprene tem sua estrutura química semelhante à borracha natural, diferenciando-se por possuir um átomo de cloro, por esta razão, apresenta boa resistência aos produtos químicos, ácidos, óleos, ozona, gorduras, graxas e solventes em quantidades moderadas, maior que NBR e SBR (MCNAMEE, 1982).

2.7.1.4 Estireno-Butadieno (SBR)

É um copolímero de Estireno e Butadieno, no qual aproximadamente 25% de unidades de Estireno estão distribuídos entre 75% de unidades de Butadieno. Os compostos baseados no elastômero de Estireno/Butadieno, têm propriedades semelhantes às apresentadas naqueles contendo borracha natural (MCNAMEE, 1982).

2.7.1.5 Poliuretano (AU)

Os revestimentos a base de Poliuretano são resistentes a ozona, solventes de hidrocarbonetos, produtos químicos moderados, óleos animais e vegetais, alcoóis e produtos cáusticos (MCNAMEE, 1982).

2.7.1.6 Nordel(EPDM)

Os compostos a base de EPM ou EPDM, apresentam boa resistência à maioria dos ácidos diluídos, óleos animais e vegetais, glicóis, hipoclorito de sódio, trietanoaminas, cetonas (MEK) e alcoóis (MCNAMEE, 1982).

2.7.1.7 Elastômero aditivado

Desde a 2ª grande guerra não se inventa um novo tipo de elastômero, porém, as propriedades dos tipos já existentes podem ser melhoradas através adição de radicais, como por exemplo, por hidrogenização (MCNAMEE, 1982).

2.7.1.8 Granito

O Granito é a mais comum das rochas magmáticas encontradas em massas rochosas de grandes proporções. Os granitos se apresentam em cores que variam em função do tipo de feldspato presente, que pode ser avermelhado, rosado ou amarelado. Mineralogicamente, os granitos compõem-se de feldspato e quartzo, biotita ou muscovita e anfibólios todos como minerais essenciais e vários minerais acessórios como zirconita, turmalina, fluorita, rutilo, hematita, etc. A mineralogia do granito classifica-o como rocha leucocrática (MCNAMEE, 1982).

2.7.1.9 Compósito

São todos os materiais que possuem dois ou mais componentes dispersos, uma selecionada carga ou um componente de reforço numa matriz de ligação. A cuidadosa seleção dos diferentes tipos de carga e do agente de ligação (binder) gera produtos com os mais variados tipos de superfícies, durezas, resistência ao desgaste e muitas outras propriedades (STOWE WOODWARD, 2002).

2.8 DUREZA DA BORRACHA

A dureza é uma propriedade bastante utilizada na indústria da borracha e relativamente simples de definir, é uma propriedade muito importante para a generalidade de suas aplicações. A dureza da borracha e elastômeros tem caráter sensitivo e é medida em unidades *Shore A*, que é representada na Tabela 1 abaixo (D'ALMEIDA, 1998).

Tabela 1 –Dureza sensitiva e Shore A

Dureza (sensitiva)	Dureza Shore A
Muito macia	Inferior a 40
Macia	40-60
Média	60-75
Dura	75-90
Muito dura	90-100

Fonte: D'ALMEIDA (1988)

A medida da dureza é baseada na penetração de uma esfera rígida num provete normalizado, em condições previamente fixadas. A relação é conhecida entre a profundidade de penetração da esfera e o Módulo de *Young*, para material elástico e isotrópico.

$$\frac{F}{E_0} = 0,0038 * R^{0,65} * P^{1,65}$$

Sendo:

F- a força de penetração, em N;

E₀ - o módulo de *Young*, em MPa;

R - o raio de penetração esférico, em mm;

P - a profundidade de penetração, em mm;

O valor da penetração da esfera gera um valor ou grau de dureza, correspondente a escala Graus Internacional de Dureza da Borracha ou elastômeros, abreviadamente GIDB (internacionalmente designada dureza IRHD - *International Rubber Hardness Degrees*). Dentre as várias unidades de dureza conhecidas destaca-se na indústria de celulose na parte de rolos as escalas de durezas *Shores A* e *Pusey & Jones*. Para borrachas de dureza Média, podendo ainda medir durezas meio macia e meio dura, utiliza-se a escala *Shore A*, ao passo que para borrachas ou elastômeros com dureza variando de 0 a 300 usa-se a escala *Pusey & Jones*, esta última é a escala mais utilizada na indústria de papel e celulose em rolos revestidos (MCNAMEE, 1982).

Em um determinado rolo revestido com um tipo qualquer de elastômero, tem sua dureza determinada como uma medida de rigidez, que está relacionada com o módulo de compressão estático desse composto elastômero (MCNAMEE, 1982).

2.8.1 Aparelho para medição de dureza em borracha e elastômero

A dureza do revestimento do rolo é um importante componente de controle de qualidade onde pode-se monitorar se houve alguma anormalidade no revestimento do rolo em operação. Dentre os aparelhos de medições de dureza dos rolos destacam-se o Durômetro *Shore A* (ASTM D 2240-75), e outro aparelho mais frequentemente utilizado nas medições de revestimentos de rolos das indústrias de papel, é o Plastômetro *Pusey & Jones* (P&J) (ASTM D 531-78). Cada um destes

instrumentos mede a resistência à penetração do revestimento (FINOCCHIO, 2015). As figuras 18 e 19 mostram os instrumentos utilizados no determinar a dureza do material.

Figura 18 – Durômetro de bolso



Fonte: VOITH ENGINEERED REABILITY (2006).

Figura 19 – Durômetro Pusey & Jones



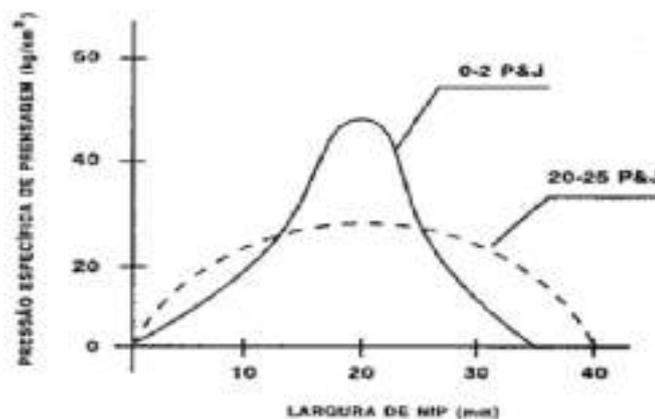
Fonte: VOITH ENGINEERED REABILITY (2006).

O atual trabalho foi realizado seguindo os critérios de pesquisa, tipo bibliográfica, com abordagem na seção de prensa da máquina de celulose. Conceituando os principais tipos de prensas tais como: prensas lisas ou planas, melhor detalhamento em prensas ranhuradas e de furação cega (*dry press*) e comentar sobre a prensa de NIP estendido (prensa de sapata). Com enfoque na última seção de prensagem antes da entrada da folha de celulose no secador.

Tomando como referência um estudo já validado onde avaliou-se uma prensa que teve seu NIP aumentado a fim de se obter maior teor seco da folha de celulose com a modificação de um rolo central entre a primeira e segunda prensa. Tal modificação se baseou na aplicação de um revestimento ao rolo central da máquina desaguadora de celulose, este feito com elastômero (borracha de alta resistência) sobre a camisa de inox desse rolo, tal revestimento permite um aumento da espessura do NIP de prensagem que antes variava de 12 a 18 mm agora com o revestimento apresenta uma zona de pressão de 30 mm.

A Figura 20 abaixo representa o comportamento da largura de NIP variando apenas a dureza do revestimento aplicado.

Figura 20 - Pressão específica de prensagem (kg/cm^3) x Largura do NIP (mm)



Fonte: VOITH ENGINEERED REABILITY (2006).

Utilizando os critérios da modificação acima descrito entre primeira e segunda prensa, surgiu a possibilidade de se avaliar a viabilidade de aplicação de um revestimento semelhante nos rolos da última seção de prensagem respeitando seus parâmetros de trabalho que se difere do primeiro estudo.

Apresentação dos ganhos mensuráveis, propostos com a implantação do revestimento na prensa jumbo, sendo a principal, a redução do consumo de vapor no secador devido ao aumento do teor seco na saída da prensa revestida em comparação com a prensa sem revestimento lisa instalada atualmente em uma MDC bem como o investimento (*budget*), necessário para implantação do projeto.

2.9. DIMENSIONAMENTO DO REVESTIMENTO A SER UTILIZADO

Consideramos algumas informações básicas e simulações obtidas através de Engenharia de NIP auxiliada por nosso software *Comput A Cover*. Para definir o revestimento ideal para o rolo seguindo as especificações da máquina, é necessário levar em conta algumas considerações que veremos a seguir. Em seguida há memorial de cálculo.

2.9.1 Prensagem

Considere que em uma secção de prensagem a curva de Pressão Específica do primeiro ao último NIP deve ser gradativa, crescente e suave, com o objetivo de não estressar a folha e proporcionar remoção de água da folha de forma eficiente, seja por transferência para a feltro com remoção na caixa, seja por remoção no NIP, remoção nos rolos de sucção ou até mesmo em ambas as condições de forma simultânea. Partindo desse princípio, os compostos aplicados, a dureza (módulo), espessura, diâmetros dos rolos e Carga Linear devem ser cuidadosamente estudados.

Os rolos da 2ª e 3ª Prensa são intercambiáveis, logo os parâmetros mencionados acima tornam-se ainda mais críticos, de modo que é necessário estabelecer grandezas comuns à ambas aplicações objetivando atender todas as posições onde os rolos são instalados, dessa forma podemos manter apenas um perfil de rolo em estoque para atender as duas posições.

2.9.2 Revestimento Borracha x PU (Poliuretano)

Considerando a aplicação em prensas lineares, em termos de performance, pouca diferença há entre os dois tipos de material na primeira campanha. Os ganhos tornam-se mais evidentes a partir da segunda campanha. Isso ocorre devido na primeira campanha ambos os compostos estarem com suas espessuras iniciais, porém o PU tem uma tendência de operar mais estável, absorver melhor as possíveis variações do NIP provocadas por deformações no perfil do feltro, variação na gramatura da folha, desequilíbrio de carga linear da prensa e etc. Nessas condições o PU sofre pouco desgaste em operação e quando retirado de máquina ainda observa-se um perfil consideravelmente uniforme, necessitando remoção de pouco material durante retífica, praticamente metade da quantidade retirada da borracha. Nessas condições o Rolo retorna a operar na campanha seguinte com o diâmetro superior aos compostos de borracha, gerando uma maior Largura de NIP, menor tempo de permanência e menor Pressão Específica e resultando em maior eficiência, conforme veremos nas simulações. Vale ressaltar que essa característica não deve ser considerada para todas aplicações. Há posições específicas em que a borracha continua sendo a melhor alternativa, como em posições de baixo Teor Seco da Folha, por exemplo.

Uma outra característica relacionada ao PU que o coloca em vantagem nessa aplicação, é o fato de poder operar por campanhas prolongadas de 24 a 30 meses, sendo que os compostos de borracha sofrem mais em operação e devem ser retirados para retífica entre 12 e 15 meses. Nessas condições, considerando que há somente um rolo reserva para seis posições, caso a definição fosse revestir os rolos em borracha, haveria necessidade de aquisição de mais cinco rolos para proporcionar as trocas dentro das periodicidades de Paradas Gerais. Por outro lado, considerando aplicação de PU para todas as posições e, sabendo que os rolos em PU podem operar por até 30 meses, verifica-se a possibilidade de planejamento estratégico objetivando a troca de três rolos em uma máquina dentro de uma Parada Geral (PG), mantendo os rolos em uma outra máquina similar em operação por mais quinze meses, quando seria trocado na PG seguinte, seguindo esse ciclo continuamente.

2.9.3 Custo Benefício

Com objetivo de definir a viabilidade entre aplicação de um ou outro composto, deve-se levar em consideração o custo de manutenção mecânica, retífica, transporte e também de substituição dos rolos em máquina e até mesmo período de máquina parada caso a troca em paradas programadas seja também considerada. Partindo dessa análise, as informações abaixo são extremamente importantes.

Expectativa de campanha Rolos de Borracha: 4 a 5 campanhas de 15 meses. Considerando períodos em operação e fora de máquina, estima-se que o Revestimento dure entre 9 e 11 anos e passe por 3 ou 4 retíficas.

Expectativa de campanha Rolos de PU: 3 a 4 campanhas de 30 meses. Considerando períodos em operação e fora de máquina, estima-se que o Revestimento dure entre 10 e 13 anos e passe por 2 ou 3 retíficas.

Obs. Vale ressaltar que as estimativas acima baseiam-se em períodos de operação normais sem incidente ou acidente que provoque danos severos na superfície do revestimento, onde haveria necessidade de maior remoção de material durante retífica.

Observação importante para rolos com acabamento Dri-press e/ou ranhurado em função de os rolos revestidos em borracha sofrerem maior desgaste em operação e haver necessidade de maior remoção de material durante retíficas para uniformizar o perfil e restabelecer grandezas e geometria do rolo, observa-se que em suas últimas campanhas os rolos revestidos em borracha perdem consideravelmente o volume vazio devido a profundidade das furações *Dri-press* (furo cego) apresentarem-se mais rasas. Essa condição pode afetar a eficiência da transferência de água da folha para o feltro, resultando em menor remoção de água. Caso isso ocorra, é possível aprofundar ainda mais as furações, porém o custo para essa intervenção também deve ser considerado.

2.9.4 Dados Gerais

Ambas aplicações dos rolos revestidos em borracha foram consideradas dureza de 17 P&J e 25 mm de espessura com o composto **Supewear Xtreme**.

Ambas aplicações dos rolos revestidos em PU foram consideradas dureza de 18,2 P&J e 25 mm de espessura com o **composto *Quantum Xtreme***.

Obs. Vale ressaltar que ainda é possível trabalhar com a dureza relativamente mais baixa, na ordem de 15 P&J, porém não o contrário, sob risco de o NIP seguinte apresentar uma pressão específica menor do que o NIP anterior, quebrando o conceito de curva de Pressão específica crescente.

Obs. 1. Todos os Rolos (2ª e 3ª Prensa) possuem o mesmo diâmetro de núcleo metálico = 1250 mm.

Obs. 2. Carga Linear da 3ª Prensa é de 180 kN/m.

2.9.5 Outras Informações

Rolos revestidos permitem aplicação de acabamento de superfície de modo a propiciar uma área aberta estrategicamente balanceada na superfície do revestimento através de furos cego (*Dri-press*), ranhuras ou a aplicação de ambos acabamentos. Cálculos específicos correlacionando a geometria da furação e ou ranhura e área aberta, proporcionam volumes vazios integrados ao revestimento não possíveis em rolos lisos e que potencializam a remoção de água no NIP.

Sugestão de Área Aberta e Volume Vazio:

Área Aberta:	25%
Volume Vazio:	2560 cm ³ /m ²
Furação <i>Dri-press</i> :	
· Profundidade Furo 1:	9mm
· Profundidade Furo 2:	12mm
· Diâmetro do furo:	3,5mm

2.9.6 DADOS TÉCNICOS

Temos duas linhas de produção, chamadas aqui de MDC 1 e MDC 2 idênticas em capacidade de produção as quais tiveram o start up em 1978, passando por algumas modificações e modernizações ao longo do tempo, chegando a atingir a uma produção de 900 tsa/dia, cada linha. Na Tabela 2 estão listados os principais dados da máquina da MDC1, com foco na terceira prensa, que é nosso objeto de estudo, os quais são os balizadores para os cálculos dos resultados propostos.

4 METODOLOGIA

4.1 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

Embora toda teoria e conceitos já demonstram que o projeto de revestir com borracha ou PU o par de rolos da terceira prensa, aumentando consideravelmente o tempo de permanência no NIP de prensagem, se refletiria em um considerável ganho de teor seco na entrada do secador, fizemos levantamentos e estudos prévios com apoio de fornecedores de revestimentos e também com análises internas. Cada fornecedor usou seu próprio sistema de simulação de dados e própria metodologia para apresentar a proposta de aplicação.

A Tabela que segue abaixo mostra o resultado destes estudos realizados, onde temos os dados que os simuladores mostraram para as prensas com e sem o revestimento.

Tabela 3 - Dados de estudos prévios realizadas por fornecedores de revestimentos.

Estudo prévio para aplicação de um revestimento de borracha ou poliuretano no casal de rolos da MDC 1				
PARÂMETRO	UNIDADE	ATUAL	PROPOSTA EMPRESA A	PROPOSTA EMPRESA B
Pressão Linear	KN/m	180,0	285,0	270,0
<i>Press Impulse</i>	KPa/s	108,0	171,0	130,0
Tempo de Permanência	ms	26,64	42,0	33,0
Pressão Específica do NIP	MPa	4,14	2,57	4,36
Largura do NIP	mm	40,4	69,9	58,0
Máximo <i>Stress</i>	MPa	3,32	3,45	3,5
Temperatura	°C	45	46,7	48,0
Dureza do Revestimento	P & J	0	18,2	10,0
Ganho no Teor Seco	%	50,4	53,1	53

Fonte: Dos autores

Embora os resultados apresentados não sejam iguais, a tendência de todas as variáveis levantadas em ambos é a mesma e estavam alinhadas com o objetivo do projeto.

4.3 CONSIDERAÇÕES

Para o desenvolvimento do estudo é necessário que sejam feitas algumas considerações para a execução da medição dos resultados, sendo:

- a) Para a receita com a venda de energia para o mercado foi usado preço médio de 2019 de R\$ 270,00/MW, onde o vapor economizado na secagem será utilizado para gerar energia excedente e venda no mercado;
- b) 1 U\$ = 4,15 R\$;
- c) Para determinar o teor seco de trabalho atualizado da MDC 1, optamos em colher dados amostrais feitas em campo através de método desenvolvido e normalizado pela ABNT/ISO 638/2009, onde são coletadas pequenas amostras de celulose em pontos estratégicos da folha na saída da terceira prensa da MDC 1 e assim calcular sua média, pontos estes identificados como: lado de comando da máquina (LC) , centro da folha (C) e lado de acionamento da máquina (LA), estas amostras são colocadas em frascos identificados e levadas para análise em laboratório para determinar o teor seco (Tabela 4). Verificamos que o valor da média entre os três valores de teor seco a serem considerados será de 50,1%.

Tabela 4 – Levantamento de resultados para levantamento do teor seco

AMOSTRAS	DATA/HORA	CONSISTÊNCIA			GRAMATURA	UMIDADE	VELOCIDADE			
		ENTRADA SECADOR						Produto Final	Produto Final	Máquina
		LC	C	LA						
1	14/5/19 9:20	50,27	49,96	48,88	923,10	10,10	87			
2	7/5/19 9:00	49,24	49,17	49,61	936,71	11,21	90			
3	23/4/19 9:00	49,27	48,62	49,66	938,12	11,39	86			
4	2/4/19 9:00	51,89	51,36	51,92	954,73	10,24	91			
5	26/2/19 9:00	52,59	54,67	52,29	970,70	10,03	94			
6	12/2/19 9:00	52,09	51,04	53,18	970,27	10,39	87			
7	18/12/18 9:00	50,67	50,98	50,09	944,49	9,97	86			
8	27/11/18 9:00	50,34	50,17	48,62	911,05	9,95	89			
9	13/11/18 9:00	49,14	49,85	49,55	946,35	11,23	88			
10	6/11/18 9:00	49,69	49,07	49,13	947,95	11,67	90			
11	30/10/18 9:00	49,06	50,20	50,84	945,06	9,43	90			
12	23/10/18 9:00	49,50	49,63	48,50	930,89	9,01	88			
13	19/10/18 10:00	48,21	48,73	47,27	967,64	13,10	86			
14	9/10/18 9:00	48,03	48,28	48,41	961,09	11,21	89			
15	2/10/18 9:00	48,93	49,64	48,50	914,47	11,27	89			
16	25/9/18 9:00	52,05	53,16	51,77	959,11	10,96	90			

17	11/9/18 9:00	49,28	50,00	50,00	929,54	10,86	90
18	4/9/18 8:40	49,43	50,54	49,73	943,50	10,22	89
19	7/8/18 9:00	50,33	50,21	49,53	947,09	9,24	85
20	11/7/18 9:00	50,36	52,80	50,31	943,41	11,29	89
MÉDIA		50,02	50,40	49,89	944,26	10,64	88,65

Fonte: Dos autores

4.3 RESULTADOS PROPOSTOS

Com base nos dados técnicos dos equipamentos a serem instalados, descrito na Tabela 3, comparando com os atuais e respeitando as considerações citadas anteriormente, esperamos a economia de vapor em média de 12 a 15% em relação ao consumo atual, considerando o aumento de teor seco na entrada do secador de 50% para 53%. O ganho de vapor será convertido em energia elétrica para venda ao mercado.

Ganhos como o aumento da resistência da folha, melhoria no perfil de formação da folha, aumento na vida útil dos feltros, redução do número de quebras na passagem de ponta e aumento de produção também são esperados.

4.4 ANÁLISE ECONÔMICA

As Tabelas 5 e 6 demonstram os cálculos de consumo de vapor comparando o consumo atual e futuro levando em consideração a instalação do revestimento na prensa, resultando na economia da soma do vapor aplicado diretamente na economia que será transformada em geração de energia, com posterior venda para o mercado, contabilizando o ganho financeiro imediato.

O custo de serviço com a implantação do projeto, incluindo engenharia básica, engenharia de detalhamento, supervisão de montagem e assistência técnica foi desconsiderado, pois não haverá alterações do projeto atual e a substituição será realizada em regime de máquina parada

Tabela 5 – Estudo de Instalação(Atual).

Estudo de Instalação Revestimento Rolos 3ª Prensa MDC 1		
ATUAL		
Capacidade Projeto Atual	845,0	tsa/dia
Capacidade Secador		Kg/h
Teor seco na entrada do secador	50,0	%
Teor Seco na saída do secador	90,0	%
Água na Entrada do Secador	31,67	ton/h de água na entrada (50% de água)
Água na Saída do Secador	3,80	ton/h de água na saída (10% de água)
Evaporação do Secador atual	27,87	ton/h de água retirada no secador (diferença)

Fonte: Dos autores

Tabela 6 - Dados propostos.

PROPOSTO		
Capacidade Projeto Atual	845,000	tsa/dia
Capacidade Secador		Kg/h
Teor seco na entrada do secador	53,0	%
Teor Seco na saída do secador	90,0	%
Água na Entrada do Secador	29,77	ton/h de água na entrada
Água na Saída do Secador	3,80	ton/h de água na saída
Evaporação do Secador atual	25,97	ton/h
Evaporação Específica	1,16	ton vapor/ton água evaporada
Redução de água evaporada	1,90	ton água/hora
Redução de vapor (hora)	2,20	ton vapor/hora
Redução de vapor (ano)	19042,560	ton vapor/ano

Fonte: Dos autores

Na Tabela 7 temos o cálculo da receita ao usarmos o vapor economizado com a instalação dos rolos revestidos na MDC 1 para conversão em energia elétrica e posterior venda ao mercado. Com a geração de 2.380,32 MW/ano nos turbo geradores 03 e 04 e de 4.760,64 MW/ano no turbo gerador 05 temos o total de 7.140,96 MW/ano (diferença entre as gerações) ao preço de R\$ 270,00/MW proporcionando o ganho de R\$ 1.928.059,20 por ano ou o equivalente em dólar de U\$ 464.592,58 por ano.

Tabela 7 – Dados de ganho energético e receita de venda.

GANHO ENERGÉTICO			
Economia de Vapor no Secador		2,2	ton/hora
Específico Turbo Geradores 03 e 04		8,0	ton vapor/MW
Específico Turbo Geradores 05		4,0	ton vapor/MW
Preço de Venda de Energia Elétrica	R\$	270,00	R\$/MW
<hr/>			
Turbo Gerador 03 e 04		2380,32	MW/ano
Turbo Gerador 05		4760,64	MW/ano
RECEITA DE VENDA			
Economia de Energia (ano)		7140,96	MW/ano
Economia de Energia (ano)	R\$	1.928.059,20	MW/ano

Fonte: Dos autores

O valor de R\$ 270/MW é o valor médio de venda de energia elétrica praticado em 2019, o qual varia em função do preço de mercado, disponibilidade de compra em leilão, oferta e demanda.

Conforme descrito anteriormente o valor usado como referência para conversão do dólar em real é de: 1 U\$ = 4,15 R\$.

3.7 CUSTO DO PROJETO

Preço retífica – Borracha e PU: R\$ 6.610,00
 Diâmetro: 1300,00mm
 Comprimento: 6600,00mm

Preço revestimento – Borracha - Superwear Xtreme: R\$ 603.286,00
 Diâmetro: 1300,00mm
 Núcleo: 1250,00mm
 Comprimento: 6600,00mm
 Acabamento: Dri-Press

Preço revestimento – PU - Quantum Xtreme: R\$ 836.980,00
 Diâmetro: 1300,00mm
 Núcleo: 1250,00mm
 Comprimento: 6600,00mm
 Acabamento: Dri-Press

Preço refuração DP – Borracha e PU: R\$ 24.000,00
 Diâmetro: 1300,00mm
 Comprimento: 6600,00mm

5 CONCLUSÃO

Após análise dos dados apresentados podemos concluir que a proposta de substituição implementar revestimento de borracha ou PU na prensa é viável sob os aspectos de melhoria da tecnologia empregada no sistema de prensagem com alguns ganhos mensurados, e outros não mensurados neste estudo, mas que já são comprovados na prática, principalmente relacionados à melhoria na formação da folha e aumento de resistência da mesma. O ganho com a redução do consumo de vapor aplicado diretamente no secador comprova a viabilidade econômica, devido o aproveitamento desta economia para a geração de energia e venda para o mercado, ou usar esta energia no processo evitando a compra, pois como o processo de uma fábrica de celulose é muito dinâmico, em várias situações a empresa tem que recorrer à compra de energia no mercado, sendo que em determinados momentos o preço de compra é mais elevado do que o de venda. Nos vários cenários apresentados, podemos observar o ganho com a venda de energia e principalmente com a redução do custo caixa com a madeira de energia e o seu aproveitamento para o incremento da produção.

Com relação ao ganho de produção podemos dizer que a comprovação da viabilidade econômica é muito maior. O ganho em 18 meses praticamente paga o investimento do projeto (*pay back* simples), sob o aspecto de análise apenas da absorção da capacidade do aumento de produção na 3ª prensa. Porém há de se fazer a ressalva de que somente substituindo o revestimento não podemos garantir este retorno, pois depende do incremento contínuo da produção. Ou seja, a análise em função do ganho de produção deve ser levada como prioridade na justificativa do investimento se a 3ª prensa for o gargalo de produção.

Pelos motivos apresentados, a melhor estratégia para a justificativa econômica da implantação do revestimento da prensa jumbo nessa MDC, está no ganho com a redução do consumo de vapor gerando receita com a venda de energia elétrica, redirecionando para o aumento potencial de produção de celulose.

6 SUJESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Mensurar os ganhos na formação da folha e aumento de resistência da mesma, com os revestimentos, revestimento de borracha e de Poliuretano.
- Com avanço das tecnologias, buscar novos revestimentos para melhorar o rendimento do mesmo.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANTRITZ. **Manual de treino - Sistema de alimentação de pasta.** Aracruz, 2001.

ARACRUZ & HULCK.WANGNER. **Manual de treinamento sobre prensas desaguadoras.** Página 305-330, 2007.

BOSSATO, Gustavo Costa; MODENESI, Patrick; VIEIRA, Saulo Almeida. **A influência da área de pressão entre dois rolos de uma prensa desaguadora de celulose na obtenção do teor seco da polpa de celulose.** 2015. 82f. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) – Faculdades Integradas de Aracruz, Aracruz, 2015.

CAINELLI, I; FALSARELLA, P. **Apostila de treinamento Voith: Prensas, Teoria, Componentes, Operação e Tendências.** São Paulo: Junho de 1994.

CAPO, Patrícia. Setor acima do resultado econômico do Brasil. **Guia ABCTP de Fornecedores & Fabricantes: Celulose e Papel.** 2017/2018. Disponível em: http://www.guiacomprascelulosepapel.org.br/publicador/edicoes_impresas/11.pdf . Acesso em: 15 mar. 2019.

D'ALMEIDA, M.H. **Celulose e Papel.** Vol. 1, 2 Ed. São Paulo, 1988.

FIBRIA CELULOSE S.A. **Manual de Operação Unidade 3070 - 3253/3254 Secador e Cortadeira – Fábrica “A”.** Aracruz, 2009.

FINOCCHIO, M. A. F. **Materiais e Equipamentos Elétricos.** Edição 2, 2008.

FREITAS, C. J. **Condicionamento de Feltros para os Conceitos através de Prensagem.** Edição 01, 1989

FREITAS, C. J. **Tecnologia de Feltros Aplicada para otimizar o Desaguamento da Folha.** Edição 27, 2012.

HONKALAMPI, P. **A importância do layout da sapata na prensagem com NIP's longos: o papel.** 2007. Disponível em http://www.revistaopapel.org.br/noticiaanexos/1311969380_1b5970c802a8f14852234ad8b6dc0407_1633968533.pdf. Acesso em: 18 jul. 2019.

JUSTO, D.; ZIMMERMANN, J. L. **Atualização em Feltros para as Exigências de Prensagem.** São Paulo, 33º Congresso Anual de Celulose e Papel, 2000.

MCNAMEE, J.P. **Cilindros Revestidos** Brasil, 1982.

MCNAMEE, J.P. **Modernos Conceitos de Revestimento de Cilindros.** p. 57-64, U.S.A., 1982.

POYRY, J. **Manual de operação secagem de pasta.** p. 45, São Paulo, 1997.

SOARES, Ozeri Lopes. **Viabilidade técnica e econômica da substituição da prensa jumbo revestida por prensa de sapata em máquinas desaguadoras de celulose de eucalipto.** 2012, 58f. Monografia (Programa de Pós-Graduação *Lato Sensu* em Tecnologia de Celulose e Papel) – Universidade Federal de Viçosa. Minas Gerais, 2015.

STOWE WOODWARD. **Manual de Revestimento de Cilindros.** p. 28, 1984.

VOITH ENGINEERED REABILITY. **Manual sobre prensagem.** p. 38-40, 2006.

VOTORANTIN CELULOSE E PAPEL. **Apostila de Treinamento Operacional – Máquina de Papel, NipcoFlex.** São Paulo, 2014.

WAHSTROM, P.B. **Our present understanding of the fundamentals of pressing.** Canadá, 1969.