

Mais rápidas, mais largas, melhores – progresso em máquinas de papel nos últimos 100 anos

Faster, wider, better – progress in paper machinery in the last 100 years

Baseado em trabalho apresentado na Conferência da XXI TECHNICELPA, outubro de 2010, Lisboa, Portugal
Based on a paper given at the XXI TECHNICELPA Conference, October 2010, Lisbon, Portugal

Autor / Author: Dipl.-Ing. Herbert Holik, Ravensburg, Germany

Palavras-chave: história, largura, inovações, máquinas de papel, velocidade

RESUMO

Um paradigma em máquinas de papel nos últimos 100 anos foi “mais rápidas, mais largas, melhores”. Para atingir os objetivos desse lema foi necessária a realização de muitos desenvolvimentos. O artigo descreve alguns dos desafios que tiveram de ser enfrentados, e quais problemas precisaram ser resolvidos para finalmente atingir o padrão da técnica atual. Principiando pela caixa de entrada, são abordadas as principais inovações em todas as seções da máquina de papel. Três desenvolvimentos menos bem-sucedidos são apresentados como exemplos para outros. O progresso em termos de controle da qualidade é igualmente mencionado. Por fim, serão feitas algumas observações sobre máquinas de papel no futuro.

INTRODUÇÃO

Os últimos 100 anos apresentaram tremendo progresso da técnica e tecnologia de fabricação de papel para realizar objetivos de economia, qualidade e meio ambiente. Em trabalho anterior [1] foi descrita a influência dos ciclos de Kondratieff na indústria papelreira. A ênfase principal daquele artigo foi posta nas matérias-primas (fibras virgens e recicladas), na preparação de massa (máquinas e sistemas) e na tecnologia papelreira (projeto e receita), bem como no meio ambiente e recursos (consumo de energia e água). Este segundo artigo descreve o progresso feito em máquinas de papel nos últimos 100 anos. Alguns dos melhoramentos econômicos na operação da máquina de papel foram, por exemplo: Desenhos de máquinas especiais para diferentes tipos de papel - atribuindo um tipo

Keywords: history, innovations, paper machines, speed, width

ABSTRACT

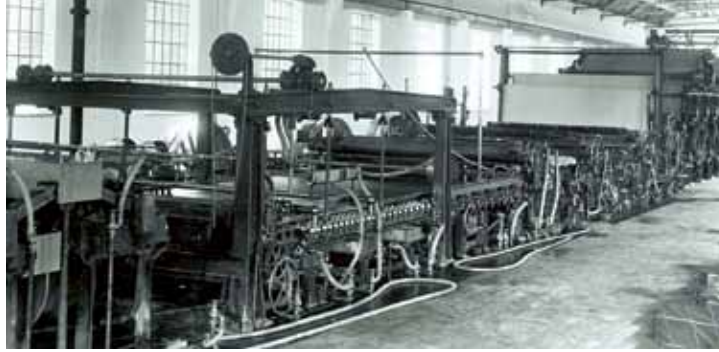
One paradigm in paper machinery in the last 100 years was “faster, wider, better”. In order to reach the goals of this motto a lot of developments in this field had to be accomplished. The paper describes some of the challenges which had to be tackled, and which problems had to be solved to finally reach today’s state-of-the-art. Starting with the headbox, the main innovations in all paper machine sections are gone through. Three less successful developments are shown as examples for others. The progress in quality control is mentioned as well. Finally a few remarks about future paper machines will be made.

INTRODUCTION

The last 100 years showed a tremendous progress in paper making technique and technology to meet the goals of economy, quality and environment. In a previous paper [1] the influence of Kondratieff cycles on the paper industry was described. Main focus in that article was put on raw materials (virgin and recycled fibres), stock preparation (machines and systems) and paper technology (design and recipe) as well as on environment and resources (energy and water consumption). This second paper describes the progress made in the last 100 years in paper machinery. Some of the economic improvements in paper machine operation were for instance: Special machine designs for different pa-

1905

300 m/min largura 3 m
300 m/min width 3 m



Mais rápida / Faster

Mais larga / Wider

Melhor / Better

Atualmente / Today

2000 m/min largura = 10 m / 2000 m/min width = 10 m

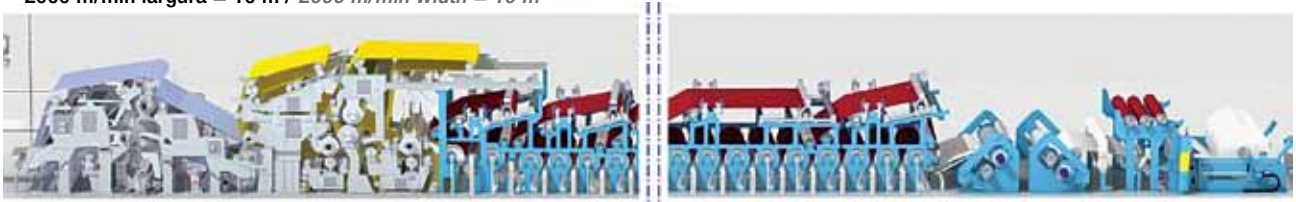


Figura 1. Duas máquinas de papel modernas para produção de papel-jornal – cada qual em sua época (Fonte: Voith)

Figure 1. Two modern paper machines for newsprint production - each at its time (Source: Voith)

de papel a uma máquina especial (produção de produto único) - para melhor otimizar as oportunidades, menos trocas de produtos e, portanto, menos refugo, bem como a integração de revestimento e calandragem em máquinas de alta velocidade.

Para máquinas de papel o lema essencial era mais rápidas, mais largas, melhores, esse último termo significando também maior eficiência e qualidade. A velocidade da máquina foi aumentada tremendamente, e algumas máquinas operam atualmente com velocidades superiores a 2000 m/min. A largura da máquina foi igualmente ampliada, as máquinas mais largas atingindo agora cerca de 12 m. Tudo isso foi possibilitado pelo progresso feito, por exemplo, em tecnologia papeleira, desenho da máquina, controle, vestimenta da máquina e ciências básicas. A Figura 1 oferece um exemplo da marcante mudança no desenho de uma máquina de papel nos últimos 100 anos.

De início serão vistos rapidamente o aumento da velocidade e da largura da máquina nos últimos 100 anos, e mencionados os principais desafios envolvidos. Nos próximos capítulos serão relatados exemplos de importantes desenvolvimentos e inovações nas diferentes seções da máquina de papel que deram sustentação ao lema “mais rápidas, mais largas, melhores”. Constituíram condições limites decisivas a gramatura decrescente para muitos tipos de papel, a substituição de fibras virgens por fibras secundárias em muitos casos, e o aumento do teor de carga mineral

per grades in each case, assigning one paper grade to one special machine (one-grade-production) for better optimizing opportunities, less grade changes and, thus, less broke, as well as the integration of coating and calendering also into fast running paper machines.

For paper machines an essential motto was faster, wider, better, the latter meaning also higher efficiency and quality. The machine speed was tremendously increased, some machines today operate at speeds above 2000 m/min. The machine width was enlarged as well, the widest machines now being around 12 m. All this was rendered possible by progress in e.g. paper technology, machine design, control, machine clothing and basic sciences. Figure 1 gives an example of the marked change in the design of a paper machine in the last 100 years.

First a short look on the increase of machine speed and width in the last 100 years will be given, as well as main challenges involved mentioned. In the following chapters, examples for important developments and innovations in the different sections of a paper machine are reported which backed up the motto: “faster, wider, better”. Decisive boundary conditions were the decreasing basis weight for many grades, the replacement of virgin fibres by secondary fibres in

na folha, do que resulta, principalmente, menor resistência do papel. Por outro lado são requeridas alta eficiência da máquina e qualidade uniforme da folha nos sentidos transversal e longitudinal, e que devem ser asseguradas. Assim, controle eficaz da qualidade é sumamente importante. Serão dados alguns exemplos.

AUMENTO DA VELOCIDADE E DA LARGURA DA MÁQUINA

Velocidade da máquina

A Figura 2 mostra o aumento da velocidade máxima da máquina durante os últimos 100 anos, em forma de curva envolvente (máquinas tissue não incluídas). Velocidades máximas da máquina dependem do tipo de papel, conforme indica a Tabela 1. Atualmente a velocidade mais alta, além do tissue, é na produção de papel-jornal, com 2014 m/min. Alguns dos desafios de máquinas de alta velocidade são a condução segura da folha, a estabilidade do fluxo da suspensão fibrosa e a frequência (vibração) natural dos componentes da máquina. Mais rápido também significa que todas as etapas do processo, tais como desaguamento, secagem, calandragem ou colagem e revestimento, devem ser realizadas em tempo extremamente curto. Caso contrário, por exemplo, o comprimento das seções, cresceria proporcionalmente à velocidade. Da mesma forma, certos princípios técnicos adotados a baixas velocidades já não eram mais aplicáveis.

many cases and the increased filler content of the sheet, mostly resulting in lower web strength. On the other hand a high machine efficiency and uniform quality of the paper web in CD and MD are required and have to be ensured. So, effective quality control is highly important. Some examples will be given.

INCREASE IN MACHINE SPEED AND WIDTH

Machine speed

Figure 2 shows the increase in maximum machine speed during the last 100 years as an envelope curve (tissue machines not included). Maximum machine speeds depend on the paper grade as Table 1 indicates. The highest speed today, besides tissue, is in newsprint production, with 2014 m/min. Some of the challenges of high machine speeds are safe paper web guiding, suspension flow stability, and the natural frequency of machine parts. Faster means also that all process steps such as dewatering, drying, calendering or sizing and coating had to be accomplished within a dramatically reduced time. Otherwise, e.g. the length of the sections would grow proportionally with speed. Also, certain technical principles used at lower speeds were no longer applicable.

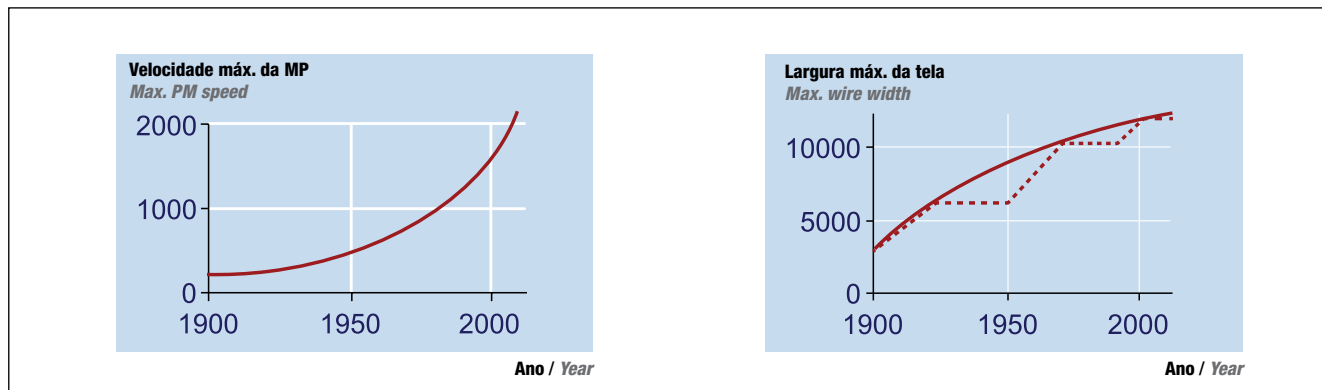


Figura 2. Aumento da velocidade máxima e da largura da máquina durante os últimos 100 anos, máquinas tissue não incluídas (Fonte: Voith)
Figure 2. Increase of maximum machine speed and width over the last 100 years, tissue machines not included (Source: Voith)

Tabela 1. Atuais velocidades máximas aproximadas da máquina para diferentes tipos de papel

Table 1. Today's approx. top paper machine speeds for different paper grades

Tipo de papel	Velocidade máxima aprox. (m/min)
Tissue	2100
Papel-jornal	2000
Papel supercalandrado	1900
LWC	1900
Revestido, sem pasta mecânica	1750
Não-revestido, sem pasta mecânica	1700
Miolo ondulado	1600
Testliner	1400
Cartão	950

Largura da máquina

O aumento da largura da máquina durante os últimos 100 anos está igualmente representado na Figura 2. Ela apresenta duas curvas envolventes, uma total e uma de ordem secundária. A última indica três etapas para as máquinas mais largas de sua época, da ordem de cerca de 6m, de cerca de 10m e, atualmente, de 12m. Durante esses períodos nem todas as máquinas novas possuíam as larguras máximas. Por ex., durante o período de 1920 a 1950 somente uma minoria de cerca de meia dúzia de máquinas novas ou reformadas tinha 6 m de largura, a grande maioria estando na faixa de 2m a 4m.

Os desafios de máquinas largas são, por exemplo, a uniformidade do produto de papel no sentido transversal, o dimensionamento das peças da máquina (já que a deflexão aumenta com a largura na razão de expoente 3, a deflexão é 8 vezes maior quando a largura da máquina dobra), na fabricação: por exemplo, fundição de cilindros secadores, tecelagem de telas e feltros com alta uniformidade, e no manuseio das grandes e pesadas peças da máquina (por exemplo, capacidade da ponte rolante) na operação diária e manutenção.

DESENVOLVIMENTOS E PROGRESSO NA MÁQUINA DE PAPEL

Caixa de entrada

Distribuição:

Cabe à caixa de entrada distribuir o fluxo da suspensão fibrosa em toda a largura da máquina de papel e produzir jato da suspensão com alta uniformidade na seção da tela a velocidade aproximadamente igual à da máquina. Com isso, a seção transversal do fluxo da suspensão tem de ser mudada de circular (por exemplo, 1,3 m de diâmetro do tubo distribuidor) para uma lâmina de, por exemplo, 10 m de largura e uma abertura de menos de 10 mm na saída do lábio. Desvios aceitáveis na distribuição da massa no sentido transversal da máquina são da ordem de 1%.

Essas severas exigências já não podiam ser atendidas pelos meios de distribuição anteriores quando a largura e a velocidade da máquina aumentaram (Figura 3).

- Difusor plano: Seu comprimento deveria ser proporcional à largura da máquina. Quando é usado ângulo difusor superior ao admissível (que é somente de uns poucos graus!) ocorrem instabilidades de fluxo. Isto aconteceria apesar de que poderia ser usada certa aceleração do fluxo para sua estabilização.
- Difusor dobrado: O comprimento pôde ser reduzido, uma vez que a perda de pressão em função do desenho dobrado ajuda a distribuir, mas instabilidades de fluxo não podem ser evitadas.
- Distribuidor transversal de contracorrente: O fluxo da suspensão não está claramente definido, acontecem instabilidades do fluxo.
- Tubulação ramificada: Novamente, o fluxo não está claramente definido, acontecem instabilidades de fluxo.

Machine width

The increase of machine width during the last 100 years is indicated in Figure 2 as well. It shows two envelope curves, an overall one and one of secondary order. The latter indicates three steps for the widest machines of their time, at levels of about 6 m, at about 10 m and nowadays at 12m. Not all new machines during these periods showed the top widths. E. g. during the period between 1920 and 1950 only a minority of about half a dozen new or rebuilt machines reported were 6 m wide, the large majority was in the range of 2 m to 4 m.

The challenges of wide machines are, for instance, the uniformity of the paper product in cross machine direction, the dimensioning of the machine parts (as deflection increases with width by an exponent of 3, deflection is 8 times larger when machine width doubles), in manufacturing: e.g. drying cylinder casting, wires and felts weaving with high uniformity, and in handling of the heavy and large machine parts (e.g. crane capacity) in daily operation and service.

DEVELOPMENTS AND PROGRESS IN THE PAPER MACHINE

Headbox

Distribution:

The headbox has to distribute the suspension flow across the width of the paper machine and supply a suspension jet of high uniformity to the wire section at about machine speed. Thereby, the cross section of the suspension flow has to be changed from circular (for instance, 1.3 m diameter of the approaching pipe) to a slice of e. g. 10 m width and an opening of less than 10 mm at the headbox exit. Acceptable deviations in suspension mass distribution across machine width are in the order of magnitude of 1%.

These demanding requirements could not be met by the former distribution means, when machine width and speed increased (Figure 3):

- *Plain diffuser: Its length should be proportional to the machine width. When using more than the admissible diffuser angle (which is only a few degrees!) flow instabilities occur. This would happen in spite of the fact that a certain acceleration of the flow can be used to stabilize the flow.*
- *Folded diffuser: The length could be decreased as the pressure loss due to the folded design helps to distribute, but flow instabilities can not be avoided.*
- *Cross counter-current distributor: The suspension flow is not clearly defined, flow instabilities occur.*
- *Branched piping: Again, the flow is not clearly defined, so flow instabilities occur as well.*

Objetivo: Mudança do fluxo da suspensão para sentido transversal / Task: Change in cross section of suspension flow



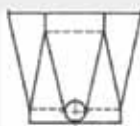
Tubo de aproximação do fluxo
Approach flow pipe

>1000 mm de diâmetro
>1000 mm diameter

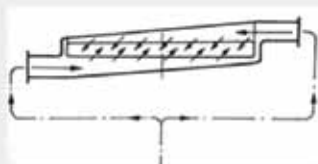
Lábio da caixa de entrada / Headbox slice

<10 mm de abertura, >10 m de largura
<10 mm opening, >10 m wide

Difusor dobrado
Folded diffusor



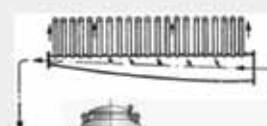
Distribuidor de contracorrente
Counter-current distributor



Tubulações ramificadas
Branched pipings



Tubo distribuidor
Manifold distributor



Tanque distribuidor
Distributor tank



Figura 3. Meios para distribuição da suspensão no sentido transversal da máquina

Figure 3. Means for suspension distribution across machine width

São meios de distribuição modernos:

- Distribuidor tubular: Este conceito obedece às mais importantes regras da dinâmica de fluidos. A suspensão é passada através de um tubo distribuidor “cônico” situado na parte traseira da caixa de entrada que mantém velocidade aproximadamente constante, e aproxima-se do banco de tubos com ângulo (aproximadamente) constante. O banco é dotado de grande número de pequenos tubos. Assim é produzido grande número de fluxos idênticos, que são reunificados após o banco para formar uma corrente única e uniforme no tubo e em sua saída.
- Tanque distribuidor: Este distribuidor é um tanque com um grande número de tubos que alimentam a suspensão à caixa de entrada, podendo ser considerado como uma versão especial do distribuidor tubular.

Formação do jato da suspensão:

A Figura 4 mostra o desenvolvimento do desenho da caixa de entrada.

- Em tempos mais remotos a suspensão era alimentada à (estreita) tela formadora através do poço do lábio da caixa de entrada por um distribuidor difusor e, por exemplo, uma sequência de três barras para equalizar o fluxo da suspensão sobre a largura da tela. Para velocidade da máquina de 100 m/min era necessária pressão de 0,14 m de coluna d'água (ca) antes do lábio. Nessa época o conhecimento sobre a influência da relação das velocidades jato/tela era limitado.
- Desde 1911 estava disponível a chamada caixa de entrada de alta pressão, operando ainda sob pressão atmosférica, com altura da suspensão na caixa de en-

Modern distribution means are:

- *Manifold distributor: This concept follows most important fluid dynamic rules. The suspension is passed through a “conical” distributor pipe on the backside of the headbox at about constant velocity and approaches a block under a (nearly) constant angle. The block has a large number of small pipes. Thus, a large number of identical streams are produced, which are reunited after the block to form a single, uniform stream in the nozzle and at its exit.*
- *Distributor tank: This distributor is a tank with a large number of pipes feeding the suspension to the headbox, and can be regarded as a special version of the manifold distributor.*

Forming of the suspension jet:

In Figure 4 the development of the headbox design is shown.

- *In earlier times, the suspension was supplied to the (narrow) forming wire through the pond slice headbox with a diffusor distributor and, e.g., three bars in sequence equalizing the suspension flow across width. For a machine speed of 100 m/min it needed a pressure of 0.14 m water column (wc) ahead of the slice. The knowledge about the influence of jet-wire speed ratio was limited at that time.*
- *Since 1911 the so called high pressure headbox was available, still working under atmospheric pressure, the height of the suspension in the open headbox*

trada aberta de cerca de 1250 mm para uma velocidade do jato de 300 m/min. Como desvantagem, o nível da suspensão aberta e a elevada vazão geravam redemoinhos no lábio (conforme constatado na saída do poço).

- A caixa de entrada com colchão de ar e equipada com rolos distribuidores começou a progredir na década de 50, permitindo aumento adicional da velocidade da máquina. Ela se baseou em patentes anteriores de princípios úteis, tais como rolos distribuidores (1909), caixa de entrada fechada pressurizada por bomba (1912), e um tipo especial de caixa de entrada dotada de colchão de ar (1936). As dimensões de tal caixa de entrada eram às vezes enormes: para uma vazão de 450 m³/min a caixa de entrada tinha comprimento de 10 m (1960).
- Caixa de entrada hidráulica: este tipo de caixa de entrada é também chamado de caixa de entrada de alta turbulência, sendo mais adequada às altas velocidades das máquinas atuais. As primeiras tentativas foram feitas na década de 60, com sua afirmação na de 70. Desde essa época pôde ser observada certa convergência quanto a conceitos de desenho da caixa de entrada pelos vários fornecedores. Ela apresenta um tubo distribuidor cônico, um banco distribuidor tubular na maioria das vezes equipado com difusores escalonados (desde 1973) e, em muitos casos, o bocal de saída equipado com foils. A pressão necessária para 2000 m/min é cerca de 55 m ca (5,5 bar). Como este tipo de caixa de entrada usualmente não possui colchão de ar, em certos casos passa a ser necessário um amortecedor de pulsações.
- Desde os anos 80, foram desenvolvidas caixas de entrada multicamadas para instalação em máquinas de papel tissue, papel para cópias, e certos papéis de embalagem na década de 90. Essas caixas de entrada consistem de duas ou três caixas de entrada, cada qual controlável separadamente, combinadas num equipamento único.

being about 1250 mm for a jet velocity of 300 m/min. As a disadvantage, the free suspension level and a high throughput provoke eddies at the nozzle (as found at the bath tube exit).

- The air padded headbox with evener rolls started to make its way in the 1950s and allowed further increase in machine speed. It was basing on earlier patents of useful principles such as evener rolls (1909), closed headbox pressurized by a pump (1912), and a special kind of air padded headbox (1936). The dimensions of such a headbox were sometimes enormous: For a throughput of 450 m³/min the headbox was 10 m long (1960).
- Hydraulic headbox: This type of headbox is also called high turbulence headbox and is best suited for today's high machine speeds. First attempts were made in the 1960s, the breakthrough was in the 1970s. Since that time a certain convergence as regards the headbox design concepts of the different suppliers could be observed. It shows a conical distributor pipe, a manifold distributor block mostly equipped with step diffusers (since 1973) and the nozzle equipped with foils in many cases. The required pressure for 2000 m/min is about 55 m wc (5,5 bar). As this type of headbox usually has no air pad a pulsation damper is required in certain cases.
- Since the 1980s multilayer headboxes were developed to be installed in machines for tissue, copy paper and packaging grades production in the 1990s. These headboxes consist of two or three headboxes, each independently controllable, which are combined to one overall unit.

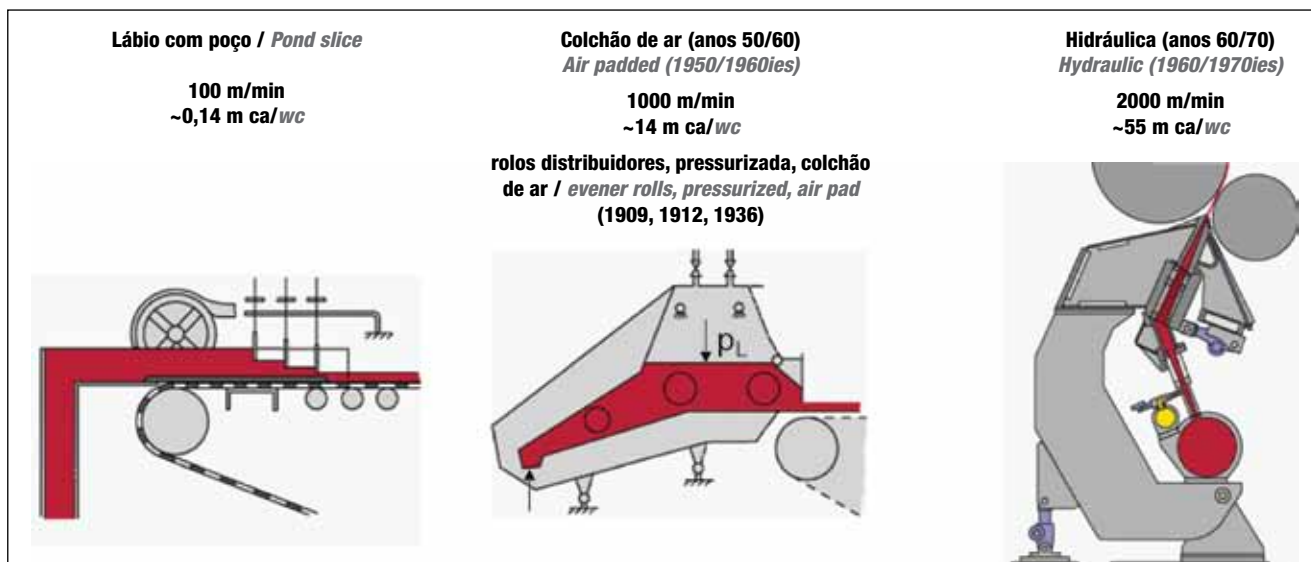


Figura 4. Desenvolvimento do desenho de caixas de entrada (Fonte: Voith) / Figure 4. Development in headbox design (Source: Voith)

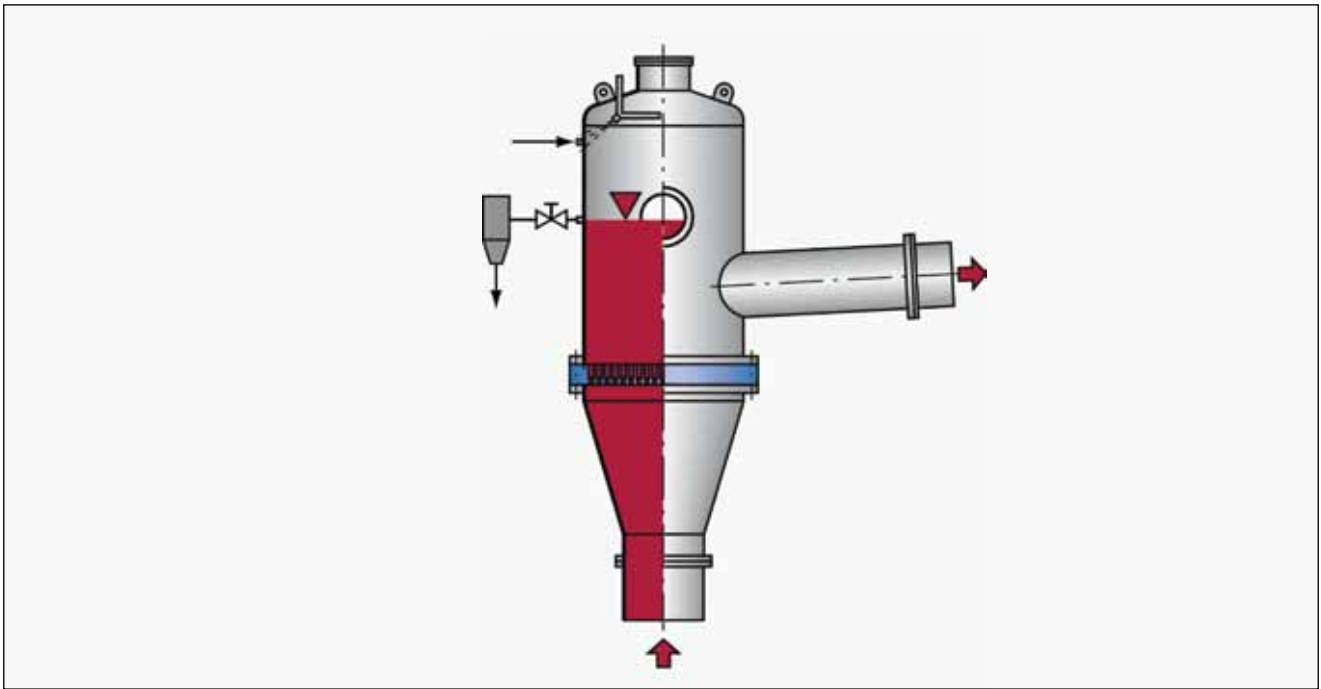


Figura 5. Exemplo de amortecedor de pulsações passivo funcionando segundo o princípio de reflexão e absorção (Fonte: Voith)
Figure 5. Example of a passive pulsation damper working after reflection and absorption principle (Source: Voith)

Pulsações na caixa de entrada causam variações na velocidade do jato ao longo do tempo, e portanto desvios de gramatura no sentido longitudinal da máquina(MD). Essas pulsações são principalmente causadas pela bomba de mistura ou por turbulências do fluxo nas tubulações.

- Em tempos mais remotos a suspensão era alimentada a partir de um tanque situado em posição alta, acima da caixa de entrada. Deste modo pulsações da bomba não podiam afetar a caixa de entrada. E mais, caixas de entrada não-pressurizadas têm nível da suspensão livre e um volume de suspensão relativamente grande. Deste modo, pulsações entrantes são eliminadas.
- Ao pressurizar a caixa de entrada para elevar a velocidade do jato, a caixa com colchão de ar ainda podia combater com sucesso variações de pressão provenientes do circuito de aproximação. O princípio era de absorção por amortecimento hidropneumático, com controle adequado do nível da suspensão e da pressão do ar.
- As modernas caixas de entrada hidráulicas não têm normalmente colchão de ar. Em certos casos é necessário um amortecedor de pulsações, que é instalado antes da caixa de entrada. Esse tipo de equipamento é um amortecedor passivo (Figura 5), baseado nos princípios de amortecimento de reflexão e absorção (década de 70). O tanque distribuidor já citado funciona segundo princípio semelhante.
- Recentemente foi desenvolvido e introduzido na indústria algum tipo de amortecedor de pulsações ativo (década de 2000). Aqui frequência e amplitude das pulsações são medidas. São geradas pulsações com

Pulsations in the headbox cause differences in the jet velocity over the time and thus basis weight deviations in machine direction (MD). These pulsations mainly come from the fan pump or from flow turbulences in the pipings.

- *In former days the suspension was fed from a chest which was placed at elevated position above the headbox. So no pump pulsations could get through to the headbox. Furthermore non-pressurized headboxes have a free suspension level and a relatively large suspension volume. So incoming pulsations are eliminated.*
- *When pressurizing the headbox to increase jet velocity, the air padded headbox was still able to successfully fight pressure deviations coming from the approach flow. The principle was absorption by hydro-pneumatical dampening, with adequate control of suspension level and air pressure.*
- *The modern hydraulic headboxes usually have no air pad. In certain cases it needs a pulsation damper which is installed ahead of the headbox. This kind of equipment is a passive damper (Figure 5) using the dampening principles of reflection and absorption (1970s). The above mentioned distributor tank works after a similar principle.*
- *Recently some kind of active pulsation damper has been developed and introduced to the paper industry (2000s). Here frequency and amplitude of pulsations are measured. Pulsations of same frequency*

mesma frequência e amplitude deslocadas por metade do comprimento da onda, extinguindo assim em larga medida as pulsações de entrada.

Controle de gramatura no sentido transversal (CD):

O progresso no controle do perfil transversal de gramatura está mostrado na Figura 6.

- Na caixa de entrada com poço o controle do perfil transversal de gramatura era feito colocando-se uma peça de obstáculo ao fluxo (isto é, um tijolo) dentro do fluxo da caixa de entrada, ou uma régua na abertura da saída do lábio, na posição apropriada.
- Nas gerações de caixas de entrada subsequentes a lâmina do lábio era posicionada com precisão mediante hastes rosqueadas. Deste modo a abertura do lábio podia ser ajustada no ponto desejado. A desvantagem, neste caso, está no fato de o jato saindo da caixa de entrada na posição ajustada não estar exatamente orientado no sentido longitudinal da máquina. Esse desvio é grandemente ampliado na tela. O resultado é uma orientação principal das fibras na folha em ângulo diferente do sentido longitudinal da máquina. Além disso, o impacto sobre o perfil transversal é cerca de 5 vezes mais largo do que a alteração feita na abertura do lábio. Assim, o potencial de controle de um perfil transversal de gramatura deficiente resulta limitado e complicado.
- Diluição local com água branca supera ambas as desvantagens. O efeito sobre a vizinhança da posição controlada é bem pequeno, possibilitando uma melhor sintonização fina do perfil transversal de gramatura. A água branca é adicionada localmente, de tal forma que a quantidade total de suspensão naquela posição é mantida constante. Desta maneira, não ocorre fluxo em sentido transversal no lábio ou no jato.

and amplitude displaced by half a wave length are generated thus extinguishing the incoming pulsations to a large extent.

Cross machine (CD) basis weight control:

The progress in control of CD basis weight profile is shown in Figure 6.

- In the pond slice headbox the control of CD basis weight profile was done by placing a flow resistance piece (i. e. a brick) into the headbox flow or a strip in the exit slice opening at the position needed.
- In the following generations of headboxes the slice bar was finely positioned by either spindles or rods. Thus the slice opening can be locally adjusted. The disadvantage thereby is that the jet exiting from the headbox at the controlled position is not exactly oriented in machine direction. This deviation is strongly magnified on the wire. The result is a main fibre orientation in the web under a certain angle against MD. Furthermore, the impact on the CD profile is about 5 times wider than the local change in slice opening. So control potential for a poor CD basis weight profile is limited and complicated.
- Local dilution with white water overcomes both disadvantages. The effect on the vicinity of the controlled position is pretty small, thus enabling better fine tuning of the CD basis weight profile. The white water is locally added in a way that the total amount of suspension at that position is kept constant. So no cross directional flow occurs in the nozzle or in the jet.

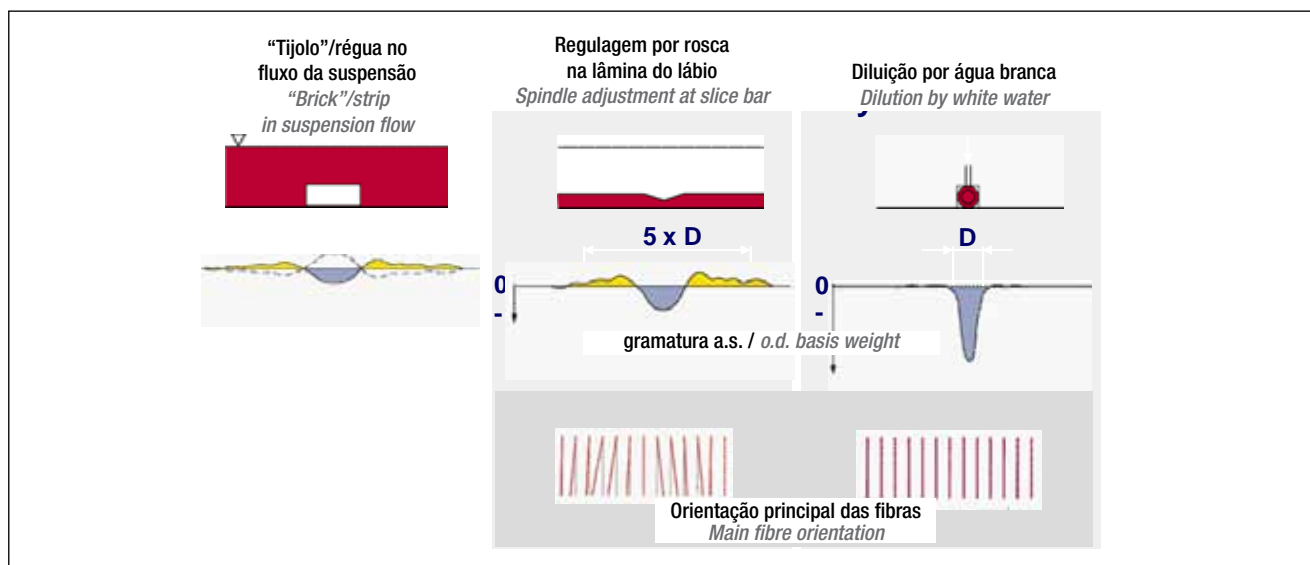


Figura 6. História do controle de gramatura no sentido transversal da máquina / Figure 6. History of basis weight control in cross machine direction

Formação da folha

As primeiras seções de formação foram a mesa plana e o formador de forma redonda. Ambos ainda estão em uso em nossos dias. Na seção da tela Fourdrinier clássica uma folha fibrosa é formada a partir da suspensão suprida pela caixa de entrada por drenagem, ao mesmo tempo induzindo forças de cisalhamento e turbulência. Os principais desenvolvimentos havidos na seção da tela estão representados na Figura 7.

- **Mesa plana:** Em tempos passados, em algumas máquinas a seção da tela apresentava uma inclinação regulável no sentido longitudinal da máquina. Isso para acelerar a suspensão livre sobre a tela, influenciando assim a formação e a orientação das fibras. Na década de 20 foi introduzido o sacudidor da tela com ação apenas no rolo-cabeceira (ao invés de oscilação de toda a seção tela), de modo que frequência e extensão da oscilação podiam ser aumentadas. O sacudidor da tela melhora a formação e ainda é usado em máquinas lentas. Rolos desaguadores asseguram boa drenagem e geração de turbulência mediante a geração de pulsos de pressão e vácuo. Com velocidades mais altas (acima de cerca de 500 m/min) os pulsos tornam-se muito fortes e destroem a formação. Na década de 60 foram introduzidos os foils. Mediante diferentes ângulos, a intensidade dos pulsos pode ser regulada. Materiais cerâmicos para a superfície dos foils e as novas telas formadoras feitas com material sintético melhoraram ainda mais a situação. Alta capacidade de drenagem foi obtida com a utilização de caixas de sucção úmidas (desde os anos 60). Na seção da mesa plana a folha é desaguada somente numa direção, sendo, por isso, assimétrica na direção-z (vertical). A velocidade máxima de uma seção de mesa plana é de cerca de 1000 a 1200 m/min.
- **Hybridformers:** Estes consistem de numa mesa plana com uma segunda tela formadora sobre ela. Com isso, o

Sheet forming

The first forming sections were the Fourdrinier wire and the mould former. Both are still in use today.

In the classic Fourdrinier wire section a fibrous web is formed out of the suspension supplied by the headbox by drainage, at the same time inducing shear forces and turbulence. Main developments in the wire section are shown in Figure 7.

- **Fourdrinier:** In earlier times in some machines the Fourdrinier wire section showed an adjustable slope in machine direction. This was to accelerate the free suspension on the wire, thus influencing formation and fibre orientation. In the 1920s wire shaking with only the breast roll (instead of shaking the whole wire section) has been introduced, so shaking frequency and stroke could be increased. Wire shaking improves formation and is still used for slower machines. Table rolls ensure good drainage and turbulence generation by building up pressure and vacuum pulses. With higher machine speeds (over about 500 m/min) the pulses get too high and destroy the web. In the 1960s foils were introduced to the market. With different angles the intensity of the pulses can be adjusted. Ceramic materials for the foil surface and the new forming wires made from synthetic material further improved the situation. High drainage capacity was gained by wet suction boxes (since the 1960s). On the Fourdrinier wire section the sheet is dewatered only in one direction, thus being non-symmetrical in z-direction. The maximum speed of a Fourdrinier wire section is about 1000 to 1200 m/min.
- **Hybridformers:** These consist of a Fourdrinier wire with a second forming wire placed on top. Thus,

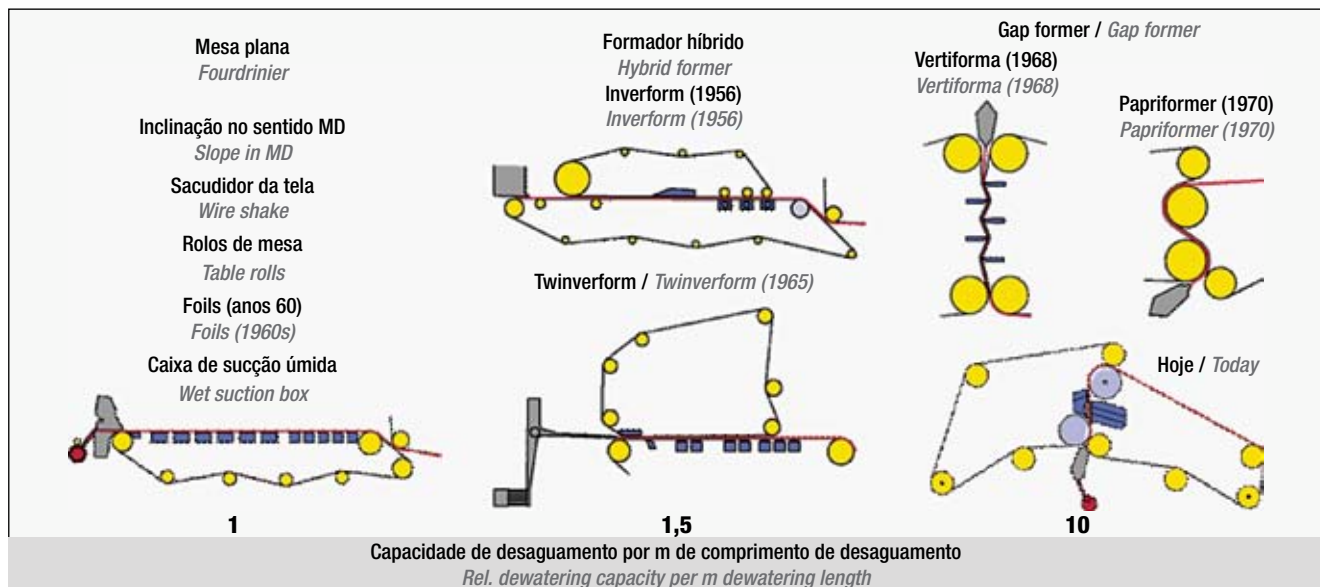


Figura 7. Principais desenvolvimentos na seção da tela / Figure 7. Main developments in the wire section

**Desenvolvimento em telas formadoras / Development in forming wires
metal/bronze => plástico (1958, anos 70 e 80) / metal/bronze => plástico (1958, 1970s, 1980s)**



Figura 8. Principais pontos de interesse e condições limite no desenvolvimento da tela formadora
Figure 8. Main points of interest and boundary conditions in forming wire development

desaguamento ocorre em ambas as direções. A quantidade de suspensão que pode ser desaguada para o lado superior é de 30% a cerca de 50% do fluxo da caixa de entrada. Deste modo a simetria na direção-z é melhor do que com a mesa plana. O primeiro Hybridformer foi o Inverform (St. Ann' Board Mill, 1956).

- **Gapformers:** O desaguamento ocorre para ambos os lados. A relação é ajustável mediante vácuo. Desta maneira a simetria da folha na direção-z é boa. Os primeiros gapformers foram o Twinverform (Beloit, 1965), o Vertiforma (Black Clawson, 1968) e o Papriformer (Instituto de Pesquisas de Celulose e Papel de Montreal, 1970). As “famílias” Belbaie-, Duo-, Sym- e Twinformers que vieram a seguir apresentaram uma série de variantes quanto ao percurso da tela (horizontal, inclinada, vertical) e aos elementos desaguadores, dependendo da velocidade da máquina ou do produto. Atualmente um gapformer moderno é construído no sentido vertical, com a caixa de entrada situada na parte inferior. A seqüência dos elementos desaguadores é geralmente rolo/lâminas/rolo.

A capacidade de desaguamento relativa por unidade de comprimento da seção de formação aumentou de 1, tendo a mesa plana como referência, para cerca de 1,5 para o Hybridformer, e para aproximadamente 10 no caso do gapformer.

Em 1958 chegou a primeira tela plástica ao mercado e começou a substituir as telas de bronze (de camada única) durante os 10 a 20 anos subsequentes. Telas plásticas são feitas de polietileno ou poliamida e foram otimizadas durante as décadas de 70 e 80. Isso resultou em telas de 2 e 3 camadas, com fios de diferentes dimensões no lado papel e no lado operação. Dessa forma pôde ser obtida uma superfície mais lisa do papel e vida útil mais longa da tela, assim como elevada estabilidade dimensional da tela no sentido transversal. A Figura 8 mostra a ordem de grandeza dos tamanhos das fibras e dos fios das telas, bem como os pontos de maior interesse no desenvolvimento da tela formadora.

dewatering occurs in both directions. The amount of suspension which can be dewatered to the top is 30% to about 50% of the headbox flow. Thus the symmetry in z-direction is better than with the Fourdrinier. The first hybridformer was the Inverform (St. Ann' Board Mill, 1956).

- **Gapformers:** Dewatering occurs to both sides. The ratio is adjustable by vacuum. So the symmetry of the sheet in z-direction is good. The first gapformers were the Twinverform (Beloit, 1965), the Vertiforma (Black Clawson, 1968) and the Papriformer (Pulp and Paper Research Institute Montreal, 1970). The following “families” of Belbaie-, Duo-, Sym- and Twinformers showed a lot of variants as regards wire run (horizontal, inclined, vertical) and dewatering elements depending on machine speed or product. Today a modern gapformer is built up in vertical direction, the headbox is placed at the bottom. The sequence of the dewatering elements are mostly roll/blades/roll.

The relative dewatering capacity per length unit of the forming section increased from 1 for the Fourdrinier as the reference, to about 1.5 for the hybridformer, and to about 10 for the gapformer.

In 1958 the first plastic wire came to the market and started to replace the (single layer) bronze wires over the next 10 to 20 years. Plastic wires are made from polyethylene or polyamide and were optimized during the 1970s and 1980s. This resulted in wires with 2 and 3 layers with different yarn dimensions at the paper and the running side. So, a smoother paper surface and longer wire life could be reached as well as high dimension stability in CD. Figure 8 shows the order of magnitude of fibre and wire yarn sizes and the points of main interest in forming wire development.

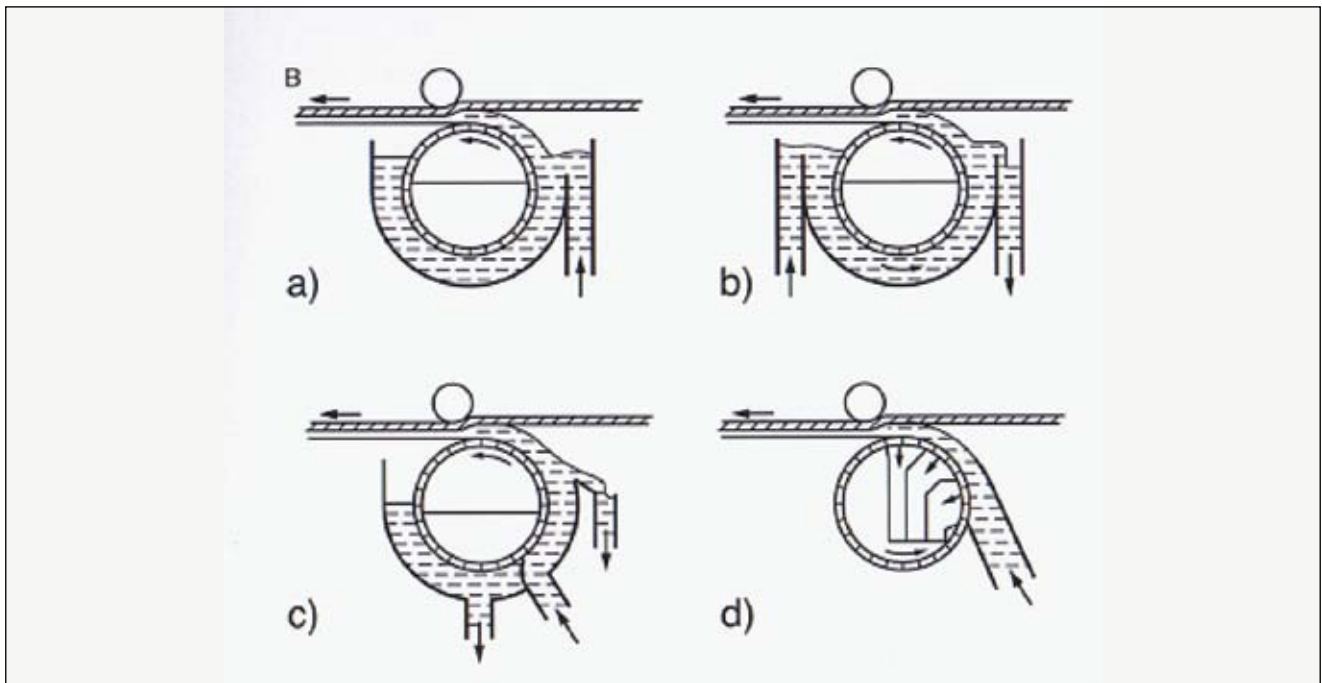


Figura 9. O caminho desde o formador de forma redonda ao formador por sucção e o rolo de cabeceira formador a vácuo / Figure 9. The way from the mould former to the suction former and the suction breast roll former

Formadores de forma redonda

O formador de forma redonda (mould former) individual (desde 1809) tinha sido ampliado para uma máquina formadora de formas redondas múltiplas em 1903. A partir de 1952 o vácuo interno na forma aumentou o potencial de produção. O formador de forma redonda de diferentes desenhos foi substituído por um formador de forma não-imerso desde 1964, que finalmente levou ao formador a vácuo (Figura 9). Formadores a vácuo e formadores de rolo cabeceira de sucção eram comuns na década de 1970 para a produção de cartão, papéis de embalagem e tissue. Eles ainda são aplicados em máquinas novas para certos tipos de papéis especiais, tais como papel para cédulas bancárias. Os limites de velocidade para formadores por sucção situam-se em cerca de 400 m/min, e para formadores de rolo de cabeceira de sucção para produção de tissue, abaixo de 1500 m/min.

Seção das prensas

A finalidade da seção das prensas é de aumentar ao máximo o teor seco da folha por meio de compressão, sem danificar a folha. Teor seco elevado reduz o consumo de vapor na seção de secagem. O custo para remoção de 1 kg de água na seção de secagem é cerca de 10 vezes maior do que na seção das prensas. Além disso, a resistência da folha de papel aumenta, o que ajuda a evitar quebras da folha durante a produção. O longo caminho percorrido desde a prensa plana com feltros tecidos de lã e passes abertos até a prensa de nip único foi percorrido em muitas etapas (Figura 10).

Cylinder formers

The single mould former (since 1809) had been extended to a multi-mould former machine in 1903. From 1952 on, internal vacuum increased production potential. The mould former of different designs was replaced by a non-immersed cylinder former since 1964, finally leading to the suction former (Figure 9). Suction formers and suction breast roll formers were common in the 1970s for board, packaging papers and tissue production. They are still applied in new machines for certain special paper grades such as banknote paper. The speed limits for suction formers lie at about 400 m/min, for suction breast roll formers for tissue production below 1500 m/min.

Press section

The purpose of the press section is to increase the dry content of the paper web as much as possible by compression, without damaging the web. High dryness reduces steam consumption in the dryer section. Costs for removal of 1 kg of water in the dryer section are about 10 times higher than in the press section. Furthermore, the strength of the paper web is increased which helps to avoid web breaks during production. The long way from the straight through press with woven wool felts and open draws to the one-nip press was done in many steps (Figure 10).

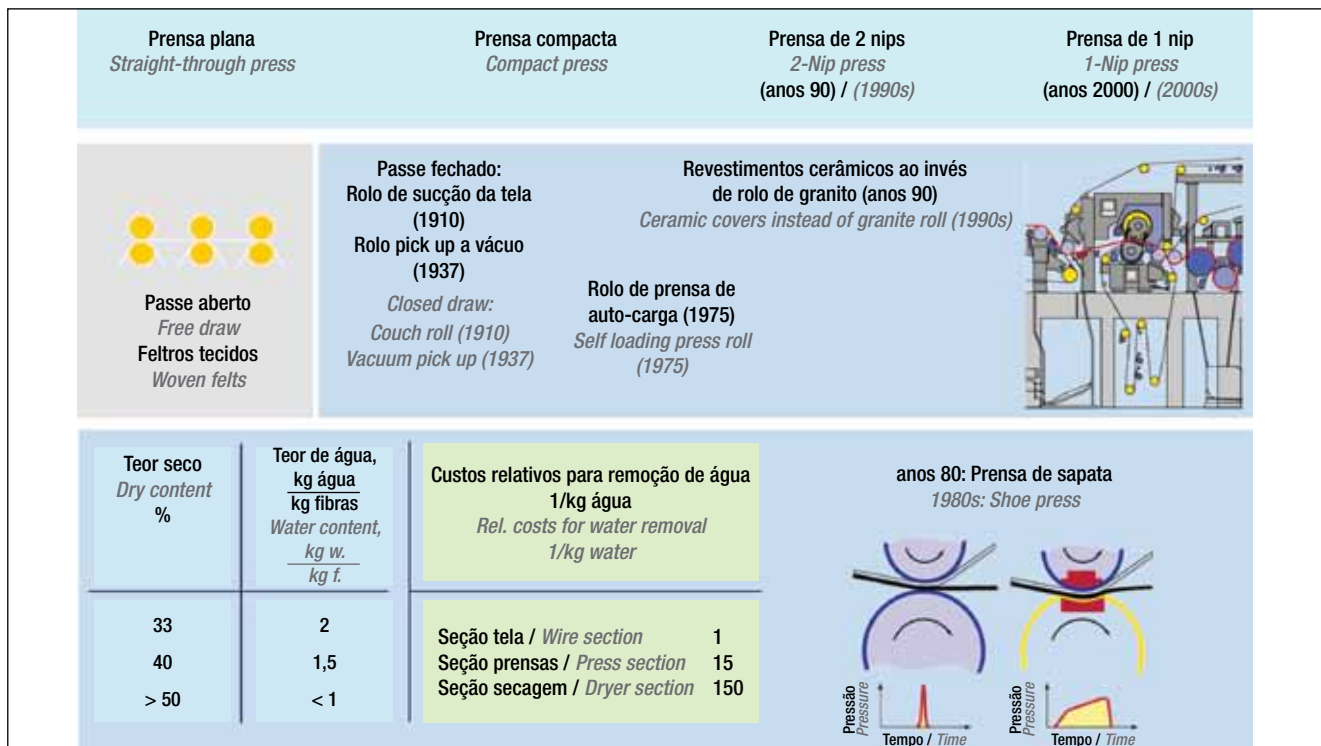


Figura 10. Progressos no desenho da seção de prensas (Fonte: Voith) / **Figure 10.** Progress in press section design (Source: Voith)

Desenho da seção das prensas:

- Introdução do rolo de sucção da tela (Patente Mills-paugh, 1908) e rolo pick up (1937) para uma transposição segura da folha da tela para as prensas.
- O rolo de prensa de auto-carga (Nipco Roll F) permitindo configurações de prensas simplificadas por não requerer quaisquer dispositivos externos de pressão (1975).
- O desenvolvimento do rolo com controle do nip, que permite um diâmetro de rolo menor em grandes larguras de máquina. Isto resulta numa pressão máxima mais alta no nip de prensagem, se necessário.
- A prensa de sapata com nip de prensagem estendido

Press section design:

- *Introduction of the couch roll (Mills-paugh patent, 1908) and vacuum pick up (1937) for a safe web transfer from the wire to the press section.*
- *The self-loading press roll (Nipco Roll F) allowing more simplified press configurations as it does not need any outside loading devices (1975).*
- *The nip control roll principle which allows a smaller roll diameter at large machine widths. This results in a higher maximum pressure in the press nip if required.*
- *The shoe press with a long press nip (more than*

Revestimentos sintéticos de rolos (final anos 80) / Synthetic roll covers (late 1980s)

Elasticidade, desgaste => furação (cega), ranhurados
Elasticity, wear => (Blind) drilled, grooved

=> desenho do nip melhorado
=> improved nip design

**Revestimentos cerâmicos/ metal duro para rolos
Ceramic/hard metal roll coatings**

Características superficiais
Surface characteristics

=> Substituindo rolos de granito (início anos 90)
=> Replacing granite rolls (early 1990s)

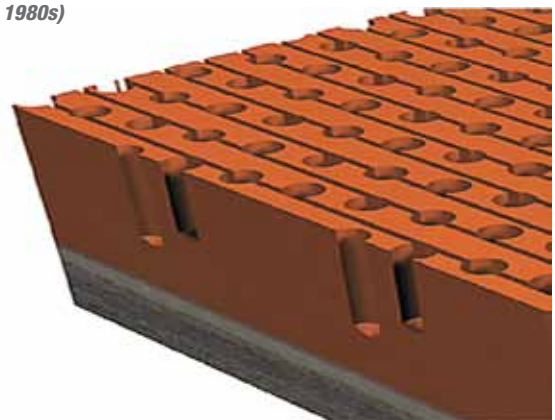


Figura 11. Revestimentos de rolos de prensa (Fonte: Voith) / **Figure 11.** Press roll covers (Source: Voith)

(possível uma largura superior a 300 mm) para teor seco após a seção prensas ulteriormente aumentado (1983).

- A prensa de 2 nips com transferência segura da folha nas altas velocidades de máquina (final da década de 90).
- A prensa de um nip com elevada capacidade de desaguamento (até teor seco de 55%) com baixa redução do volume específico (*bulk*) (década de 2000).

Revestimentos de rolos:

- Em 1909 foi inventada a borracha sintética, que substituiu aplicações de borracha pura. Na década de 80 foram introduzidos os revestimentos de poliuretano. Esses novos materiais permitiram elevada carga no nip e também a perfuração e o ranhuramento de revestimentos (Figura 11).
- No início da década de 90 rolos de aço revestidos com cerâmica substituíram os rolos de granito, que são sensíveis a diferenças de temperatura e a forças centrífugas (devido a velocidades de operação mais altas), e são também limitados em tamanho.

Feltros e cintas:

- A mudança de feltros de lã para feltros sintéticos agulhados teve início na década de 60. Com a nova técnica os feltros puderam ser mais bem projetados para finalidade específica, como, por exemplo, a posição na prensa, e foram otimizados consistentemente. Eles oferecem alta capacidade de desaguamento, boa lisura superficial para alta qualidade do papel, baixo desgaste e boa estabilidade dimensional (Figura 12).
- Cintas de transferência foram desenvolvidas no final do século passado para passagem segura da folha do último

300 mm possible) for further increased dryness after the press section (1983).

- The 2-nip press with safe web transfer for high machine speeds (end of the 1990s).
- The one-nip press with high dewatering capacity (up to 55 % dry content) at low bulk reduction (2000s).

Roll covers:

- 1909 synthetic caoutchouk was invented replacing pure rubber application. In the 1980s polyurethane covers were introduced. The improved materials allowed high nip load and drilling and grooving of the cover at the same time (Figure 11).
- At the beginning of the 1990s ceramic covered steel rolls replaced the granite rolls, which are sensitive as regards temperature differences, centrifugal forces (due to higher speeds), and are also limited in size.

Felts and belts

- The change from woven wool felts to synthetic needled felts began in the 1960s. With the new technique the felts could be designed much better to the special purpose, e. g. as regards the position in the press, and they were steadily optimized. They show high dewatering capacity, good surface smoothness for high paper quality, low wear and good dimension stability (Figure 12).
- Transfer belts were developed end of last century to safely transfer the web from the last press nip to

Desenvolvimento de feltros de prensas e cintas de transferência

Development in press felts and transfer belts

Feltros tecidos de lã => feltros sintéticos agulhados (década de 60)

Woven wool felts => needled plastic felts (1960s)

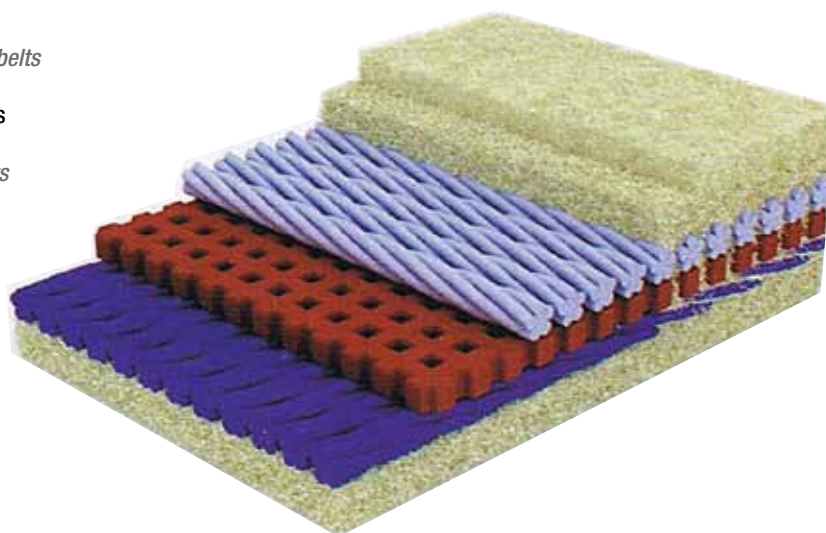


Figura 12. Feltros estado-da-arte para prensas (Fonte: Voith) / **Figure 12.** State-of-the-art press felts (Source: Voith)

nip de prensagem para a seção secadora. É usada na segunda posição inferior de uma prensa de sapata dupla em substituição ao feltro da prensa. A cinta de transposição é um feltro sem emendas com revestimento de poliuretano ou borracha no lado papel (ou em ambos os lados).

O teor seco da folha após a seção das prensas aumentou de cerca de 33% (2 kg de água por kg de fibras) na prensa plana para aproximadamente 40% (1,5 kg de água/kg de fibras) com os desenhos das prensas compactas, finalmente até mais de 50% (menos de 1 kg de água/kg de fibras). Isto reduz consumo e custos de energia na seção de secagem.

Seção de secagem

Na seção de secagem o teor seco da folha de papel é aumentado para mais de 90% por evaporação. As fontes de calor são vapor ou ar quente, e o vapor d'água é removido pelo ar. Estas foram as mudanças na seção de secagem (Figura 13).

- Em tempos passados a seção de secagem não era coberta. Ela estava na sala da máquina onde havia alguma espécie de chaminé no teto para exaustão do vapor d'água, frequentemente com o auxílio de ventiladores. O clima da sala da máquina foi melhorado com a introdução da capota aberta na década de 20. Nos anos 50 a capota fechada tornou-se cada vez mais comum, contribuindo para menor consumo de energia e melhor perfil transversal de umidade da folha.
- A ventilação dos bolsões teve início com um sistema que insuflava ar da lateral para o interior da máquina (sistema Grewin, 1927). Mais tarde o ar passou a ser insuflado diretamente nos bolsões. A ventilação dos bolsões teve ainda maior sucesso com a adoção da capota fechada.

the dryer section. It is used in the second bottom position of a double shoe press replacing the press felt. The transfer belt is an endless felt which is covered with a polyurethane or rubber cover on the paper side (or on both sides).

The dryness of the web after the press section increased from about 33% (2 kg water per kg fibres) in the straight-through press to about 40% (1,5 kg w./kg f.) with the compact press designs, finally up to more than 50% (less than 1 kg w./kg f.). This reduces the energy consumption and costs in the dryer section.

Dryer section

In the dryer section the dry content of the paper web is increased to more than 90% by evaporation. Heat sources are steam or hot air, the water vapour is removed by air. These were the changes in the dryer section (Figure 13):

- In former times the dryer section was not covered. It was placed in the machine room which had some kind of chimney on the roof to exhaust the water vapour, often with the help of fans. Machine room climate was improved by the introduction of a half-covering "canopy" hood in the 1920s. In the 1950s the closed hood got more and more usual offering less energy consumption and better CD moisture profile of the web.
- Pocket ventilation started with a system which blowed air from the side into the machine (Grewin-system 1927). Later, the air was supplied directly into the pockets. The pocket ventilation became even more successful with the introduction of the

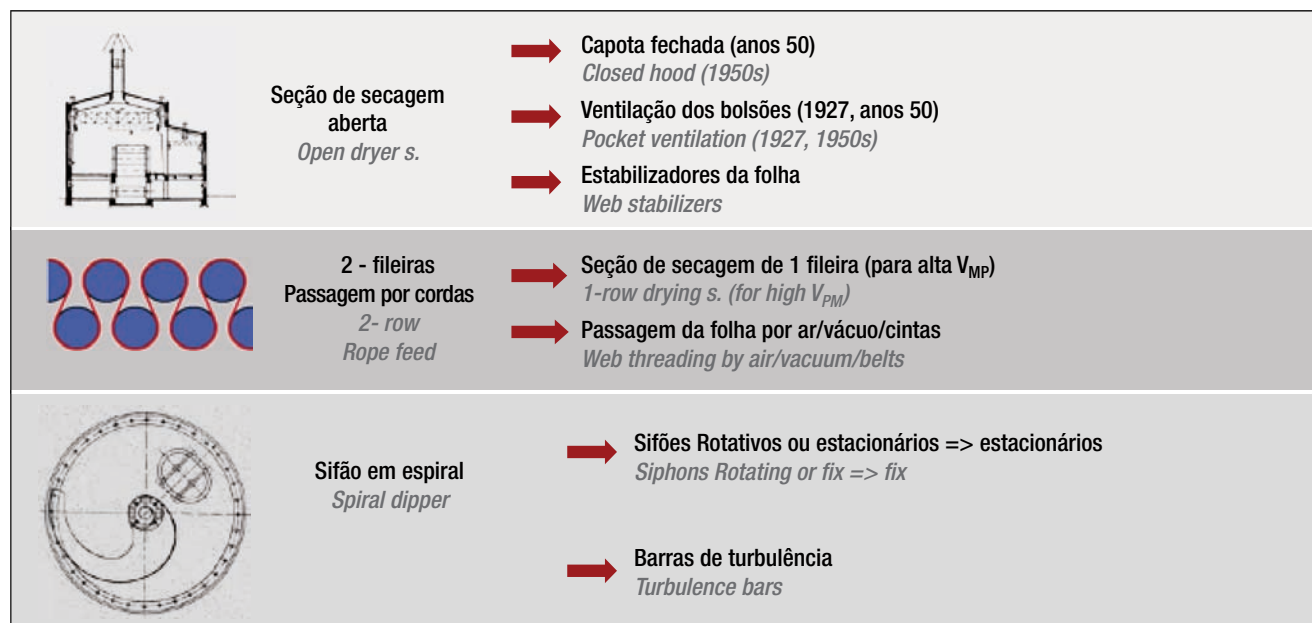


Figura 13. Mudanças na seção secadora / Figure 13. Changes in the dryer section

Ambos eram urgentemente necessários em função da largura e velocidade crescentes das máquinas de papel.

- Para máquinas com velocidades mais altas foram instalados estabilizadores da folha, baseados em princípios da dinâmica de fluidos, na seção de secagem, assim estabilizando a condução da folha e ao mesmo tempo ventilando o bolsão.
- Motivo de transição da seção de secagem com fileira dupla para a de fileira única de cilindros (nos anos 80) foi o melhor andamento da folha a altas velocidades. A desvantagem está na secagem não-simétrica.
- Durante muito tempo a passagem da folha foi feita com cordas (o sistema Sehan já era usado nos EUA antes de 1925). Para altas velocidades a ponta (ou às vezes a largura total da folha) é conduzida por ar, vácuo ou cintas.
- O sifão em espiral para remoção de condensado dos cilindros secadores era apropriado para baixas velocidades de máquina. A velocidades mais altas são utilizados tanto sifões rotativos quanto estacionários, e para altas velocidades (superiores a cerca de 800 m/min) somente sifões estacionários. Isso devido às altas forças centrífugas que atuam sobre o anel de condensado.
- O diâmetro dos cilindros secadores era de 1,2 m (ou menos) e, por espaço de tempo muito longo, de 1,5 m. Desde alguns anos 1,8 m passou a ser o diâmetro preferido. No passado foram também instalados cilindros de 2,2 m de diâmetro.
- A altas velocidades de máquina a transmissão de calor no interior dos cilindros secadores se reduz notavelmente. Para seu melhoramento são fixadas barras de turbulência (desde os anos 70) na superfície interna do cilindro secador. Elas também podem ser usadas para o controle do teor de umidade no sentido transversal da folha.

Secagem de convecção forçada

- *Secagem por insuflação de ar*: Capotas secadoras de alta eficiência (usadas principalmente na secagem de tissue) operam atualmente com velocidades do ar de até 210 m/s e temperaturas do ar de até 700°C (aquecimento a gás) e cerca de 150°C (aquecimento a vapor). O princípio de secagem por insuflação é também aplicado em secadores por flotação de ar planos ou curvos para secagem de revestimentos (desde cerca da segunda metade do século passado), bem como após a seção das prensas para melhorar o teor seco da folha e, com isso, sua resistência antes do primeiro passe aberto na seção de secagem.
- *Secagem por passagem de ar (TAD- Through Air Drying)*: Esse princípio de secagem é usado desde os anos 60, principalmente para tissue. Aplicações para outros tipos de papel (por exemplo, papel-jornal) foram tentadas, mas não tiveram sucesso.
- Secagem por pulsos e secagem sob pressão foram os desenvolvimentos mais recentes em termos de secagem (final

closed hood. Both were urgently needed with increasing width and speed of the paper machines.

- *For higher machine speeds web stabilizers were placed into the dryer section using fluid dynamic principles, thus stabilizing the web run and at the same time ventilating the pocket.*
- *The reason for the transition from the double-tier towards the single-tier dryer section (in the 1980s) was the improved web run at high machine speeds. The disadvantage is non-symmetrical drying.*
- *For a long time web threading was done by ropes (the Sehan-system had been applied already before 1925 in USA). For high speeds the trim (or sometimes the full web width) is threaded by air, vacuum or belts.*
- *The spiral dipper for condensate removal out of the drying cylinders was convenient for low machine speeds. At increased speeds both rotating and fix siphons are applied, for high speeds (more than about 800 m/min) only fix siphons. This is due to the high centrifugal forces acting on the condensate ring.*
- *The diameter of the drying cylinders were 1,2 m (and less), and for a very long time 1,5 m. Since several years 1,8 m is the preferred diameter. Cylinders with 2,2 m diameter have also been installed in the past.*
- *With high machine speeds the inner heat transfer in drying cylinders decreases distinctly. For its improvement turbulence bars (since the 1970s) are attached to the inner surface of the drying cylinder. They can also be used for control of CD web moisture content.*

Forced convection drying

- *Impingement air drying: Today high efficiency drying hoods (used mainly in tissue drying) operate at air velocities of up to 210 m/s and air temperatures up to 700°C (gas fired) and about 150°C (steam heated). The impingement drying principle is also applied in flat or curved air flotation dryers for coat drying (since about the second half of the last century), as well as after the press section to enhance the web dryness and hence the web strength before the first free draw in the dryer section.*
- *Through air drying: This drying principle is used since the 1960s especially for tissue. Applications for other paper grades (e. g. newsprint) have been tried but were not successful.*
- *Impulse drying and press drying were the latest developments in drying (end of last century). Impulse drying did not find a commercial ap-*

do século passado). A secagem por pulsos não encontrou aplicação comercial. A delaminação da folha foi um grande problema. A secagem sob pressão encontrou até agora acesso ao mercado somente em algumas poucas instalações no mundo. Trata-se de combinação de pressão e secagem. Após a formação, a folha é desaguada mecanicamente numa seção de prensas convencional. Em seguida um dos lados da folha entra em forte contato com a superfície quente de um cilindro envolvendo-o com uma cinta de aço sob tensão. Entre a cinta de aço e a folha é colocada uma cinta permeável, tal como um feltro ou uma tela. Desta forma o vapor pode fluir para o interior da cobertura permeável para ser ali armazenado. A secagem sob pressão pode encontrar um nicho maior na área de cartão e embalagem se for obtido um evidente aumento das propriedades de resistência que justifique o dispêndio mais elevado. Aplicação para papéis de escrever e imprimir é menos provável devido a marcação.

Colagem e revestimento

O objetivo, tanto da colagem como do revestimento, é aumentar a qualidade da folha de papel (Figura 14).

Colagem:

Durante a colagem uma suspensão é aplicada à superfície da folha para melhorar a resistência e as propriedades superficiais. São basicamente dois os princípios de aplicação:

- Na prensa de colagem por imersão a folha é passada através de um banho do agente de colagem situado acima do nip dos rolos aplicadores. Isto foi padrão durante muito tempo. Com velocidades de máquina mais altas a turbulência no banho tornou-se inaceitável. O limite é de aproximadamente 1000 m/min. Para reduzir essas turbulências

plication. Delamination of the sheet was a big problem. Press drying has found access to the market up to now only in some few installations worldwide. It is a combination of pressing and drying. After forming, the web is dewatered mechanically in a conventional press section. Then one side of the web gets into tight contact with the hot surface of a cylinder by wrapping it with a steel belt under tension. Between steel belt and web a permeable belt such as a felt or wire is installed. So the vapour can escape into the permeable cover to be stored therein. Press drying may find a larger niche in board and packaging if a distinct increase in strength properties is reached which justifies the higher expense. An application for writing and printing grades are less probable due to marking.

Sizing and coating

The goal of both sizing and coating is to enhance the quality of the paper web (Figure 14).

Sizing:

During sizing a solution is applied to the web surface to improve strength and surface properties. There are found two principles:

- *In the pond size press the web is passed through a pond of the sizing agent above the roll nip. This was standard for a long time. With higher machine speeds the turbulence in the pond became unacceptable. The limit is approximately 1000 m/min. To reduce these turbulences, foils (“size wings”,*

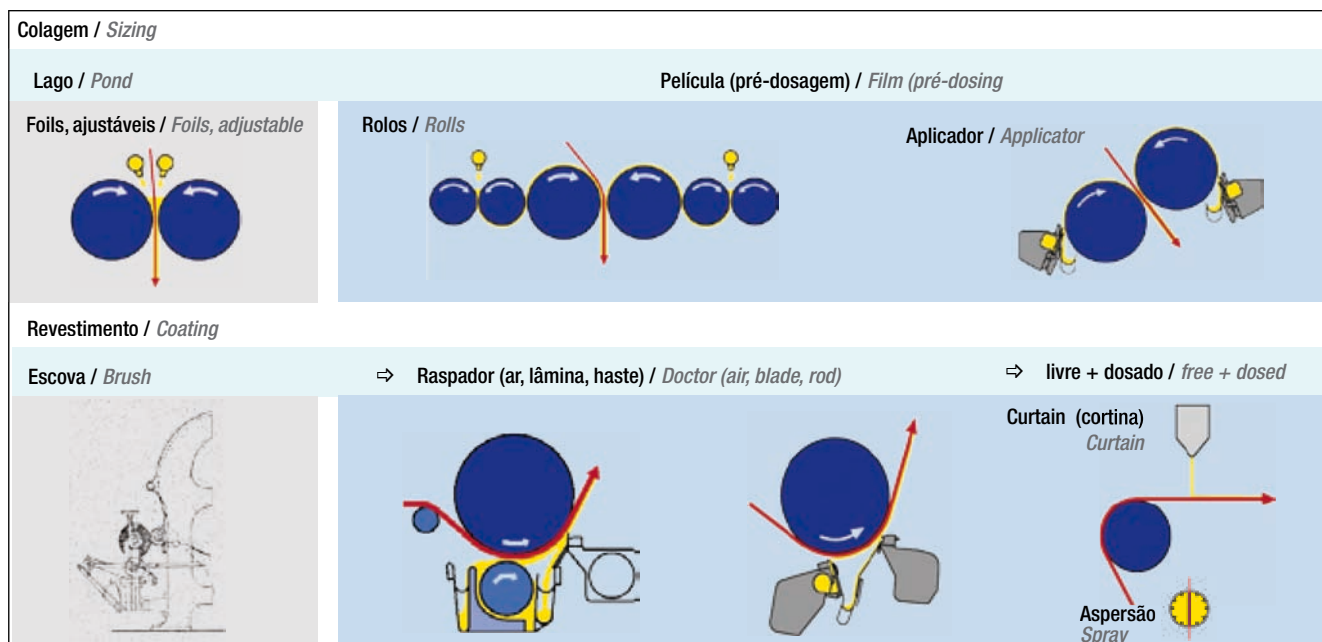


Figura 14. Desenvolvimentos em colagem e revestimento / **Figure 14.** Development in sizing and coating

podem ser aplicados foils (“asas de colagem”, 2009) que mergulham no banho. Desta maneira pode-se até mesmo elevar o nível do banho.

- A prensa de filme foi introduzida nos anos 80 e supera as limitações de velocidade da prensa de colagem com banho. Aqui, a quantidade necessária de agente de colagem é pré-dosada na forma de película nos rolos e em seguida transferida à folha de papel no nip de prensagem. A pré-dosagem para altas velocidades é feita nos rolos de prensa com uma barra medidora perfilada (ou ranhurada).
- A colagem por aspersão (semelhante ao revestimento por aspersão) está agora em desenvolvimento e poderia ser aplicada como solução de colagem de baixo custo no futuro.

Revestimento:

Na aplicação do revestimento, uma dispersão semifluida de pigmentos é aplicada à folha a fim de melhorar sua qualidade superficial. Atualmente a aplicação do revestimento é feita offline ou online. A aplicação do revestimento foi desenvolvida e aplicada nos EUA a partir do século XIX. O verdadeiro surto mundial em aplicação de revestimento se deu na segunda metade do século XX. A aplicação do revestimento é parcialmente feita com equipamentos semelhantes àqueles para colagem, em que se usam rolos ou aplicadores de jato. A tinta de revestimento é nivelada por faca de ar, lâmina ou barra dosadora.

Algumas etapas do desenvolvimento estão relacionadas a seguir.

- No século XIX, assim como no século XX, a tinta de revestimento era aplicada por escova.
- A aplicação do revestimento por rolos foi introduzida em 1933. Com esse princípio a separação da tinta entre rolo aplicador e papel se torna um grave problema a altas velocidades (cerca de 1500 m/min).
- O revestimento por faca de ar é aplicado desde 1938.
- Revestimento por lâmina é usado desde 1945. As altas forças aplicadas à folha umedecida pelo atrito entre lâmina e tinta de revestimento constituem, neste caso, limitação para velocidades mais altas devido ao maior risco de quebras da folha.
- Nos anos 90 foi introduzida a prensa de película como aplicador online para papéis gráficos, aplicando forças menores à folha.
- O revestimento tipo cortina, com cerca de 50 instalações bem-sucedidas, surgiu muito antes do ano 2000, e atualmente continua a ter melhoramentos e mais aplicações.
- O revestimento por aspersão (por volta do ano 2000) não foi bem-sucedido na indústria. O princípio pode ser aplicado em aspersão de amido (conhecida na seção da tela) e pode substituir a prensa de colagem em algumas aplicações.

A Figura 15 apresenta duas máquinas de revestimento, uma da década de 20 e outra correspondente ao padrão técnico

2009) can be applied dipping into the pond. Thus the pond level can be even increased.

- The film press was introduced in the 1980s and overcomes the speed limitations of a pond size press. Here the necessary amount of sizing agent is pre-dosed as a film on the rolls and then transferred to the paper web in the press nip. Pre-dosing for high speeds is done on the press rolls with the help of a profiled (or grooved) rod.
- Spray sizing (similar to spray coating) is now in development and might be applied as a low cost sizing solution in the future.

Coating:

In coating, pigment slurry is applied to the web in order to enhance its surface quality. Coating is done today offline or online. Coating has been developed and applied in USA since the 19th century. The real boom worldwide for coating application came in the second half of the 20th century. Coat application is partly done with equipment similar to those for sizing where rolls or jet applicators are used. The coating colour is levelled out by an air jet, a blade or a metering bar.

Here some development steps.

- In the 19th as well as in the 20th century the coating colour was applied by a brush.
- Roll coating was introduced 1933. With this principle colour splitting between applicator roll and paper gets a severe problem at high speeds (about 1500 m/min).
- Air brush coating is applied since 1938.
- Blade coating is used since 1945. The high forces applied to the wetted web through the friction between blade and coating colour are here a limitation for higher speeds due to higher risk of web breaks.
- In the 1990s the film press as an online applicator for graphic paper was introduced, applying lower forces on the web.
- Curtain coating, with about 50 successful installations, are found long before the year 2000 and finds further improvements and applications today.
- Spray coating (around 2000) did not find successful access to the industry. The principle may be used in starch spraying (known from the wire section) and may replace the size press in some applications.

Figure 15 shows two coating machines, one of the 1920s and one of today's technical standard. The machine width changed from 1 m to about 10m,

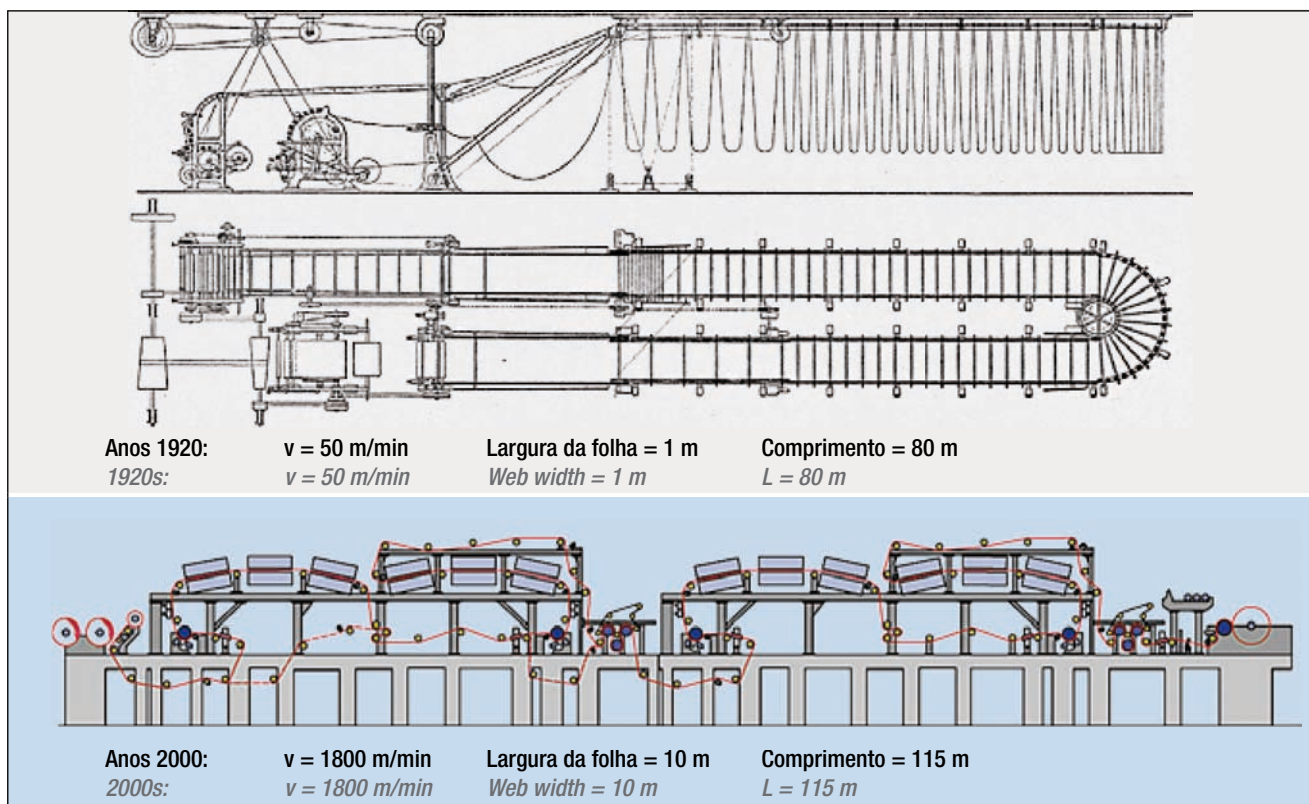


Figura 15. Comparação de máquinas de revestimento dos anos de 1920 e de 2000 (Fonte: Voith) / Figure 15. Comparison of coating machines of the 1920s and 2000s (Source: Voith)

atual. A largura da máquina aumentou de 1 m para cerca de 10m e a velocidade de aproximadamente 50 m/min para aprox. 1800 m/min, enquanto o comprimento da máquina se ampliou de cerca de 80 m para somente 115 m. Na máquina antiga a folha era drapejada durante a secagem de forma semelhante a uma grande faixa ondulada, suspensa em trilhos, ocupando a maior parte da sala da máquina. Hoje em dia a secagem do revestimento úmido é habitualmente feito primeiramente por infravermelho e secadores de flutuação de ar, com a secagem final feita por contato sobre cilindros aquecidos a vapor.

Calandragem

O objetivo da calandragem é modificar as características (por exemplo, lisura, brilho, densidade) da folha de papel. A calandragem industrial também tem sua longa história (Figura16).

- As chamadas calandras de máquina estão em uso desde meados do século XIX. Elas consistem de pelo menos dois rolos duros e são operadas online. Cerca de uma década mais tarde foi introduzida a supercalandra, que tem um grande número de rolos alternando duros e resilientes. Esses últimos são muito sensíveis a desgaste e danos. Supercalandras têm cerca de 25% a 30% de tempo ocioso. São, portanto, máquinas tradicionalmente offline.

the speed has been increased from about 50 m/min to ca. 1800 m/min, whereas the length of the coating machine only extended from about 80 m to 115 m. In the old machine the web was draped during drying like an over-dimensional undulated band suspended on rails, filling most of the machine hall. Today drying of the wet coat is usually done first by infrared and air float dryers before final contact drying on steam heated cylinders.

Calendering

The objective of calendering is to modify the characteristics (e.g. smoothness, gloss, density) of the paper web. Industrial calendering has also a long history (Figure16).

- *Since the middle of the 19th century the so called machine calenders are in use. They consist of at least two hard rolls and are operated online. About one decade later the supercalender was introduced having a large number of alternating hard and resilient rolls. The latter are very sensitive to wear and damage. Supercalandras have a downtime of about 25% to 30%. Therefore they are classic of-line machines.*

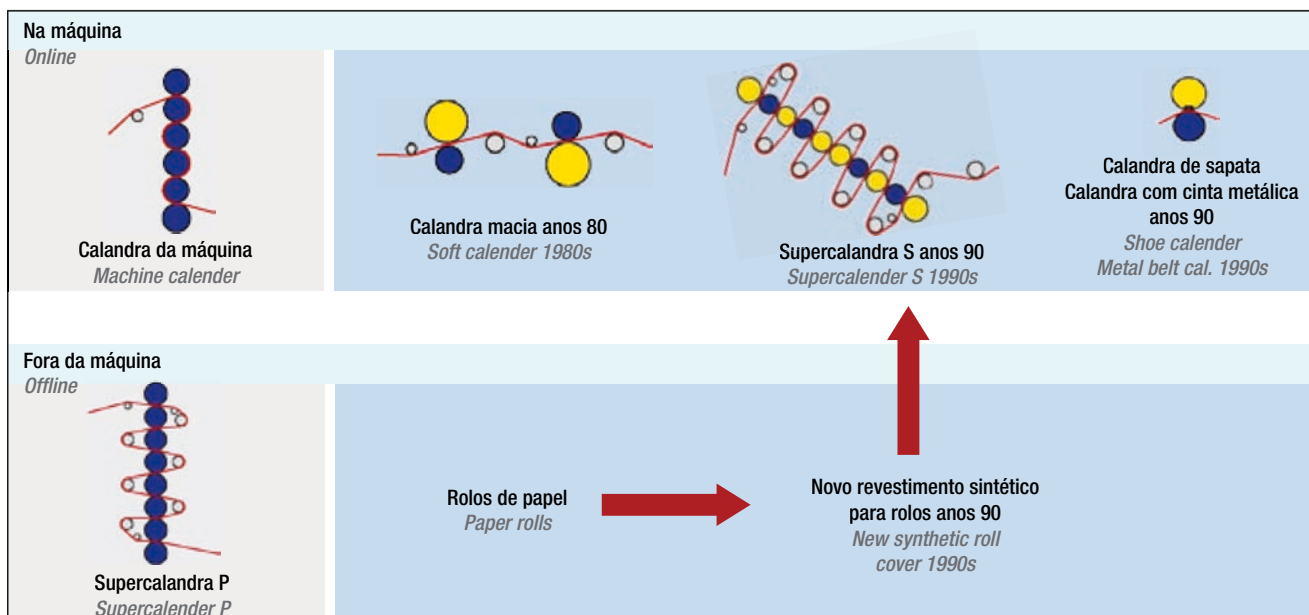


Figura 16. Progresso em calandragem / **Figure 16.** Progress in calendering

- Os rolos com nip ajustável (a partir dos anos 50) abrem grandemente o campo de operação seja para calandras de máquina como para supercalandras quanto a flexibilidade de carga.
 - O rolo Nipco F de pressão auto-ajustável (1975) permite, em caráter adicional, configurações simplificadas de calandras e supercalandras, já que não requer dispositivos de carga externos.
 - No final dos anos 70 (1978) e no início dos anos 80 passou a ser usada a calandra macia, que consiste de um rolo aquecido e de um rolo (geralmente rolo de nip variável) com revestimento macio feito de material sintético. São habitualmente combinadas duas dessas máquinas com a configuração dos rolos invertida. Apesar dos excelentes resultados tecnológicos, a calandra macia não conseguiu substituir a supercalandra no caso de altas exigências de qualidade.
 - Em 1994 foi construída a primeira supercalandra em que todos os rolos resilientes são revestidos com material sintético especial. O efeito da calandragem para a maior parte dos papéis de altas exigências foi comparável aos da supercalandra.
 - Em consequência foi instalada uma supercalandra on-line equipada com esse novo tipo de rolos, para classes de papéis altamente exigentes (anos 90).
 - Na década de 90 foi introduzida a calandra de sapata. Como no caso da prensa de sapata a folha é pressionada por uma sapata contra o rolo oposto, que, neste caso, é aquecido. Outros princípios de desenho trabalham com cinta sob alta tensão e pulso de um rolo de pressão (calandragem com cinta metálica).
- *The nip control rolls (first in the 1950s) widely opened the operating window for both machine, calenders and supercalenders as regards flexibility in load.*
 - *The self-loading Nipcoroll F (1975) additionally allows more simplified configurations of calenders and supercalenders, as it does not need outside loading devices.*
 - *End of the 1970s (1978) and at the beginning of the 1980s the soft calender came in use. It consists of a heated roll and a roll (mostly nip control roll) with a soft cover made of synthetic material. Usually two of such units with inverted roll configuration are combined. In spite of its excellent technological results the soft calender could not substitute the supercalender for high quality demands.*
 - *1994 the first supercalender was built where all the resilient rolls were covered with special synthetic material. The calendering effect for most of the high demand paper grades was comparable to that from the supercalender.*
 - *Consequently an online supercalender equipped with this new type of rolls was installed also for highly demanding paper grades (1990s).*
 - *In the 1990s the shoe calender was introduced. Similar to the shoe press the web is pressed by a shoe to the counteracting roll which in this case is heated. Other design principles work with high belt tension and one press roll impulse (metal belt calendering).*

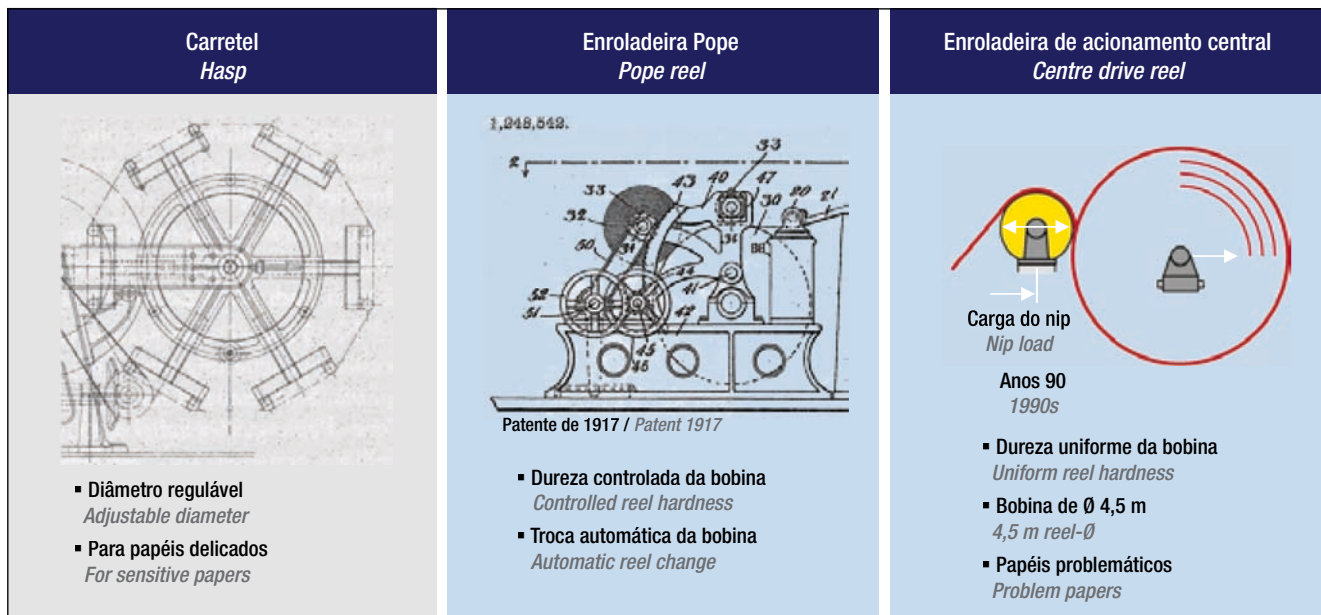


Figura 17. Progresso em bobinamento / *Figure 17. Progress in reeling*

Bobinamento

A finalidade do bobinamento é enrolar com a devida qualidade (por exemplo, dureza, conformação) a folha de papel produzida continuamente. Durante o enrolamento a qualidade do papel não pode ser melhorada, somente mantida – ou até mesmo reduzida. Esforços de desenvolvimento foram tímidos no passado, por muitos anos (Figura 17).

- Em tempos mais remotos, o papel era enrolado em carretéis que podiam ser regulados no diâmetro. Por longo tempo tal sistema permaneceu em uso para classes de papéis finos.
- A patente para a enroladeira Pope foi emitida em 1917. Constituiu a solução de enrolamento por muitas e muitas décadas, pois permitia dureza controlada e troca automática da bobina.
- Foi somente nos anos 90 que o enrolamento foi reconhecido como questão importante de economia e qualidade. As enroladeiras de acionamento central atuais aplicam o torque de acionamento ao tambor de enrolamento durante todo o processo de bobinamento. O resultado é uma dureza uniforme da bobina. É possível obter bobinas de até 4,5 m de diâmetro. O sistema também é o mais adequado para papéis com superfícies sensíveis.

Rolos para controlar a distribuição da força linear

Rolos flectem por efeito do próprio peso, sendo a deflexão muito maior quando dois rolos são pressionados um contra o outro. A deflexão aumenta com a 3ª potência do comprimento do rolo. Esse desafio em nips de prensagem foi superado em diversas etapas (Figura 18).

- Mediante o abaulamento do rolo sua deflexão era compensada, mas isto valia somente para uma deter-

Reeling

The purpose of reeling is to wind up the continuously produced paper web in a certain quality (e.g. hardness, overall shape). During reeling the paper quality cannot be improved, only maintained - or even decreased. Development efforts were limited in the past, for many years (Figure 17).

- In earlier times paper was reeled on hasps which could be adjusted in diameter. For a long time it was still in use for delicate paper grades.
- The patent for the Pope reel was issued in 1917. It was the reeling solution for very many decades as it provided controlled reel hardness and automatic roll change.
- It was not before the 1990s that reeling was recognized as an important matter of economy and quality. Today's centre drive reels apply the driving torque to the reel spool during the whole winding process. The result is uniform reel hardness. A reel diameter of up to 4,5 m is possible. It is also best suited for papers with sensitive surfaces.

Rolls to control line force distribution

Rolls are bending under its dead weight, deflection is even much more when two rolls are pressed against each other. Deflection increases by the 3rd power of roll length. This challenge in press nips has been overcome in several steps (Figure 18).

- By crowning the roll its deflection was compensated, but this was true only for one single press

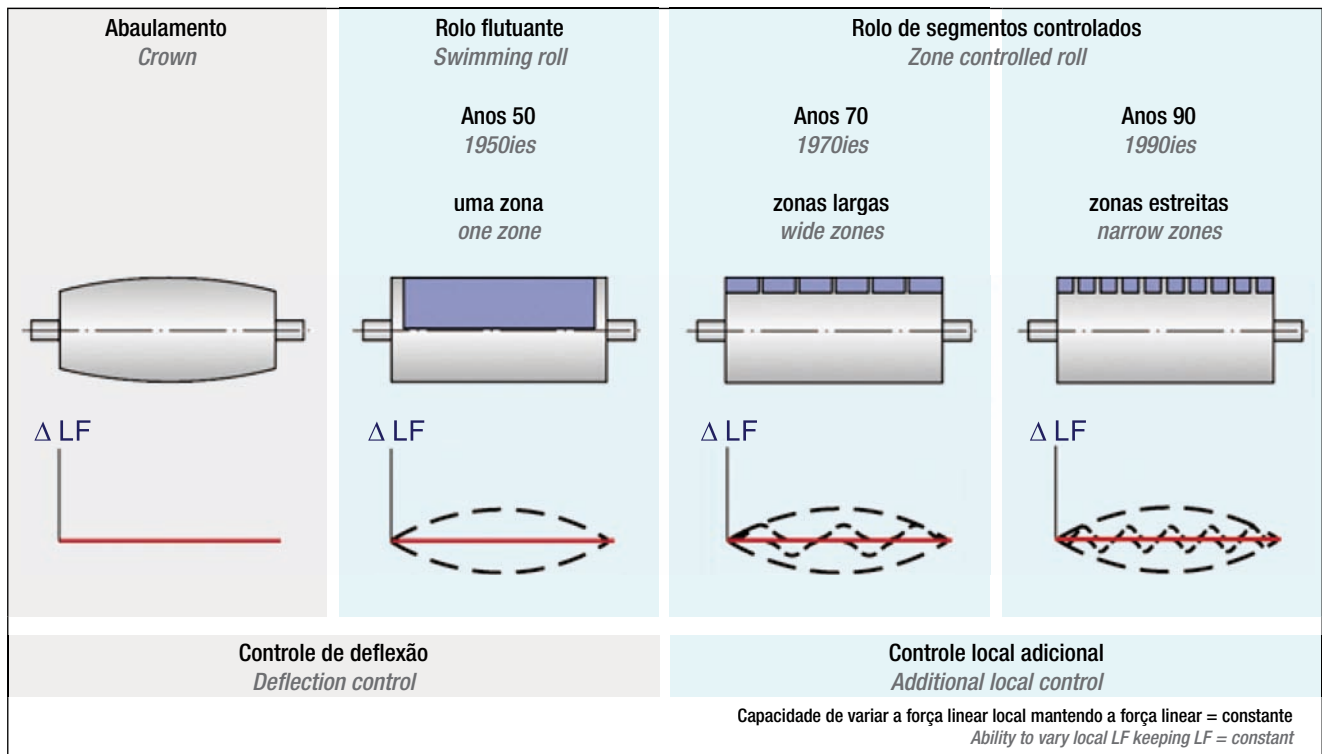


Figura 18. Rolos para controlar a distribuição da linha de carga / **Figure 18.** Rolls to control line force distribution

minada carga. Assim, a pressão da linha média do níp de prensagem não podia ser variada sem que ocorresse excesso ou insuficiência de abaulamento. Além disso, a velocidade circunferencial de um rolo abaulado varia ao longo do comprimento do rolo. Com pequenas larguras de máquina o problema não resultava tão óbvio.

- Na década de 50 foi desenvolvido o *swimming roll* ou rolo flutuante. A camisa do rolo é suportada por um colchão de óleo pressurizado que se estende em toda a largura do rolo (rolo de 1 zona). Deste modo o abaulamento pode ser ajustado através da pressão do óleo, inclusive para diferentes cargas da prensa.
- Nos anos 70 foram desenvolvidos rolos com zona(s) controlada(s), capazes de controlar o perfil da força linear (LF) inclusive em pontos selecionados, por zona. A camisa é sustentada por um grande número de elementos hidrostáticos de sustentação agrupados em 6 a 8 zonas.
- Desde 1994 o potencial de controle foi aumentado pela introdução de rolos em que os elementos de sustentação são controlados individualmente. No caso, para pleno êxito do controle, a camisa deve ser muito flexível.

PRODUÇÃO DE PAPÉIS TISSUE

Para exemplo de como o desenho da máquina tem sido desenvolvido para classes especiais de papel é mostrado o progresso das máquinas de tissue. Uma moderna máquina tissue convencional, com seção de formação tela/feltro e um rolo de prensa atuando contra um cilindro secador de grande diâmetro, coberto por uma capota, pode ser vista na Figura 19. Velocidades máximas de máquinas tissue superam os

load. Thus the mean line force in the press nip could not be varied without having an over- or under-crowning of the roll. Furthermore, the circumferential speed of a crowned roll is different over the roll length. With the small machine widths the problem was not too obvious.

- In the 1950s the *swimming roll* was developed. The roll shell is supported by one single pressurized oil cushion extending over the full roll width (1-zone roll). So the roll crown can be adjusted by the oil pressure, also for different press loads.
- In the 1970s zone controlled rolls were introduced which were able to control the line force (LF) profile also locally zonewise. The shell is carried by a large number of hydrostatic supporting elements combined in 6 to 8 zones.
- Since 1994 the control potential was increased by introducing rolls where the supporting elements are individually controlled. For full control success the shell has to be very flexible.

TISSUE GRADES PRODUCTION

As an example of how machine design has been improved for special paper grades, the progress in tissue machines is shown. A modern conventional tissue machine can be seen in Figure 19 with a wire/feltro forming section, one press roll acting against a large diameter drying cylinder, which is covered by a hood. Top speeds of tissue machines are above 2100 m/min.

2100 m/min. Alguns fatos históricos do desenvolvimento de máquinas tissue são expostos na sequência.

Formação

Em tempos passados os papéis tissue eram formados em mesas planas. Mais tarde passou a ser praticada a formação em rolo cabeceira de sucção (até o final dos anos 70). Sua velocidade limite era inferior aos 1500 m/min. A orientação das fibras não conseguia ser controlada de modo a se obter relação mais baixa entre as resistências longitudinal/transversal da máquina de papel a altas velocidades. Para melhor domínio sobre a relação longitudinal/transversal da máquina foram desenvolvidos formadores de tela dupla, com a caixa de entrada posicionada na parte inferior (envolvimento C) ou na parte superior (envolvimento S). O *Crescent Former* é uma especialidade, usa uma tela no lado da drenagem e um feltro no lado interno, que transfere a folha de papel diretamente para o cilindro secador e nip de prensagem.

Prensagem

O desaguamento em prensas é usualmente feito por dois rolos de pressão que atuam contra um cilindro Yankee, em geral com um deles sendo um rolo de sucção. Por motivos relacionados com o melhoramento do volume do papel (*bulk*) é também usado somente um rolo de pressão. Há mais de uma década é às vezes também utilizada uma prensa de nip largo. Outros métodos de desaguamento serão descritos para as máquinas de tissue macio.

Secagem

Em máquinas tissue convencionais a secagem é feita por uma combinação de secagem por contato e por insuflação.

- Em época passada a secagem de tissue por contato era feita sobre cilindros normalmente com 3,6 m de diâmetro ou menos. Atualmente os cilindros têm diâmetros de cerca de 5 a 6 m, com camisas feitas com liga especial de ferro fundido cinza. Algumas camisas são soldadas. No passado, até os anos 70, foram relatadas diversas graves explosões de cilindros em diferentes partes do mundo. Desde essa época foi feito um nítido progresso em segurança no que se refere à metalurgia, técnica de fundição, colocação de pinos, cálculo de tensões e - muito importante - controle da operação. Quanto a isso um grupo de especialistas das empresas fornecedoras e produtoras estabeleceram o estado-da-arte em operação segura de cilindros Yankee [3], o que constitui um excelente exemplo de cooperação em escala mundial em relação a um problema de segurança extremamente crítico. Camisas de cilindros Yankee eram usualmente lisas internamente. Na década de 70 camisas ranhuradas passaram a ser cada vez mais usadas para ampliar a capacidade de secagem, seguindo melhoramento adicional mediante barras defletoras. Com vistas a redução de desgaste, cilindros Yankee são frequentemente revestidos por metalização. Isto constitui padrão quando o cilindro é construído com camisa de aço soldada.

Here some historical facts of the development in tissue machines are given.

Forming

In earlier times tissue grades were formed on Fourdriniers. Later on, suction breast roll forming was used (until late 1970s). Its speed limit is below 1500 m/min. The fibre orientation could not be controlled in a way to reach lower MD/CD strength ratio at high speeds. For better influence on the MD/CD ratio twin wire formers were developed, the headbox being positioned on the bottom (C-wrap) or on the top (S-wrap). The Crescent Former is a speciality, it uses a wire at the drainage side and a felt at the inside which transfers the paper web directly to the drying cylinder and the press nip.

Pressing

Press dewatering is usually done by two pressure rolls acting against a Yankee dryer, one of them mostly being a suction press roll. For bulk improvement reasons only one pressure roll is used as well. Since more than one decade also a wide nip press is sometimes applied. Further dewatering methods will be described for the soft tissue machines.

Drying

Drying in conventional tissue machines is done by a combination of contact and impingement drying.

- *Contact drying of tissue in earlier times was done on cylinders mostly 3,6 m diameter or less. Today cylinder diameters are about 5 to 6 m, with shells made of a special alloy of grey cast iron. Some shells are welded. In the past, up to the 1970s, several severe cylinder explosions were reported worldwide. Since that time distinct progress was made in safety as regards metallurgy, casting technique, plugging, stress calculation and - most important - operation control. Here a group of specialists from supplier and producer companies established the state-of-the art in safe Yankee dryer operation [3], which is an excellent example for worldwide cooperation in a most critical safety problem. Yankee dryer shells usually were plain. In the 1970s, ribbed shells were more and more used for higher drying capacity, followed by a further enhancement by spoiler bars. For reduced wear Yankee, cylinders are often covered by metallic coating. This is standard when the dryer has a welded steel shell.*

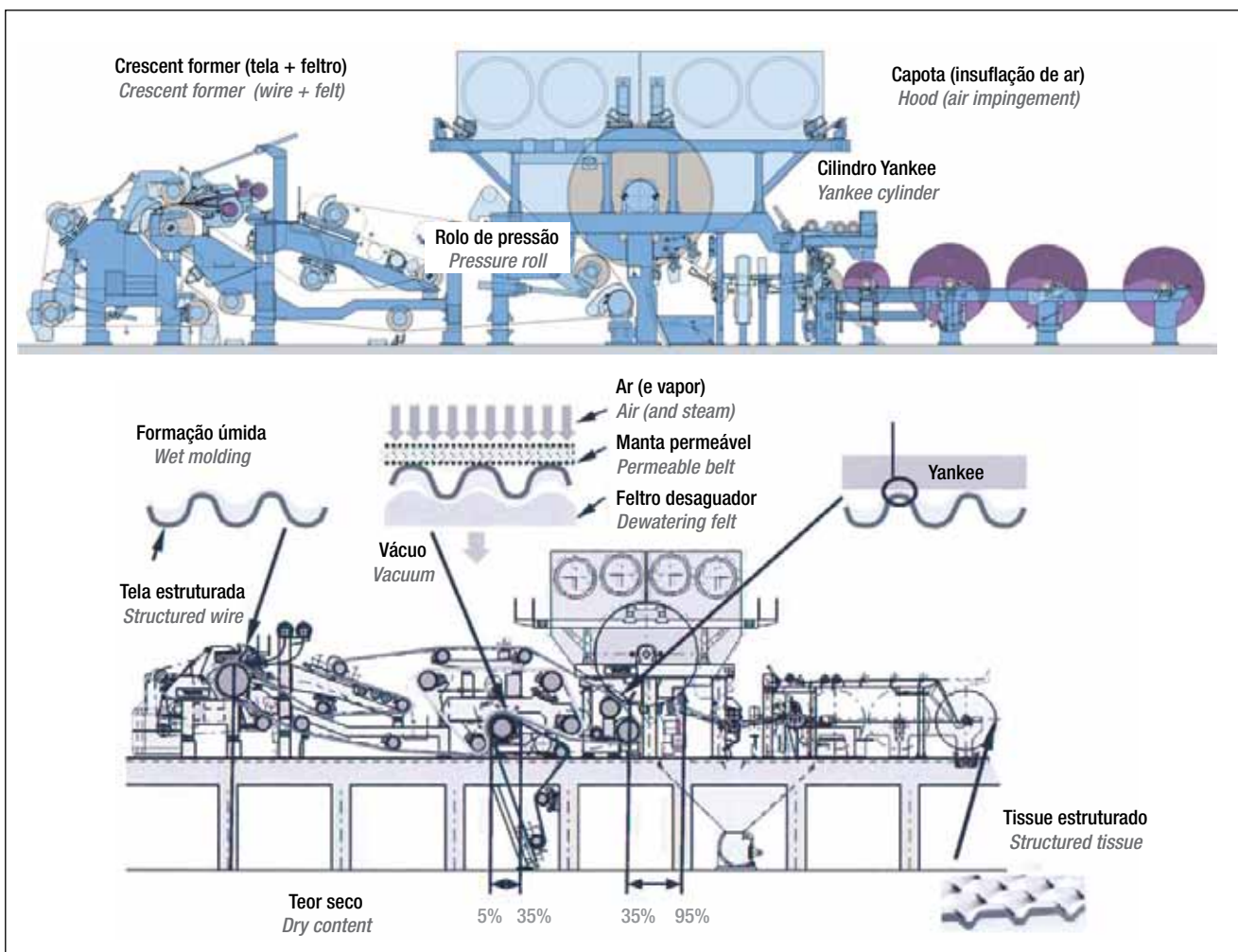


Figura 19. Duas modernas máquinas tissue, a convencional e uma máquina para produção de tissue macio (Fontes: Andritz e Voith)
Figure 19. Two modern tissue machines, a conventional one and a machine for soft tissue production (Source: Andritz and Voith)

- Capotas secadoras de alta eficiência operam atualmente com velocidades do ar de até 210 m/s e temperaturas do ar de até 700°C (queima de gás). Inicialmente esse tipo de equipamento operava com 9 m/s (Ross) ou 46 m/s (Spooners). Desde os anos 80 passaram a ser usadas com maior frequência capotas seccionadas para controle do perfil transversal de umidade. Quanto a isso, é muito provável que a capota Drew tenha sido a unidade precursora.

- Today high efficiency drying hoods operate at air velocities of up to 210 m/s and air temperatures up to 700°C (gas fired). At the beginning this kind of equipment worked with 9 m/s (Ross) or 46 m/s (Spooner). Since the 1980s sectioned hoods for control of moisture CD profile were more frequently used. Most probably the Drew hood had been here the forerunner.

Produção de tissue macio

Desde a década de 60 têm sido desenvolvidas técnicas especiais para a produção de tissue macio. A primeira foi o processo TAD (Through Air Drying = Secagem por Passagem de Ar). Aqui a folha formada não é prensada, sendo a água evaporada por ar quente aspirado através da própria folha até um teor seco de aproximadamente 70%. A secagem final e a crepagem subsequente ocorrem sobre um (pequeno) cilindro Yankee. A desvantagem está no alto consumo de energia. Os métodos foram sendo progressivamente refinados para economizar energia e, ao mesmo tempo, melhorar ainda mais a maciez. Um dos

Soft tissue production

Since the 1960s special techniques for soft tissue production have been developed. The first was the TAD process (Through Air Drying). Here the formed sheet is not pressed; the water is evaporated by hot air sucked through the web up to a dry content of about 70%. Final drying and the following creping occur on a (small) Yankee dryer. The disadvantage is high energy consumption. The methods were more and more refined to save energy and to further improve softness at the same time. One of the latest developments is shown in

desenvolvimentos mais recentes é representado na Figura 19. É aqui usado um ‘Crescent Former’ com uma tela especialmente estruturada (lanosa) ao invés de feltro. Durante a formação da folha acontece “formação úmida como de forma redonda”. A seguir a folha estruturada é levemente prensada e através dela é aspirado ar de temperatura mais baixa. A folha é transferida e prensada contra o Yankee em apenas pequena parte de sua área total. Em seguida, a folha é secada até o teor seco final e crepada.

DESENVOLVIMENTOS MENOS BEM-SUCEDIDOS

A maior parte dos desenvolvimentos relatados se constituiu de etapas bem-sucedidas de técnicas avançadas. Alguns outros conceitos de máquinas e componentes foram menos bem-sucedidos mesmo que, de início, tenham parecido promissores (Figura 20). Três exemplos são lembrados a seguir.

- Prensa *Fabric (tela)* (décadas de 60/70): A ideia de armazenar água num tecido adicional durante a passagem através do nip de prensagem foi excelente na época, mas dispendiosa. Os desenvolvimentos em feltros e revestimentos de rolos de prensa inibiram este projeto.
- Máquina *tissue compacta*: A máquina de papel compacta sempre foi sonho acalentado pela maioria dos projetistas. O *Periformer* (anos 60/70) foi construído como uma máquina *tissue* em que as funções de formação, prensagem e secagem da folha estavam todas combinadas e aplicadas sobre o cilindro Yankee, mas este conceito foi abandonado por causa do baixo potencial de velocidade e outras desvantagens decorrentes da superposição de diversas funções controversas.
- Material do rolo de sucção da prensa: Nas décadas de 70 e 80 ocorreram frequentes falhas de rolos de sucção de prensas causadas pelo desenvolvimento e aplicação de uma nova liga A para as camisas, que apresentava resistência

Figure 19. It uses a Crescent Former with a specially structured (napped) wire instead of the felt. During sheet forming “wet mould forming” takes place. The structured web is then slightly pressed and lower temperature air is sucked through. The web is transferred and pressed to the Yankee dryer with only a small part of its whole area. Then it is dried to final dryness and creped.

LESS SUCCESSFUL DEVELOPMENTS

Most of the reported developments were successful steps to the state-of-the-art technique. Some other machine concepts and components were less successful even when they seemed to be promising at the beginning (Figure 20). Here three examples.

- *Fabric press (1960/1970s): The idea to store water during the pass through the press nip in an additional fabric was excellent at that time but costly. The developments in felts and press roll covers displaced this design.*
- *Compact tissue machine: The compact paper machine was always a dream of most of the designers. The Periformer (1960s/1970s) was built as a tissue machine, where the functions of sheet forming, pressing and drying were all combined and applied on the Yankee dryer. This concept was abandoned because of low speed potential and other disadvantages due to mixing of several controversial functions.*
- *Suction press roll material: In the 1970s/1980s a lot of failures of suction press rolls occurred. The reason was that a new alloy A for the shells had been developed and applied, which showed dis-*

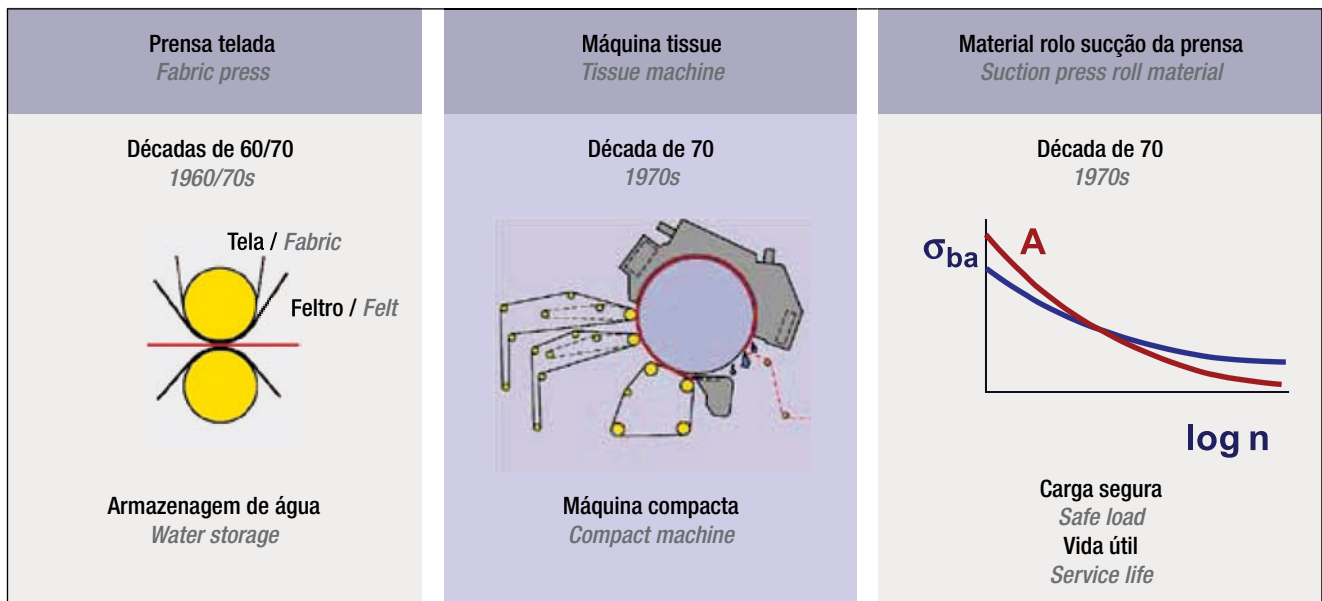


Figura 20. Desenvolvimentos menos bem-sucedidos / **Figure 20.** Less successful developments

a flexões alternadas nitidamente aprimorada (com baixa quantidade de ciclos n) em comparação com a convencional B. O que não havia sido testado em profundidade era o comportamento no longo prazo em atmosfera corrosiva, como acontece na seção das prensas. Esses problemas econômicos e de segurança fizeram com que se reunisse um grupo internacional de especialistas para trabalhar em procedimentos de cálculo de tensões, comportamento do material em atmosfera corrosiva e métodos de teste para encontrar meios de resolver tal tipo de enormes problemas postos à indústria papelera como um todo. Este é um segundo exemplo de cooperação internacional em situações de sério risco. A propósito: tensão 10% menor na camisa ou resistência do material 10% maior resulta em aumento da vida útil com fator de aproximadamente dez - mas o inverso também é verdadeiro!

CONTROLE DA QUALIDADE

O progresso em controle da qualidade online tornou-se possível principalmente em função das inovações na técnica de medição, da introdução de computadores, do desenvolvimento de modelos matemáticos e de equipamentos avançados da máquina (Figura 21).

Controle sentido longitudinal da máquina (MD):

- O primeiro sistema de controle da gramatura foi instalado em 1952.
- Na década de 60 foi também introduzido o controle da umidade.
- A indústria fornecedora desenvolveu equipamentos de medição e sistemas de coleta de dados que podiam suportar o ambiente (temperatura e umidade) da máquina de papel.

Controle sentido transversal da máquina (CD):

- Controle da gramatura transversal era feito por deflexão pontual da lâmina do lábio da caixa de entrada por meio de pinos rosqueados ou hastes aquecidas eletricamente. Caixas de entrada modernas usam controle por diluição ou ambos.
- O perfil transversal de umidade é controlado por rolos de nip controlado e caixas de vapor na seção das prensas; na seção de secagem por ventilação de bolsões com regulagem pontual (desde os anos 60 e 70).
- O controle do perfil de espessura é feito na calandra por meio de rolos com controle de nip em áreas localizadas, por chuveiros de ar (frio ou quente) sobre os rolos ou por sapatas de indução. Em épocas mais antigas eram usadas peças de madeira que deslizavam sobre o rolo e o aqueciam localmente por atrito, aumentando, desse modo, seu diâmetro numa posição específica e em sua vizinhança.
- A lisura é controlada de modo semelhante à espessura; caixas de vapor seccionais são um meio adicional de controle.
- Teve de ser assegurado deslizamento preciso do sensor de medição (preciso na distância da folha e na velocidade de

tinctly improved alternating bending strength (at low amount of cycles n) compared to the conventional one (B). What had not been tested in depth was the behaviour on the long run in a corrosive atmosphere, as given in the press section. These safety and economic problems brought together an international group of specialists to work on stress calculation methods, material behaviour in corrosive atmosphere, and test methods to find ways for solving the immense problems for the whole paper industry. This is a second example for international cooperation in severe risk situations. By the way: 10 % lower stress in the shell or 10% higher material strength leads to a increase in life time of a factor of about ten - but the same is true vice versa!

QUALITY CONTROL

Progress in online quality control was mainly made possible by the innovations in measuring technique, by the introduction of computers, development of mathematical models and by advanced machine equipment (Figure 21).

Machine direction control (MD):

- *The first basis weight control system was installed 1952.*
- *In the 1960s moisture control was introduced as well.*
- *The supplier industry developed measuring equipment and data collecting systems which could bear the environment (temperature and humidity) in the paper machine.*

Cross machine direction control (CD):

- *CD basis weight control was done by local deflection of the nozzle bar through spindles or electrically heated rods. Modern headboxes use dilution control or both.*
- *The CD profile of moisture is controlled by nip control rolls and steam boxes in the press section, in the dryer section by locally adjustable pocket ventilation (since the 1960s and 1970s).*
- *Control of the caliper profile is done in the calender by nip control rolls with small zones, by air showers (cold and hot) to the rolls or by induction shoes. In former times narrow wooden shoes were used sliding on the roll and locally heating up the roll by friction, thus increasing the roll diameter at that position and its vicinity.*
- *Smoothness is controlled similar to caliper, a further control means are sectioned steam boxes.*
- *A precise sliding of the measuring device (precise in distance to the web and in crossing speed) across*

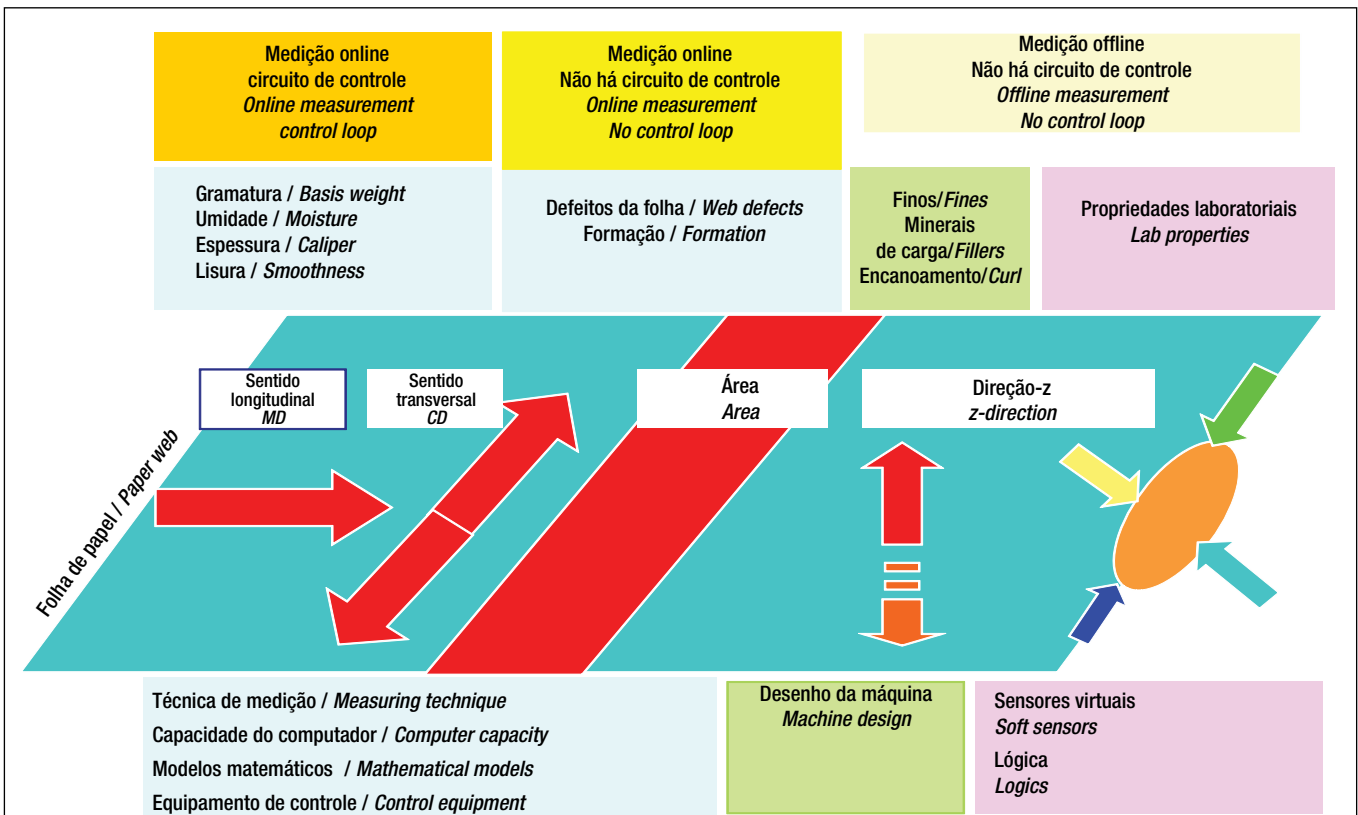


Figura 21. Passado, presente e futuro da medição e do controle da qualidade / **Figure 21.** Past, present and future of quality measurement and control

deslocamento) ao longo da largura da máquina para efeito de coleta de todos os dados de controle transversal.

Direção-z:

- A distribuição de finos e pigmentos de carga na direção-z do papel não pode ser medida online. Um melhoramento geral foi obtido com a introdução da formação com tela dupla (twin wire). Atualmente o controle é realizado mediante ajuste da taxa de desaguamento em ambos os lados mediante ajustes do vácuo. Um circuito fechado não está (ainda) disponível.
- Um problema urgente é o encanoamento, como, por exemplo, para papel para cópias. O encanoamento não pode ser medido online, pois não é causado apenas por secagem assimétrica, depende também da estrutura uniforme do papel na direção-z. Quando aquecido, o papel fica mais seco e, em função disso, suas dimensões se alteram. As fibras se contraem na espessura muito mais do que no comprimento. Dessa forma uma folha com mais fibras orientadas no sentido longitudinal (MD) se contrai mais no sentido transversal (CD) do que no sentido longitudinal. Diferenças na orientação predominante das fibras no lado superior em comparação com o lado inferior da folha resultam em encanoamento. Ao deixar uma caixa de entrada convencional as fibras nos lados superior e inferior do jato têm normalmente uma pré-orientação assimétrica, resultando em orientação diferente das fibras nos lados superior e inferior da folha e, assim, pode ocorrer encanoamento. Uma orientação simétrica das fibras no jato é portanto obrigatória para esses tipos de papel [4].

machine width for all CD data collection had to be ensured.

z-direction:

- The fines and filler distribution in paper z-direction cannot be measured online. A general improvement was obtained with the introduction of the twin wire forming. Today control is done by adjusting the dewatering ratio to both sides by adjusting the vacuum. A closed loop is not (yet) available.
- An urgent problem is curl e. g. for copy paper. It cannot be measured online. Curl is not only caused by non-symmetrical drying, but also depends on the symmetry of the paper structure in z-direction. When heated the paper gets dryer and thereby changes dimension. Fibres mainly shrink in thickness much more than in length. So a sheet with more MD oriented fibres shrink more in CD rather than in MD. Differences in main fibre orientation at the top side compared to the bottom side of the sheet therefore result in curl. Leaving a conventional headbox, the fibres at the top and bottom side of the jet usually have a non-symmetrical pre-orientation, resulting in different fibre orientation of top and bottom side of the sheet, and thus curl can occur. So a symmetrical fibre orientation in the jet is mandatory for these paper grades

Área total da folha

Na década de 70 foi introduzido um sistema de detecção de falhas no papel. Com a crescente capacidade do computador a área inspecionada teve constante ampliação. Atualmente furos tipo de alfinete, sujidades e formação podem ser medidos em toda a área do papel. Circuito fechado de controle para estes parâmetros ainda não está disponível.

Sensores virtuais

Um próximo desafio e outro passo adiante quanto a controle da qualidade poderá ser a introdução de sensores virtuais para medir e controlar parâmetros de qualidade que atualmente podem ser aferidos somente em laboratório. Poderão ser definidos mediante combinação lógica de outros parâmetros medidos online. Isso requer um profundo know-how tecnológico.

E O FUTURO: MAIS RÁPIDA OU MAIS LARGA OU MELHOR?

Quais poderiam ser os pontos focais no desenvolvimento da máquina de papel no futuro: Mais rápida ou mais larga ou melhor? Muito provavelmente isso se referirá a todos eles na medida em que ajudem a melhorar a economia na produção e a atingir a necessária qualidade do produto.

Mais rápida

Como um ponto seguindo outros, o aumento da velocidade da máquina importa em maior risco de quebras da folha, a menos que sua resistência no ponto do primeiro passe aberto seja suficientemente alta. Isto pode ser conseguido, por exemplo, por meio de aumento adicional do teor seco da folha após as prensas; ou por um equipamento especial de secagem adicional; ou em função de melhor composição da massa – ou evitando totalmente passes abertos. Tudo isto tem impacto sobre a economia. Certo aumento de velocidade em pequenas etapas ainda parece provável. A questão é quanto e para qual tipo de papel?

Mais larga

Aumento da largura máxima da máquina não é unicamente um desafio em termos de projeto e fabricação de peças da máquina, é também difícil devido a maiores pesos a manusear durante a operação diária, bem como para a manutenção de rolos. São necessárias seções transversais maiores de peças de máquina em muitas posições, que podem ter impacto na tecnologia do papel. Por exemplo, um diâmetro maior em rolos formadores pode influenciar a formação; diâmetros maiores na prensagem podem estender o nip. Certo aumento em largura de máquina em pequenas etapas parece possível.

Mais rápida e mais larga

Como exemplo, a capacidade adicional de uma máquina de papel nova de 12 m de largura e 2000 m/min de velocidade equivale a 4 máquinas de 6 m e 1000 m/min. Ela portanto influencia em larga medida o mercado desse tipo de papel no mundo todo. A máquina mais rápida e mais larga tem claras

Overall web area

In the 1970s a detection system for paper faults was introduced. With increasing computer capacity the inspected area was steadily enlarged. Today pinholes, dirt and formation can be measured over the whole paper area. A closed control loop for these parameters is not yet available.

Soft sensors

A next challenge and a further step forward in quality control may be the introduction of soft sensors to measure and control quality parameters which today only can be measured in the lab. They may be defined by logic combination of other parameters which can be measured online. This needs profound technological know how.

AND THE FUTURE: FASTER OR WIDER OR BETTER?

What could be the focal points in paper machine development in the future: Faster or wider or better? Most probably this will concern all of them as long as they help to improve economy in production and to reach the required product quality.

Faster

As one point besides others, increase in machine speed induces higher risk of sheet breaks unless the web strength at the point of the first free draw is high enough. This can be reached e.g. by further increased web dry content after press, or by additional special drying equipment, or by better furnish – or avoiding open draws at all. All this has an impact on economy. A certain speed increase in small steps still seems to be likely. The question is how much, and for which paper grade?

Wider

Increase in maximum machine width is not only a challenge in design and manufacturing of machine parts, it is also demanding due to increased weight handling in daily operation, as well as for roll service. Larger cross sections of machine parts at many positions are necessary and may have an impact on paper technology. E.g. a larger diameter of forming rolls may influence formation, increased diameters in pressing elongate the nip. A certain increase in machine width in small steps seems to be possible.

Faster and wider

As an example, the additional capacity of a new paper machine of 12 m width and 2000 m/min speed equals 4 machines of 6 m and 1000 m/min. So it strongly influences the market of this paper grade worldwide. The faster and wider machine has distinct economic

vantagens econômicas, mas, quando necessária, demonstra menos flexibilidade em muitos aspectos. Essas condições limites podem ser mais facilmente administradas em grandes empresas.

Melhor

Aqui os objetivos principais são economia e qualidade.

Economia:

- Por motivos econômicos, o ulterior aumento da eficiência de produção continuará a ser o foco principal, especialmente para máquinas velozes. Em relação à máquina de papel isso inclui, por exemplo, tempo de produção ampliado, menor tempo para início de operação, menos quebras da folha, menos tempo para troca de fabricação, menos perdas na conversão e menos bobinas retornadas ou estocadas (por motivos de qualidade). Esses melhoramentos podem ser obtidos somente em curtas e sucessivas etapas e requerem larga experiência, controle e boa cooperação de todos os parceiros envolvidos. Quanto mais alto o nível de eficiência de produção do qual se parte, mais árduo vai se tornando. Mas há sempre algumas oportunidades que surgem e que devem ser avaliadas atentamente, e aplicadas quando promissoras. Aqui a prensa de nip único recém-introduzida é bom exemplo de investimentos e custos reduzidos por um lado, e alta capacidade de desaguamento baseada na geometria apropriada do nip de prensagem e no novo desenho do feltro de prensa por outro.

Qualidade:

- Quanto a qualidade, haverá demanda por qualidade ainda melhor. O objetivo será produzir exatamente a qualidade requerida – e não mais. Isso não se aplica somente aos parâmetros de qualidade nos sentidos transversal e longitudinal da folha, mas também para a direção-z, o que significa simetria ou dupla face. Para fechar circuitos de controle, sensores virtuais juntamente com atuadores novos ou existentes podem resultar num próximo passo adiante no sentido de papel com qualidade ulteriormente melhorada.

Que outros novos desafios – por exemplo, de novas aplicações do papel – irão surgir demandando novas soluções? E serão essas e outras questões e exigências, assim como suas respostas, caminho para mudança de paradigma na indústria papelreira do futuro? ▲

advantages, but shows less flexibility in many aspects when needed. These boundary conditions might be handled much easier in larger companies.

Better

Here the main goals are economy and quality.

Economy:

- *For economic reasons a further increased production efficiency will continue to be a main focus, especially for fast machines. Related to the paper machine this includes e. g. extended production time, shorter starting-up time, less web breaks, shorter grade change time, less loss in converting and less returned rolls or stacks (for quality reasons). These improvements can be obtained only short step by short step and needs a lot of experience, control and good cooperation of all partners in the business. And it is getting even tougher the higher the production efficiency level is one starts from. But there are always some opportunities coming up which should be evaluated carefully and applied when promising. Here the recently introduced single-nip-press is a good example for reduced investment and operating costs on the one side, and high dewatering capacity based on proper press nip geometry and new press felt design on the other.*

Quality:

- *As regards quality, an even better paper uniformity will be required. The aim is to exactly produce the required quality – and not more. This is not only true for the quality parameters in MD and CD, but also for the z-direction, means symmetry or two-sidedness. For closing control loops, soft sensors together with new or existing actuators may result in a next step forward to further improved paper quality.*

Which further new challenges – e.g. from new paper applications – will come up calling for innovative solutions? And will these and other questions and requirements as well as their answers lead to a change in paradigm in the paper industry in the future? ▲

REFERÊNCIAS / REFERENCES

1. H. Holik, *Looking back on 100 years of progress in papermaking*, O Papel, Feb. 2010, pp. 51-73
2. H. Holik (Ed.), *Handbook of Paper and Board*, Wiley-VHC, ISBN 3-527-30999-3 2006
3. W., G. Corboy, *Yankee Dryers: Guidelines for Safety and Condition Assessment*, TAPPI PRESS, 1992, ISBN: 0898522692
4. J. Moser, *New technology for copy paper production*, CD ABTCP-PI, October 26-29 2009, Sao Paulo