



Autores do artigo:  
**Cesar de Araujo G. Filho** - Coordenador de Produto -  
Albany International  
**Gustavo A. Leitis** - Engenheiro de Serviços de Formação -  
Albany International

# Sistema de vácuo na seção de formação

## Introdução

A seção de formação de uma máquina de papel é onde aproximadamente 95% da água, contida na mistura que sai da caixa de entrada, é removida. Esta remoção deve ser feita de uma forma gradual, para minimizar a perda de sólidos, manter boa eficiência de operação e drenagem, obter uma folha com características de qualidade dentro dos parâmetros requeridos e entregar a folha para a seção de prensagem com o maior teor de sólidos possível.

Grande parte da água é removida de forma natural, mas para se obter uma folha com o teor seco necessário para a seção de formação, é essencial a utilização de um sistema de vácuo composto por tubulações, separadores, vários tipos de elementos de drenagem e geradores de vácuo.

As bombas de vácuo consomem em torno de 17% do total da energia elétrica utilizada numa máquina de papel, sendo que cerca de um terço é consumida na seção de formação. O sistema de vácuo é muito importante no complexo que chamamos de "Máquina de Papel", por isso é de extrema importância projetar e operar este sistema de forma a obter o máximo de sua eficiência com uma correta utilização.

Mesmo considerando o relativo alto consumo de energia elétrica pelas bombas de vácuo, é muito mais econômico remover a água da folha na seção de formação, sendo interessante, portanto, efetuar o máximo possível de remoção nesta seção da máquina.

Este artigo tem como objetivo explicar de forma geral os elementos que compõem o sistema de vácuo, com exemplos de dimensionamento e tendo como parâmetro as seções de formação do tipo "Fourdrinier". Pode-se fazer equivalência dos elementos citados aqui com outros elementos utilizados em outros tipos de formadores.

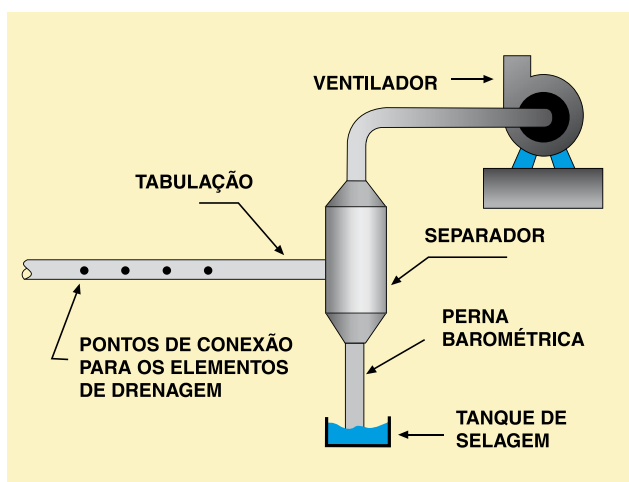
## 2. Geradores de vácuo

Dentro deste universo temos diversos elementos geradores de vácuo. Segue abaixo a descrição dos mais utilizados em máquinas de papel:

### 2.1 Ventiladores:

São equipamentos que movimentam grandes volumes de ar com baixos níveis de vácuo, operam com baixo consumo de energia e possuem baixo custo de aquisição. Geram no máximo 1,5 mca e são empregados nos primeiros elementos da mesa de formação (caixas de baixo

vácuo e vacuum foils). Necessitam também de um bom sistema de separação para não prejudicar a operação do equipamento aspirante.

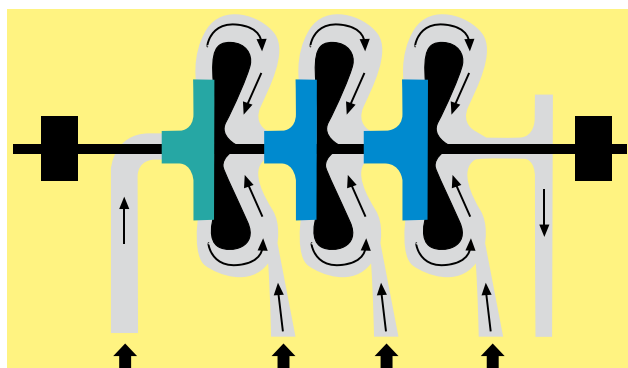


### 2.2 Exaustor centrífugo

O exaustor centrífugo é composto por diversos rotores operando com relativa alta rotação. Tem o mesmo princípio de funcionamento das bombas centrífugas, porém, trabalham com ar ao invés de água. É uma unidade que opera com fluxo variável e nível constante de vácuo, independente dos níveis de resistência ao fluxo. Por isso, possui como característica: dificuldade de controle entre elementos que devem operar com diferentes níveis de vácuo. Em unidades com múltiplos estágios é possível ter mais de uma tomada com níveis diferentes de vácuo.

Já foram mais utilizados no passado, em máquinas com poucas mudanças nos tipos de papéis produzidos e menores exigências quanto às eficiências no sistema de vácuo. Tem como vantagem a economia de energia, se for considerado que um equipamento poderia substituir várias bombas de vácuo em uma máquina de papel.

### Exaustor Centrífugo de Múltiplos Estágios

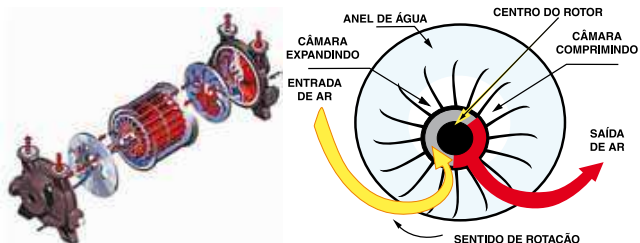


### 2.3 Bombas de anel líquido

São as mais utilizadas e preferidas no mercado de celulose e papel. Elas operam em um volume constante e o nível de vácuo é ajustado pela resistência ao fluxo gerado pelos elementos e/ou válvulas.

Bombas de vácuo de anel líquido operam com água na câmara de bombeamento, que com o movimento de rotação do rotor e com a ação da força centrífuga, o líquido de selagem toma a forma de um anel, semelhante ao formato da superfície interna do corpo. O anel líquido é responsável pelo processo de aspiração e de compressão dos gases ou vapores, agindo como um pistão líquido movimentando-se dentro das células formadas por pares de palhetas consecutivas do rotor. As palhetas fixas do rotor formam câmaras que são preenchidas pelos gases e vapores aspirados e, posteriormente, comprimidos após o líquido de selo ocupar estas câmaras devido à excentricidade da montagem e a ação da força centrífuga gerada pela rotação do conjunto eixo/rotor. O líquido de selagem é continuamente repostado e descarregado pela porta de descarga juntamente com os gases ou vapores após o processo de compressão.

Uma importante característica deste tipo de bomba é que possui um ganho extra de eficiência através da condensação interna, gerada pelo contato do vapor (ar quente) aspirado da máquina de papel com a água fresca utilizada na selagem do sistema.



#### 2.3.1 Água de selagem

É a água utilizada para vedar as aberturas entre o rotor e o cabeçote de comando, além de remover as fibras arrastadas na aspiração. Para um bom funcionamento da bomba, é necessária uma boa conservação das gaxetas.

O circuito do sistema de água de selagem da bomba pode ser aberto, fechado (com bombeamento, filtragem, controle químico, refrigeração e reposição) ou em cascata (indo das bombas de alto vácuo para bombas aplicadas em baixo vácuo).

É importante salientar que esta água deve ser fresca, com pH neutro, sem partículas abrasivas, e a sua temperatura não deve exceder 30°C, pois quanto maior este valor, maior será a pressão que os vapores exercerão na câmara, diminuindo o espaço destinado ao ar. Portanto, quanto menor a sua temperatura, maior será a eficiência da bomba.

## 3. Elementos de drenagem com vácuo na seção de formação

### 3.1 Caixas de baixo vácuo

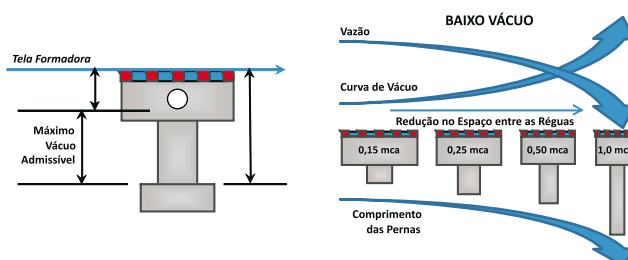
São caixas localizadas no início da seção de formação, geralmente logo após os elementos chamados de “Hidro Foils”, que promovem a drenagem através de vácuo gerado unicamente pela inclinação das lâminas.

As caixas de baixo vácuo podem ser do tipo “Vacuum Foil” e normalmente possuem pernas barométricas, as quais geram vácuo naturalmente, necessitando de uma fonte apenas como auxiliar, geralmente ventiladores que possuem alta vazão e baixo diferencial de pressão. É comum operarem com níveis de vácuo abaixo de 1,0 mca e atuam para controlar a drenagem em folhas com consistências acima de 1,0%.

Estes tipos de caixas podem possuir diferentes características, como mais de uma zona de sucção, lâminas com e/ou sem ângulos, alturas diferentes entre lâminas, entre outros, sempre visando melhorar a eficiência de drenagem ou aumentar a atividade na mesa para melhor formação da folha.

Em máquinas com mais de uma “Vacuum Foil”, os níveis de vácuo devem ser escalonados numa forma crescente, com pernas barométricas de selagem também com alturas de forma crescente, podendo desta forma elevar o valor de consistência da folha a valores próximos a 10%, dependendo de vários fatores, como o tipo de papel, a matéria-prima ou a configuração da mesa de formação.

Abaixo um esquema mostrando o nível máximo de vácuo aplicável em uma caixa de vácuo, e um exemplo de um bom esquema de baixo vácuo mostrando quatro elementos de drenagem com as tendências das curvas de níveis de vácuo, vazões de remoção, tamanhos das pernas barométricas e espaçamento entre régulas:



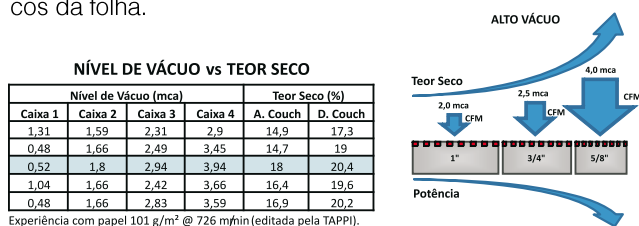
### 3.2 Caixas de sucção

Suas coberturas podem ser de furos cilíndricos ou ranhuras, sendo fabricadas em polietileno de alta densidade ou em cerâmica de várias composições, como óxido de alumínio ou carbetto de silício, dependendo do grau de qualidade desejada.

Para uma operação com melhor eficiência desta seção, sugere-se que o nível de vácuo aumente gradativamente da parte mais úmida para a parte mais seca da mesa plana, da mesma forma que as larguras das ranhuras devem diminuir gradativamente à medida que se avança em direção

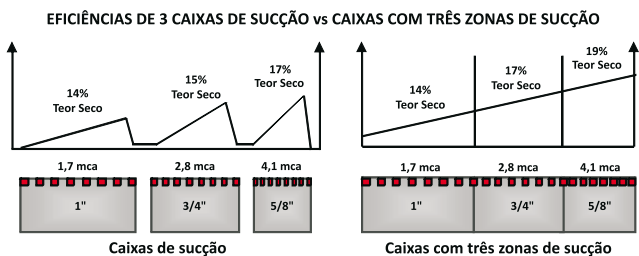
ao final da mesa de formação.

Abaixo uma experiência realizada em caixas de alto vácuo, onde se obtém diferentes teores secos para diferentes curvas de vácuo aplicado, e um esquema com tendências ideais de níveis de vácuo, larguras de fendas e teores secos da folha.



Com o objetivo de melhorar a eficiência de drenagem, estas caixas podem possuir duas ou três zonas de sucção, onde a folha passa de uma zona de vácuo para a próxima sem perder a pressão provocada pela primeira, ganhando desta forma eficiência para um mesmo nível de vácuo aplicado.

Abaixo um exemplo comparando eficiências quanto aos teores secos da folha entre 3 caixas de sucção separadas e uma caixa com 3 zonas de sucção com os mesmos níveis de vácuo aplicados e larguras de fendas.



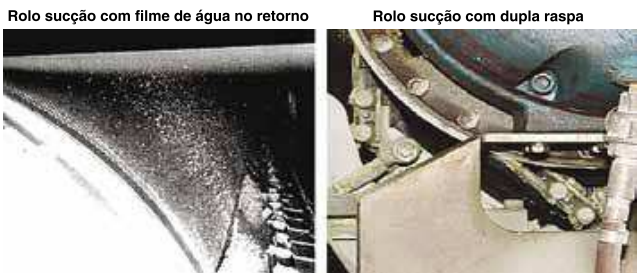
**3.3 Rolo sucção da tela – rolo couch.**

Este elemento é composto por uma camisa metálica perfurada, que pode ser revestida, e uma caixa interna de sucção com uma ou duas zonas de vácuo. A condição ideal é que para este elemento exista uma bomba de vácuo de uso exclusivo, pois, quanto maior o nível de vácuo aplicado, maior será a eficiência do mesmo. Além disso, é o elemento que opera com maiores níveis de vácuo na seção de formação. A vantagem deste elemento é a possibilidade de aplicar altos níveis de vácuo sem provocar desgaste na tela formadora. Por outro lado, este elemento tem como dificuldade principal a perda de energia utilizada para remover o ar e a água (adicionada pelos chuveiros de lubrificação interna e de limpeza) dos orifícios da camisa do rolo, para então começar a remover a água da folha.

Também existe consumo de energia para vencer a força centrífuga, que aumenta à medida que aumenta a velocidade. Outro cuidado que se deve ter é com o reumedecimento da folha, provocado pelo retorno da água para a folha através de um filme que se forma sobre a superfície

do rolo, que pode ser reduzido com a instalação de uma ou duas raspas.

Utilizado em conjunto com o rolo Lumpbreaker (com diâmetro e dureza adequada) pode aumentar consideravelmente a eficiência de drenagem, com ganhos de até 4,0% no teor seco da folha.



**4. Dimensionamento**

Para um bom e correto dimensionamento do sistema de vácuo, deve-se levar em consideração alguns pré-requisitos básicos como:

- Matéria-prima;
- Tipo de papel e gramatura;
- Velocidade e largura da máquina;
- Configuração da máquina.

O dimensionamento das necessidades de vazões e níveis de vácuo dos elementos de drenagem pode ser realizado utilizando-se fatores empíricos, que são vazões por unidade de área onde o vácuo será aplicado.

A capacidade de vácuo instalada deve ser conforme a necessidade, considerando que bons sistemas de vácuo operam com eficiências entre 85 e 90%. É importante não esquecer uma regra: zonas de baixo vácuo devem ser independentes das zonas de alto vácuo, para evitar perdas nas eficiências das bombas.

A TAPPI possui uma norma que orienta o dimensionamento do sistema de vácuo, não é uma regra geral, podendo variar conforme os tipos de papéis, configurações de máquinas e matérias-primas. Os níveis de vácuo recomendados na norma são os valores máximos e para uma melhor eficiência de drenagem deve-se operar com os níveis de vácuo aumentando gradualmente. Abaixo exemplos para os dois casos de dimensionamento de elementos de drenagem quanto aos níveis de vácuo e vazões de ar, utilizando os valores da tabela da TAPPI (TIP 0502-01 – Revisão 2002).

PAPEL DE IMPRIMIR & ESCREVER - até 900 m/min			
Elemento	Nº de Elementos	Fator	Nível de Vácuo
Baixo Vácuo	4	1,5 CFM/in de largura	26" H <sub>2</sub> O
Baixo Vácuo	2	3,5 CFM/in de largura	38" H <sub>2</sub> O
Alto Vácuo	2	4 CFM/in de largura	10" Hg
Alto Vácuo	3	11 CFM/in de largura	10" Hg
Rolo Sucção	1ª zona	3 CFM/in <sup>2</sup> de área	10" Hg
Rolo Sucção	2ª zona	8,5 CFM/in <sup>2</sup> de área	20" Hg

PAPEL KRAFT - até 750 m/min			
Elemento	Nº de Elementos	Fator	Nível de Vácuo
Baixo Vácuo	3	1,5 CFM/in de largura	38" H <sub>2</sub> O
Baixo Vácuo	2	1,5 CFM/in de largura	38" H <sub>2</sub> O
Baixo Vácuo	1	3,5 CFM/in de largura	54" H <sub>2</sub> O
Alto Vácuo	2	22 CFM/in de largura	10" Hg
Alto Vácuo	4	42 CFM/in de largura	15" Hg
Rolo Sucção	1 zona	7 CFM/in <sup>2</sup> de área	20" Hg

## 5. Tubulação do sistema de vácuo

O diâmetro nominal das tomadas das bombas não determina o diâmetro das respectivas tubulações, contudo vale ressaltar que as tubulações nunca poderão ter diâmetro menor que as suas respectivas tomadas.

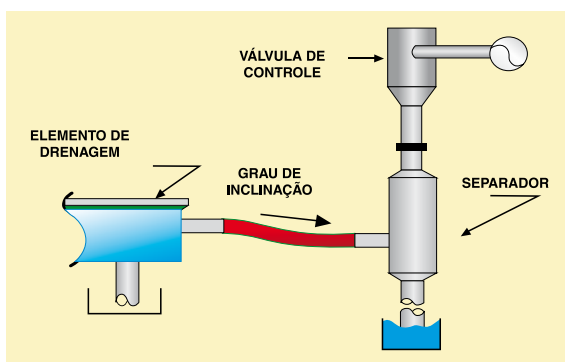
Para dimensionar corretamente as linhas de vácuo, deve-se ter como objetivo minimizar as perdas de cargas entre o elemento de drenagem e a fonte de vácuo. Para isso, deve-se escolher o diâmetro ideal, reduzir as distâncias e reduzir os números de curvas e válvulas (que aumentam a perda de carga quanto maior for o diferencial de pressão que está controlando).

O diâmetro da tubulação depende do fluxo previsto. Deve ser escolhido de modo a estimar velocidade de ar seco em torno de 1670 m/min ou para mistura de ar com água em torno de 910 m/min.

O comprimento da tubulação entre o elemento e o tanque de selagem deve ser no mínimo correspondente ao nível de vácuo dimensionado. Por exemplo: para cada 1mca de vácuo no elemento, é necessário, no mínimo, 1m de desnível até o tanque.

## 6. Separadores

Os separadores são tanques destinados a separar meios líquidos e gasosos através da gravidade. Em sua maioria, são verticais na qual a descarga de água se processa por uma coluna barométrica, mergulhada num tanque de selagem. Um separador se faz necessário quando o volume de água exceder a capacidade que a bomba tem para absorver, quando se planeja recircular a água de selagem em um circuito fechado e quando uma tubulação apresentar uma ascensão, evitando assim acúmulos. Vale mencionar que as caixas de sucção precisam de separadores individuais. Naturalmente, a separação barométrica requer altura (desnível) entre os separadores e o tanque de selagem das colunas.



## 7. Possíveis problemas no sistema

PROBLEMAS	POSSÍVEIS CAUSAS
Bomba não produz vácuo	Bomba de vácuo com rotação invertida
	Baixo fluxo e/ou alta temperatura da água de selagem
	Sucção fechada
	Saída pressurizada
Vácuo insuficiente	Fluxo e/ou temperatura da água de selagem fora dos parâmetros
	Fluxo de água de serviço fora dos parâmetros
	Rotação baixa da bomba
	Entrada de ar falso na bomba (gaxeta)
	Linhas de sucção obstruídas ou com entrada de ar falso
	Problemas no separador
	Dimensionamento incorreto
Motor da bomba de vácuo com alta amperagem	Vácuo acima do recomendado
	Alto fluxo e/ou elevada temperatura da água de selagem
	Saída pressurizada
	Rotação elevada da bomba

## Conclusão:

Devido aos fatores ambientais e econômicos, a cada dia se torna mais importante que os sistemas e equipamentos operem com eficiência máxima quanto ao consumo de energia. Se considerarmos que o sistema de vácuo é um importante consumidor de energia elétrica, e que influencia significativamente no consumo de energia térmica em forma de vapor na seção de secagem, é essencial um sistema operando com o máximo rendimento. Para isso, devem-se ter cuidados especiais desde o projeto, dimensionando o vácuo necessário para otimizar a drenagem e a formação da folha, operar corretamente o sistema aplicando curvas de vácuo apropriadas e manter o sistema todo em boas condições, com programas adequados de manutenção.

## Referências:

TAPPI NOTES - "Wet End Operation Seminar"

Ferre, Agnaldo - "Sistema de Vácuo para Máquina de Papel"

Silva, Wilson - "Sistema de Vácuo na Indústria do Papel"

## Perfil dos autores:

**Cesar de Araujo Góss Filho**, graduado em Engenharia Mecânica pela UFSC, com curso de especialização em Celulose e Papel pelo IPT, Pós Graduação em Marketing pela FURB/INPG. Iniciou as atividades em 1979 na Klabin do Paraná na área de Produção e em 1984 iniciou na PISA, onde participou do start-up da Máquina de Papel. Na Albany iniciou em 1984 como Engenheiro de Serviços na área de Prensagem e atualmente exerce a função de Coordenador de Produtos – Telas Formadoras.

**Gustavo André Leitis** é formado em Engenharia Mecânica pela Universidade Estadual de Santa Catarina (UDESC – Joinville/SC). Iniciou suas atividades em 2004 na Albany International como Trainee e atualmente exerce a função de Engenheiro de Serviços na área de Formação.