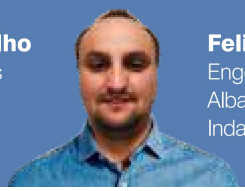
Cesar de A. Goss Filho
Coordenador de Produtos
Albany International
Indaial - SC - Brasil



Felipe Zardo
Engenheiro de Serviços Sênior
Albany International
Indaial - SC - Brasil

O impacto da carga de acionamento no consumo de energia e desgaste da tela formadora na máquina de papel

Introdução

A energia é uma preocupação nas indústrias em geral devido ao elevado impacto no custo de produção. O segmento de papel e celulose é o quarto maior consumidor de energia a nível mundial, representando cerca de 5-6% da energia total utilizada para aplicações industriais.

Na máquina de papel, o custo de energia para a retirada de água na seção de formação é o menor, comparado com as outras seções. Sendo assim, é vantajoso retirar a maior quantidade de água nessa seção para reduzir o custo de produção.

O consumo de energia elétrica, vapor e água são os principais fatores que impactam no custo de produção de uma máquina de papel e celulose, os quais são altamente influenciados pelas vestimentas, que correspondem em média a 2% do custo total.

Na Tabela 1 pode-se observar o custo de energia para a remoção da água de processo nas diferentes seções da máquina de papel.

Seção	Proporção	Custo
Formação	**95-97%**	**~10%**
Prensagem	**2-4%**	**~12%**
Secagem	**1%**	**~78%**

Tabela 1: *Custo de desaguamento por seção.*
Fonte: *Albany International, Seminário de Forming.*

Uma quantidade significativa de energia é utilizada para superar o atrito entre vestimentas e elementos estáticos da máquina de papel. A energia necessária para mover a tela formadora é proporcional aos níveis de vácuo aplicados, ou seja, quanto maior o nível de vácuo, maior é o atrito gerado na superfície das caixas de sucção. Essa energia é desperdiçada, pois não contribui para o processo de fabricação de papel.

O atrito é considerado um dos maiores contribuintes para o consumo ou perda de energia. Em uma máquina de papel, estima-se que 15% a 25% da energia total consumida é necessária para superar o atrito.

Na seção de formação, o atrito entre a tela formadora e os elementos de drenagem pode representar até 80% da carga de acionamento. Na seção de prensagem, aproximadamente 16% da carga de acionamento está relacionada com o atrito entre os feltros e as caixas de sucção.

Cesar de A. Goss Filho
Coordenador de Produtos
Albany International
Indaial - SC - Brasil

Felipe Zardo
Engenheiro de Serviços Sênior
Albany International
Indaial - SC - Brasil

O sistema de acionamento de rolos através de motores elétricos proporciona uma alta carga de potência instalada na máquina de papel. Para ajudar na análise da carga de acionamento, pode ser aplicada uma ferramenta conhecida como Power Survey.

Análise Power Survey

Metodologia da ferramenta Power Survey.

Existem duas maneiras para efetuar uma análise da carga de acionamento de uma máquina de papel. A primeira é a *Normal Running Load (NRL)*, a qual refere-se à carga real em que o sistema está operando. A segunda é a *Transmittability,* a qual refere-se à análise de capacidade de transmissão do sistema.

Nota: manteremos alguns termos na língua inglesa devido às referências e tabelas.

As unidades de potência de acionamento geralmente são calculadas em HP (1 HP = 33000 lb.ft/min) ou em kW (1 kW = 6118,3 kg.m/min). As constantes de potência da máquina de papel geralmente são expressas como:

- Sistema inglês em potência por polegada linear de largura da tela por 100 pés/min de velocidade (hp/in.width/100fpm).

- Sistema métrico em quilowatt por metro linear de largura da tela por 1 m/min de velocidade (kW/m/largura/1m/min).

Esta análise aborda os seguintes conceitos: potência real para acionamento da tela (NRL atual), potência consumida pelos elementos da máquina (NRL teórico) e a transmissibilidade de energia dos rolos para a tela formadora.

Devido ao fato de ter sido desenvolvida para máquinas tipo Fourdrinier, para as quais existem as tabelas de referência para o cálculo teórico, esta ferramenta é aplicável apenas a este tipo de máquina.

Normal Running Load (NRL)

É a carga normal de execução esperada em cada seção da máquina sob condições normais de operação, tais como: vácuo da mesa plana, pressões das prensas, tensão das vestimentas, lubrificação adequada, alinhamento e nivelamento dos rolos, etc.

São considerados dois tipos de NRL: o NRL Atual ou Real e o NRL Teórico.

- *NRL Atual* – É o valor baseado nas medições de potência associados aos rolos de acionamento da seção da máquina. O valor do NRL atual deverá ser maior que o NRL teórico, condição que indica a operação da máquina com baixa carga ou de acordo com a normalidade.

Cesar de A. Goss Filho
Coordenador de Produtos
Albany International
Indaial - SC - Brasil

Felipe Zardo
Engenheiro de Serviços Sênior
Albany International
Indaial - SC - Brasil

A potência elétrica geralmente é expressa em watts (W) ou horse-power (HP), sendo que um HP equivale a 746 W ou 33000 lb.ft/min.

Um watt é potência produzida quando um ampere (A) de corrente flui através de uma diferença de potencial elétrico de um volt (V).

É comum avaliar a potência do motor em HP, mesmo que o W seja a unidade básica de potência elétrica.

A NRL atual é calculada pelo somatório da potência real aplicada pelos rolos acionadores da seção de formação para dar movimento à tela formadora.

$$HP = \frac{V.A}{746}$$

$$kW = \frac{V.A}{1000}$$

Onde:
V = Voltagem (V)
A = Amperagem (A)

Também pode ser calculado dividindo a potência aplicada pela largura e velocidade da tela para obter um valor específico.

$$HP = \frac{V.A}{746} \div Largura\ Tela \div Velocidade\ Tela$$

$$kW = \frac{V.A}{1000} \div Largura\ Tela \div Velocidade\ Tela$$

- *NRL Teórico* – É o cálculo teórico associado aos fatores NRL atribuídos a vários elementos da máquina, baseado numa tabela de valores padrão. Esses valores são as médias de muitas máquinas, os quais resultaram de estudos práticos.

O cálculo do NRL teórico considera todos os elementos da seção de formação, tais como: forming board, rolo cabeceira, réguas foils, caixas de baixo e alto vácuo, rolos guias, rolo acionador e zonas de vácuo do rolo couch.

Para cada componente e tipo de material aplicado são utilizados constantes de potência, conforme Tabela 2.

Cesar de A. Goss Filho
Coordenador de Produtos
Albany International
Indaial - SC - Brasil

Felipe Zardo
Engenheiro de Serviços Sênior
Albany International
Indaial - SC - Brasil

Elementos da Fourdrinier	Tipo de Material	Normal Running Load (NRL) Valores em hp/in/100fpm					
		Celulose	Cartão	Kraft	Imprimir e Escrever	Jornal	Tissue
Forming Board	-	Adicionar 10 a 15% ao NRL calculo para considerar a perda					
Rolo Cabeceira	-	0,00100	0,00100	0,00090	0,00090	0,00080	0,00080 c/ sucção 0,00170
Réguas Foils (cada)	Macio (ex.: polietileno)	0,00051	0,00048	0,00046	0,00043	0,00043	0,00042
Réguas foils (cada)	Duro (ex.: cerâmica)	0,00046	0,00044	0,00042	0,00039	0,00039	0,00039
Réguas Foils com Vácuo (cada)	Macio (ex.: polietileno)	0,00066	0,00058	0,00052	0,00047	0,00046	0,00045
Réguas Foils com Vácuo (cada)	Duro (ex.: cerâmica)	0,00060	0,00055	0,00048	0,00043	0,00043	0,00042
Caixa de Sucção (cada)	Cálculo da perda é HP= 0,0015μ_e x W x V, onde W é a largura da caixa (in) e V é o nível de vácuo da caixa (in Hg)						
	Valores experimentais para coeficiente de atrito efetivo -μ_e						
	Polietileno	0,150 a 0,180 (média típica = 0,165)					
	Cerâmica	0,120 a 0,140 (média típica = 0,125)					
Rolos Guia (cada)	-	0,00060	0,00050	0,00050	0,00050	0,00050	0,00040
Rolo Acionador	-	0,00100	0,00100	0,00100	0,00100	0,00100	0,00090
Rolo Couch	-	Cálculo da perda é HP= 0,00120 + (0,00005 x nível de vácuo de cada zona do couch)					

Tabela 2: *Constantes de potência dos elementos da Fourdrinier com tela formadora sintética.*
Fonte: *adaptado de Robert P. Derrick, Drive power requirements for Fourdrinier type formers (Tabela 4, p. 462).*

Os dados da Tabela 2 são para máquinas com velocidade até 2000 fpm (610 m/min). Em maiores velocidades é possível aumentar os requisitos de acionamento e deve-se considerar o incremento dos valores de NRL e RDC. Neste caso é necessário utilizar um fator de carga devido à velocidade, conforme Tabela 3.

Velocidade da Máquina		Fator de Carga	
fpm	m/min	Faixa	Média
< 2000	< 610	1,00 a 1,05	1,025
< 2500	< 760	1,10 a 1,15	1,125
< 3000	< 915	1,15 a 1,20	1,175
< 3500	< 1070	1,20 a 1,25	1,225

Tabela 3: *Fator de carga devido à velocidade.*
Fonte: *adaptado de Robert P. Derrick, Drive power requirements for Fourdrinier type formers (p. 462).*

Recomended Drive Capacity (RDC)

É a capacidade recomendada de acionamento, a qual representa a energia estimada necessária para uma seção específica da máquina quando operada com a máxima carga prevista. Essa condição de carga máxima geralmente é resultado de elevado nível de vácuo nas caixas de sucção, alta carga ou pressão das prensas, excesso de água nos secadores, desalinhamento de rolos, entre outras condições anormais.

A diferença entre a RDC e NRL representa a margem de segurança operacional acima do NRL, porém não prevê características de partida elevadas e nem condições incomuns de funcionamento, as quais podem ser específicas de cada seção ou da máquina.

Cesar de A. Goss Filho
Coordenador de Produtos
Albany International
Indaial - SC - Brasil

Felipe Zardo
Engenheiro de Serviços Sênior
Albany International
Indaial - SC - Brasil

A maioria das referências foram desenvolvidas de acordo com o tipo de papel e velocidade em máquinas Fourdrinier com no mínimo 2,28 m de largura, conforme informações da Tabela 4.

Papel	NRL	RDC	Observações		
			Soma da largura caixas de sucção - máximo (in)	Vácuo c.x. úmida (in Hg)	Vácuo c.x. seca (in Hg)
Imprimir e Escrever	0.100	0.115	120	2	4
Kraft < 100 g/m2	0.120	0.138	100	4	7
Kraft > 100gm2	0.150	0.173	120		
Cartão	0.150	0.173	100	5	
	0.180	0,207	120		
	0.200	0.230	150		

Tabela 4: *Constantes de potência para máquinas Fourdrinier com largura mínima de 2,28 m.*
Fonte: *adaptado da TAPPI, TIS 0406-05-Power Requirements of Fourdrinier Machines (1963).*

Transmittability

É a capacidade de transmissão de potência dos rolos para a tela formadora. A transmissibilidade é afetada pelos seguintes fatores: grau de abraçamento da tela formadora nos rolos de acionamento, tensão da tela formadora, coeficiente de atrito entre o rolo e a tela, vácuo aplicado no rolo (exemplo: couch), dureza dos rolos e pressão de *nip* (exemplo: rolo lumpbreaker).

A potência máxima de transmissão calculada deve exceder a carga normal de funcionamento atual da seção da máquina. É recomendável que a capacidade máxima de transmissão de energia seja de pelo menos 1,20 a 1,30 vezes o NRL atual.

Para cada rolo de acionamento (couch, acionadores) e tipo de material aplicado são utilizados coeficientes de atrito (μ), conforme Tabela 5.

Material do rolo	Tela sintética
Bronze / Aço inoxidável	0,190
Fibra de vidro	0,240
Borracha	
0 P&J	0,240
2 P&J	0,250
4 P&J	0,260
6 P&J	0,270
8 P&J	0,285
10 P&J	0,300
12 P&J	0,320
14 P&J	0,345
16 P&J	0,370
18 P&J	0,405

Tabela 5: *Coeficiente de atrito*
Fonte: *Albany International, Power Survey-Calculations example tables.*

Cesar de A. Goss Filho
Coordenador de Produtos
Albany International
Indaial - SC - Brasil

Felipe Zardo
Engenheiro de Serviços Sênior
Albany International
Indaial - SC - Brasil

a)Transmittability – Abraçamento *(Wrap)*: é a quantidade de energia que pode ser transmitida pelo rolo couch e pelos rolos acionadores devido ao abraçamento da tela formadora em torno do mesmo.

$$HP\ Wrap = \frac{T_s \cdot W \cdot S \cdot ((e^{\mu a}) - 1)}{33000}$$

$$kW\ Wrap = \frac{T_s \cdot W \cdot S \cdot ((e^{\mu a}) - 1)}{6118,3}$$

Onde:

T_S = Tensão da tela (lb/in ou kg/m)
e = Base de log natural (2.718)
α = Ângulo de abraçamento (radianos – 1 radiano = 360°/2π = 57,3°)
W = Largura da tela (in ou m)
S = Velocidade da tela (fpm ou m/min)
μ = Coeficiente de atrito (para o tipo de superfície do rolo e tipo de tela)

b) *Transmittability* – Vácuo *(Vacuum)*: é a quantidade energia que pode ser transmitida pelo rolo couch devido as zonas de vácuo do rolo.

$$HP\ Vacuum = \frac{0,4912 \cdot \mu \cdot V \cdot W_2 \cdot W \cdot S}{33000}$$

$$kW\ Vacuum = \frac{10^{-3} \cdot \mu \cdot V \cdot W_2 \cdot W \cdot S}{6118,3}$$

Onde:

W_2 = Largura da caixa de vácuo (in ou mm)
V = Nível da zona de vácuo (in Hg ou mm H_2O)
W = Largura da tela (in ou m)
S = Velocidade da tela (fpm ou m/min)
μ = Coeficiente de atrito (para o tipo de superfície do rolo e tipo de tela)
0,4912 = constante de conversão de inHg para psi

c)Transmittability – Pressão do rolo (Nip): é a quantidade de energia adicional que pode ser transmitida devido à carga do rolo de pressão. Exemplo: Rolo lumpbreaker sobre o rolo couch.

$$HP\ Nip = \frac{\mu \cdot P_N \cdot W \cdot S}{33000}$$

$$kW\ Nip = \frac{\mu \cdot P_N \cdot W \cdot S}{6118,3}$$

Cesar de A. Goss Filho
Coordenador de Produtos
Albany International
Indaial - SC - Brasil

Felipe Zardo
Engenheiro de Serviços Sênior
Albany International
Indaial - SC - Brasil

Onde:

μ = Coeficiente de atrito (rolo acionado onde o deslizamento está sendo investigado)
P_N = Pressão do rolo (lb/in ou kgf/m)
W = Largura da tela (in ou m)
S = Velocidade da tela (fpm ou m/min)

Nota: Nas fórmulas de cálculo da transmissibilidade, pode-se considerar como constante da máquina K_M = W.S, onde W é a largura (in ou m) e S é a velocidade (100 ft/min ou m/min).

A transmissibilidade total é o somatório de energia de abraçamento, vácuo e pressão de nip dos rolos de acionamento.

$$HP = Wrap + Vacuum + Nip$$

Conclusão

A ferramenta Power Survey é utilizada para comparar a condição atual da seção da máquina versus a teórica, analisando a potência real para acionamento da tela (NRL atual), a potência consumida pelos elementos da máquina (NRL teórico) e a transmissibilidade de energia dos rolos para a tela formadora.

Para realizar os cálculos teóricos do NRL e transmissibilidade da seção de formação da máquina de papel é necessário levantar diversas informações, tais como voltagem e amperagem dos motores, largura/velocidade e tensão da tela, ângulo de abraçamento dos rolos de acionamento, largura e níveis de vácuo das caixas de sucção, entre outras.

Também deve-se considerar o tipo de revestimento, dureza e material utilizado nos rolos e cobertura das caixas de sucção para verificar o coeficiente de atrito.

Por meio dessa análise é possível determinar se a máquina opera com baixa ou alta carga e auxiliar na identificação de problemas de estabilidade e desgaste prematuro da tela formadora devido a ocorrência de “micropatinamento” dos rolos de acionamento com a tela.

Para garantir que a máquina opere de acordo com a normalidade, o NRL atual deverá ser maior que o NRL teórico e a transmissibilidade dos rolos de acionamento deve exceder a potência real máxima aplicada.

Também é possível comparar a condição atual com as referências padrão de NRL e RDC para cada tipo de papel e velocidade em máquinas Fourdrinier, para saber se a seção estudada está operando dentro dos padrões normais.

Cesar de A. Goss Filho
Coordenador de Produtos
Albany International
Indaial - SC - Brasil

Felipe Zardo
Engenheiro de Serviços Sênior
Albany International
Indaial - SC - Brasil

Referências bibliográficas

Albany International. Appleton wire division. Power Survey-Calculations example tables.

Dave Nalbach; Kevin Doyle. Forming section Power Survey. Albany International. 2014.

Mikael Danielsson. Paper machine clothing (forming and press) as key contributor for energy saving in paper machine part II - structural and tribology effects on energy efficiency in forming fabrics. 8thCTP/PTS Symposium on packaging design and recycling. Grenoble, March 25-26, 2014.

Peter Slater. Paper machine clothing as a key contributor for energy savings in paper and board machines. World Pulp&Paper. p. 62-66.

Robert P. Derrick. Drive power requirements for Fourdrinier type formers. Initial Report CA 4448. Simons Eastern Company. Atlanta-Geórgia. p. 465-468.

Robert P. Derrick. A method for calculating the power transmitting ability of Fourdrinier rolls. Simons Eastern Company. Atlanta-Georgia. p. 403-407.

TAPPI. TIS-0406-Power requirements of Fourdrinier machines. Issued 1963.

Perfil do autor:

Cesar de Araujo Goss 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.

Felipe Zardo é Engenheiro de Produção Mecânica pela UNOESC-Joaçaba/SC, Pós-graduado em Tecnologia de Celulose e Papel pela UFV/MG e possui MBA em Gerenciamento de Projetos pela FGV-Chapecó/SC. Iniciou suas atividades no ramo de papel em 2008 na empresa Celulose Irani-Vargem Bonita/SC como Estagiário, passando posteriormente pelas funções de Analista de Processo (2009), Assistente de Produção de Papel (2010) e Engenheiro de Produção (2011). Ingressou na Albany International em 2017 como Engenheiro de Serviços Sênior, atuando na área de Forming, função exercida atualmente.

Órgão Informativo de Albany International Brasil - Novembro de 2021 - Albany International Tecidos Técnicos Ltda. - www.albint.com - Rua Colorado, 350 CEP 89085-148 - Indaial - Santa Catarina - Brasil - Telefone: (47) 3333-7500 - E-mail: indmomento_tecnico@albint.com

Expediente:
Editores: Célio Rodrigues, Elaine Cristina Henkels, Jackson Roberto da Gama Corrêa e Rafael Sucharski - Diagramação: João Misturi Revisão: Diogo F. Biehl. A redação não se responsabiliza pelos conceitos emitidos em artigos assinados. É proibida a reprodução total ou parcial de textos, fotos e ilustrações, por qualquer meio, sem autorização.