

# **Reforço do papel através da adição de polímeros**

**Estudo de um caso prático na indústria de papéis decorativos**

Rodrigo Assis Bastos NUSP 2239128

Orientador: Prof. Dr. Hélio Wiebeck

---

# Índice

## 1. Introdução

### 1.1 Objetivo

### 1.2 O Finish foil como material de revestimento.

## 2. Conceitos teóricos

### 2.1 O papel como material de engenharia

### 2.2 Propriedades mecânicas do papel na direção z

### 2.3 Transporte de fluidos no papel

### 2.4 Reforço do papel pela adição de polímeros

## 3. Procedimentos experimentais

### 3.1 Obtenção das amostras

### 3.2 Gramatura

### 3.3 Espessura aparente

### 3.4 Resistência a tração na direção z

### 3.5 Microscopia da secção

## 4. Resultados

### 4.1 Gramatura

### 4.2 Espessura aparente

### 4.3 Resistência a tração na direção z

### 4.4 Microscopia da secção

## 5. Analise dos resultados

## 6. Conclusão

## 7. Bibliografia.

## 8. Agradecimentos

---

## 1. Introdução

### 1.1 Objetivo

Estudar o reforço do papel causado pela adição de polímeros na forma de top coat ou verniz dentro da industria de papeis decorativos ou “finish foil”.

### 1.2 O finish foil como material de revestimento.

Papeis decorativos ou folhas de acabamento utilizados como revestimentos de moveis, também chamados de finish foils foram desenvolvidos nos anos 60 e hoje possuem na Europa a liderança em revestimentos de painéis e moveis. No Brasil este produto ganha espaço, principalmente entre as classes mais baixas, principalmente devido ao seu preço.

Como todo material de revestimento, é esperado que possua certos requisitos de engenharia:

1. Barreira a líquidos, vapor e gases.

Todo e qualquer liquido que atinja a prancha de aglomerado bem como MDF provoca um inchaço das partículas de madeira. Uma barreira inclusive a gases originados da manufatura da prancha (formoldeído) que podem causar danos a saúde.

2. Resistência química.

Ao produto encontrados nos lares.

3. Resistência mecânica.

O produto deve resistir a delaminação, ou seja, a separação das camadas de papel e verniz.

4. Resistência ao desgaste.

Abrasão e risco.

5. Aspecto visual padronizado.

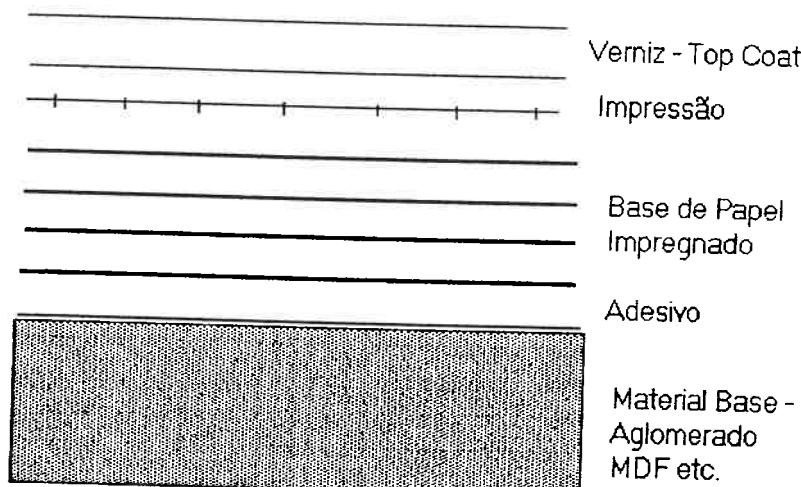
Necessário em uma industria de moveis onde a fabricação não é artesanal.

6. Processabilidade.

---

A alta produtividade no processo de revestimento aumenta consideravelmente a rentabilidade.

O processo de fabricação básico inclui a utilização de um papel impregnado, ou não, com polímeros como base para uma impressão de um padrão imitando a madeira ou



uma cor uniforme, recebendo logo após uma camada de verniz. O produto final, já aplicado sobre uma prancha de aglomerado ou MDF, possui a seguinte estrutura:

O conjunto acima, só é finalizado na industria que fabrica que reveste as chapas, ou na industria de móveis. Geralmente o finish foil é caracterizado como um produto já laminado em um substrato. Porém estas propriedades sempre foram influenciadas por uma gama de fatores exclusivos do processo em que ele é submetido para ser laminado. Incluindo:

1. Substrato – aglomerado, MDF, chapa dura, etc.
2. Natureza e teor da cola.
3. Temperatura.
4. Pressão.

---

Este trabalho procura eliminar estas influencias na caracterização. Não para que se ignore o processamento futuro, mas para melhor entende-lo.

Para analisarmos o FF como material de engenharia, precisamos entende-lo como um coating que é aplicado sobre um papel para depois ser laminado a uma chapa. Esta intermediação do papel tem como objetivo, melhorar a qualidade de impressão de um padrão, que se fosse aplicado diretamente sobre a chapa perderia em definição e reproduzibilidade além de uma produtividade maior e custo inferior.

Na industria brasileira a utilização de papeis pre-impegnados como matéria prima vem perdendo lugar a papeis MG nacionais de características mecânicas inferiores, principalmente devido aos altos custos de importação. A concepção de que a resistência a delaminação do produto final depende exclusivamente do papel base cada dia perde força.

A função deste trabalho é dar base teórica e experimental para a concepção de que o finish foil produzido com papeis nacionais pode atingir um resultado satisfatório neste requisito de engenharia, bastando para isso, a utilização de tecnologia e conceitos científicos no estudo e concepção do produto.

---

## 2. Conceitos teóricos

### 2.1 Papel como material de engenharia.

O papel é um rede estocástica de fibras como ilustra a figura 1. Podemos classifica-lo também como uma rede de fibras de celulose auto ligantes contendo muitas vezes aditivos, cargas e agentes de ligação. Não devemos considerá-lo como uma estrutura bidimensional pois deixariamos de considerar sua estrutura interna de poros, como mostra a figura 2.



Figura 1 – Imagem de 1 mm<sup>2</sup> da superfície do papel



Figura 2 – Corte na seção do papel

## 2.2 Propriedades mecânicas do papel e resistência a tração na direção z.

O papel é um material totalmente anisotrópico, com diferentes propriedades mecânicas nos seu três eixos. Devido ao seu processo de fabricação, ele possui geralmente um orientação preferencial de suas fibras formando assim as direções longitudinal e transversal. Além disso sua direção normal ao seu plano preferencial dita como direção z, possui características próprias.

A resistência tração na direção z ou resistência a delaminação é a habilidade que papel possui em resistir tensões de tração na direção de sua espessura.

A figura 3 mostra curvas típicas de tensão-deformação nesta direção.

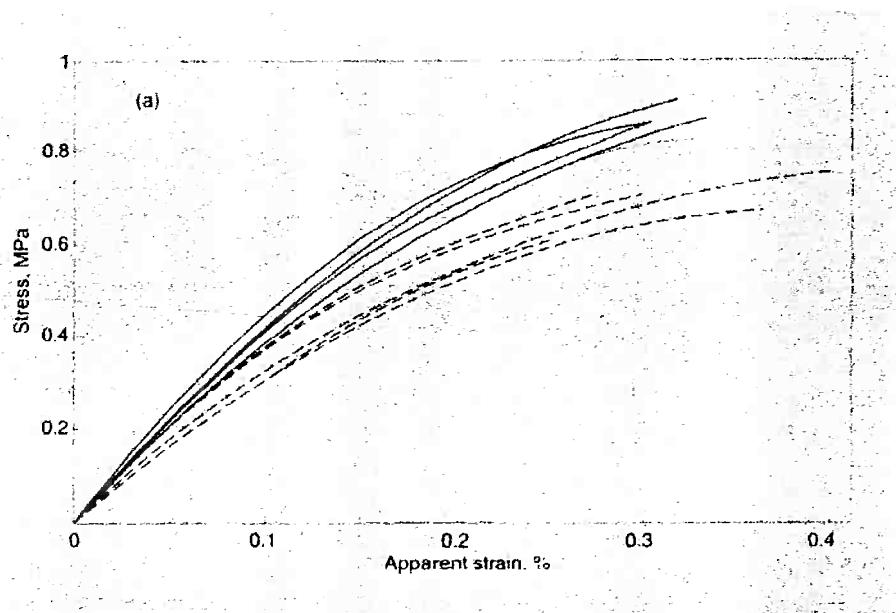


Figura 3 – Curvas típicas de Tensão-Deformação de papeis na direção z

Podemos notar que o modulo de elasticidade é pequeno, cerca de 0,5 GPa, ou seja cerca de 10% do modulo no caso de tração no plano de fabricação. Normalmente este valor ainda é mais baixo permanecendo na casa dos 1% do valor medido na transversal.

A região elástica é pequena e a deformação plástica começa praticamente imediatamente quando as ligações entre fibras começam a se abrir. A elongação na ruptura não chega a 0,5%.

Para se medir esta propriedade devemos aplicar tensão em ambos as superfícies do papel. A figura 4 mostra algumas das configurações mais comuns.

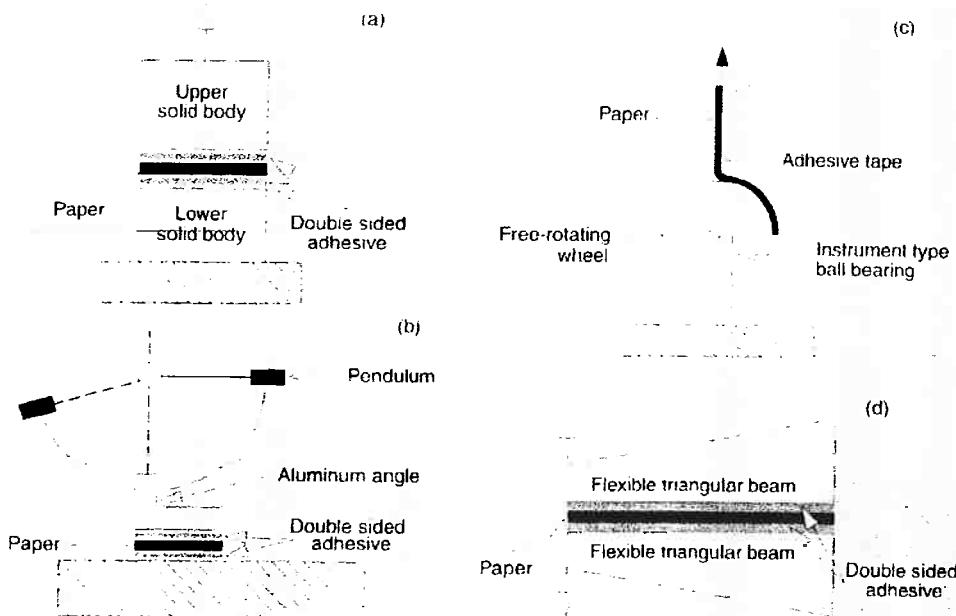


Figura 4 – Configurações comuns nos testes de tração na direção z

No primeiro caso, um aparelho de tração padrão aplica a tensão para delaminar o papel. Na situação b, (Scott bond test) um pêndulo acerta um perfil em L medindo assim a energia gasta para a delaminação. A ruptura é rápida, parecida com situações práticas. Os outros aparelhos tentam medir a energia consumida durante uma delaminação controlada.

No caso da “peel wheel” parte da energia é consumida na dobra da amostra.

Apesar de suas diferenças, energia vs. tração e diferentes processo de ruptura, os testes de delaminação se relacionam bem se a gramatura do papel é mantida constante. Isto porque mudanças na gramatura dão resultados diferentes dependendo do teste, como a fig. 5 mostra.

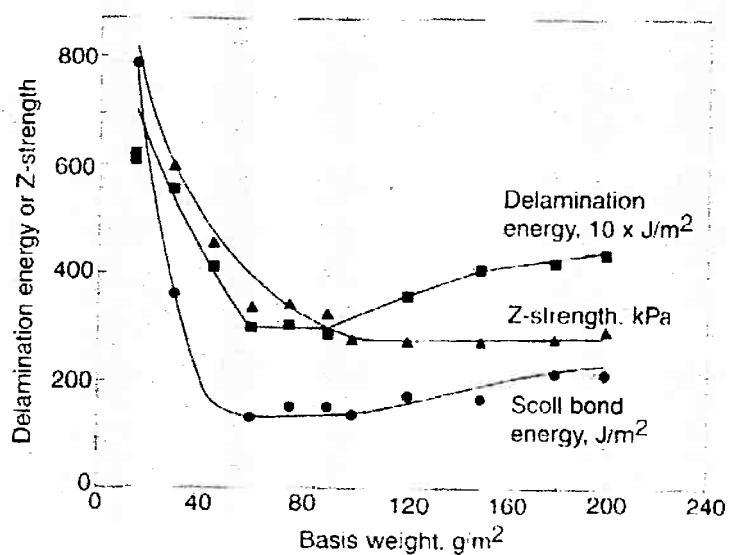


Figura 5 – Resistência a delaminação x gramatura medidos em diferentes métodos.

Em baixas gramaturas todos os valores crescem, devido ao reforço oferecido pela fita adesiva nos dois lados. Outro fator é a maior probabilidade de existirem fibras ou trechos que se encontram com um angulo de 4 à 9 graus em relação ao plano normal que acabam sendo ancoradas pelas fitas adesivas.<sup>1</sup> E como fibras são muito mais fortes que as ligações entre elas, mesmo um pequeno numero de fibras pode significar um aumento considerável na energia consumida na delaminação.

Resistência a tração na direção z é sensível à todo tipo de não uniformidade ou estratificação, a partir do momento que a delaminação vai ocorrer no plano mais fraco. Por isso a distribuição de finos, cargas e resinas na espessura do papel é tão importante.

Quando o teste aplicado utiliza um sentido em que ocorre a delaminação. Os valores na direção longitudinal da folha variam quando se mede no mesmo sentido ou oposto ao que a maquina rodava na consolidação da folha de papel. A causa precisa deste fenômeno ainda não é clara.

---

## 2.3 Transporte de Fluidos no Papel

Como uma primeira aproximação, pode-se ver a rede de fibras de celulose que é o papel como um sistema inerte, no entanto transporte de fluidos no papel ganha em complexidade devido sua interação com as fibras. Por exemplo, água interage, provocando um inchaço que modifica a estrutura da rede de poros.

Permeabilidade se relaciona com a porosidade, o volume de vazios e o volume total do papel. Porém a porosidade não caracteriza suficientemente a permeabilidade da estrutura do papel<sup>2</sup>.

Podemos classificar o transporte de fluidos no papel em quatro casos dependendo se há ou não interação e se é um líquido ou gás. Ver tabela 1.

Fluido	Interação	
	Não	Sim
Gás	Ar	Vapor d'água
Líquido	Óleo	Água

De acordo com a equação empírica encontrada por Darcy, o fluxo constante por um leito fluidizado é proporcional ao gradiente de pressão do fluido. Sendo assim o fluxo laminar  $q$  [m/s] é

$$q = K \frac{\partial p}{\partial x} = K \frac{\Delta p}{L}$$

Onde  $x$  é a direção do fluxo e  $\Delta p$  é a diferença de pressão total. O coeficiente de permeabilidade  $K$  [m<sup>3</sup>/kg] depende do meio poroso e viscosidade do fluido.

---

Se separarmos a viscosidade do fluido  $\eta$  de K. Para líquidos incompressíveis temos:

$$q = -K_v \frac{\partial p}{\eta \partial x} = K_v \frac{\Delta p}{\eta L}$$

Onde  $K_v$  [m<sup>2</sup>] é a permeabilidade específica. A equação de Kozeny-Carman dá uma relação quantitativa entre permeabilidade e porosidade. O modelo assume um leito uniforme de partículas que possuem um diâmetro efetivo  $d_{eff}$ . Lyne mostra a equação como:

$$K_v = \frac{\phi^3 d_{eff}^2}{36(1-\phi)^2 \kappa}$$

$\phi = \text{Porosidade}$
$\kappa = \text{Constante de Kozeny}$
$d_{eff} = \text{Diâmetro Efetivo}$

Em situações práticas a constante de Kozeny k e deff são ajustáveis para formatos irregulares de poros e capilares tortuosos. No entanto a influencia da fibrilação externa e presença de cargas é desconhecida.

A rede porosa no papel é anisotrópica. A permeabilidade também difere em suas três principais direções. De acordo com Lindsay, a permeabilidade na direção longitudinal,  $K_{vx}$ , é maior que na direção transversal, que é maior que na direção z. Esta anisotropia é consistente com o formato elíptico dos poros no papel.

Muitas vezes é mais importante conhecer a penetração no papel de líquidos do que seu fluxo. A penetração acontece por fluxo capilar. A equação de Lucas-Washburn muitas vezes acha-se útil na analise da penetração no papel. Ela pode ser escrita como:

$$h^2 = \frac{r\gamma \cos \theta}{2\eta} t$$

$h = \text{Distância Percorrida}$
$r = \text{Raio Capilar}$
$\gamma = \text{Energia Livre de Superfície}$
$\theta = \text{Ângulo de Contato}$
$t = \text{Tempo}$

---

Somando-se a diferença de pressão externa em adição a pressão capilar temos:

$$h^2 = \frac{r^2 t}{4\eta} \left( \frac{2\gamma \cos \theta}{r} + \Delta p \right)$$

Se considerarmos como em processo de impressão, a pressão no “nip” ( $>490$  kPa)<sup>3</sup> sendo muito maior se comparada com a tensão interfacial:

$$h^2 = \frac{2r^2 tp}{\kappa\eta}$$

A equação de Lucas-Washburn prediz que a penetração de um líquido é proporcional a raiz quadrada do tempo. Este relação que muitas vezes ocorre em medidas experimentais, no entanto isto pode ser também justificado por um processo de difusão. Difusão no “Bulk”, nos poros inter-fibra e intra-fibra e na superfície pode tão importante quanto a penetração capilar.<sup>4</sup> Salminem demonstrou que em muitos papéis a equação de Lucas-Washburn não pode ser observada.

Além disso no caso de processo de impressão, a pressão externa é tão alta que provoca uma compressão do papel que reduz o volume dos poros e aumenta a penetração de líquidos. A recuperação da espessura pode causar uma sucção que transfere líquido adicional ao papel.

A equação de Lucas-Washburn para a penetração de líquidos inertes no papel, muitas vezes não descreve a penetração de água.

Isto sugere que a química da superfície e alguns fenômenos microscópicos podem complicar a penetração. Estes mecanismos incluem: angulo de contato dinâmico e de molha, geometria complexa do poro, e inchaço das fibras.

A penetração sob pressão zero ocorre graças a ação capilar, e ela requer que ocorra a molha, do contrário nenhuma outra força puxa o líquido para dentro do capilar. No nível macroscópico o angulo de contato estático  $\theta$ , medido em condições de equilíbrio é uma característica do fenômeno de molha.

A Molha acontece quando o angulo de contato da fronte liquida sob o superficie sólida é inferior a 90 como mostra a figura 6. Neste caso a energia de superficie livre do sólido é menor quando coberta pelo liquido do que tendo direto contato com o gás ou fase em vapor.

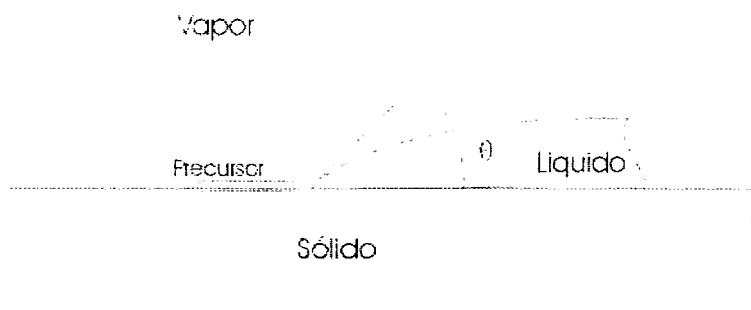


Figura 6 – Angulo de contato na interface.

De acordo com a equação de Young:

$$\gamma_{sv} - \gamma_{sl} = \gamma_{lv} \cos(\theta)$$

Onde  $\gamma$  é a energia livre na interface. Os sobrescritos : SV, SL e LV se referem a interface sólido vapor, sólido líquido e líquido vapor.

Quando um líquido é forçado a ter contato, a molha sempre ocorre. Ou seja em processo como o de impressão isto deve ser levado em conta.

O modelo do angulo de contato é inadequado ao nível microscópico. Muitos estudos indicam que um líquido não termina abruptamente como mostra a figura. Ao invés, um fino precursor se estende na frente do bojo da fase líquida. Este filme precursor difere em propriedades e em particular a tensão interfacial do bojo não atrapalha seu espalhamento.

Quimicamente, umectação é um fenômeno de adesão entre um líquido e uma superficie sólida. Ao nível molecular, interações dispersivas (forças de London) e ácido-base são os dois mecanismos básicos de interação<sup>5</sup>. As forças de origem polar são mais fortes porem de alcance menor.

---

Em papeis hidrofóbicos a penetração sob pressão zero quando medida mostra um “wetting delay” ou atraso na molha como mostra Niskamen.

Mesmo se o angulo de contato for maior que 90 e a pressão for zero, a tensão interfacial pode impelir um líquido a penetrar no papel, se há capilares convergentes. Isto porque a superficie do meniscos diminui quando isto ocorre<sup>6</sup>.

## 2.4 Reforço do papel através da adição de polímeros.

A adição de polímeros a uma rede de fibras como o papel, pode ser feita antes ou depois da rede estar formada. Polímeros podem ser adicionados de varias maneiras: 1. Monomero que depois é polimerizado. 2. Uma solução de baixo peso molecular que depois sofre cross-linking. 3.Uma solução não aquosa 4. Uma emulsão tipo látex.

Este polímero pode ter varias funções: 1. Um agente de ligação para as fibras. 2. Um agente de proteção contra a degradação química e mecânica.

Nosso foco é no uso de polímeros sintéticos usados para melhorar a resistência de ligação entre fibras, adicionados após a rede de celulose estar formada e seca.

O primeiro requisito para que ocorra tal melhora é a adesão do polímero com a fibra de celulose, para isso três coisas devem ocorrer:

1. Molha da superficie.
2. Solidificação ou endurecimento para dar resistência ao cisalhamento.
3. Deformabilidade para reduzir a concentração de tensão residual.

Contato intimo entre as superficies a serem ligadas é necessário para que um ligação química aconteça ou seja as superficies necessitam estar a menos de 10 A de distancia.

Um método empírico foi proposto por Zisman para julgar as características de molha de um superficie. Consiste em plotar o coseno do angulo de contato contra a tensão interfacial líquido-vapor usando para isso uma serie de líquidos homólogos aplicados a superficie de interesse. Como mostra a figura 7.

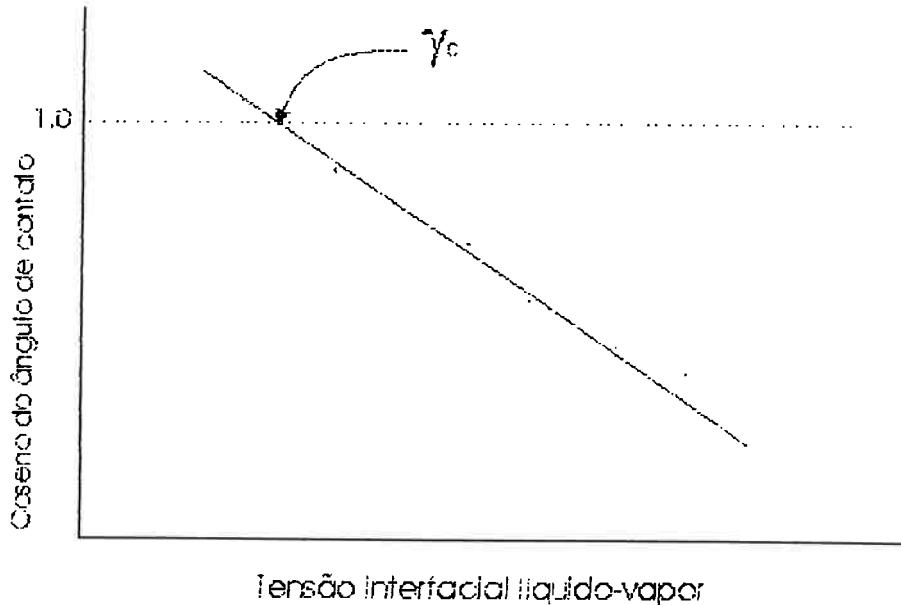


Figura 7- Gráfico Tensão interfacial vs. coseno do ângulo de contato.

Por extração linear até  $\cos = 1$ , a tensão interfacial crítica  $\gamma_c$ , uma característica da superfície pode ser encontrada. Um líquido tendo um tensão superficial igual ou menor a  $\gamma_c$  vai rapidamente se espalhar.

No caso de vernizes, a adição de modificadores de superfície, ou seja, compostos que não participam da reação mais devido a sua estrutura abaixam a tensão interfacial para promover este rápido espalhamento.

O grau de interação fibra-polímero pode ser julgado pelo melhora alcançada nas propriedades mecânicas do papel. Isto se consegue maximizando a interação fibra polímero. As possíveis localizações de um polímero na rede de fibras de celulose é mostrada na figura 8. Incluem:

1. Ligação entre fibras.
2. Dentro da parede da fibra.
3. Ao longo da superfície da fibra.
4. Formando pontes entre as fibras.

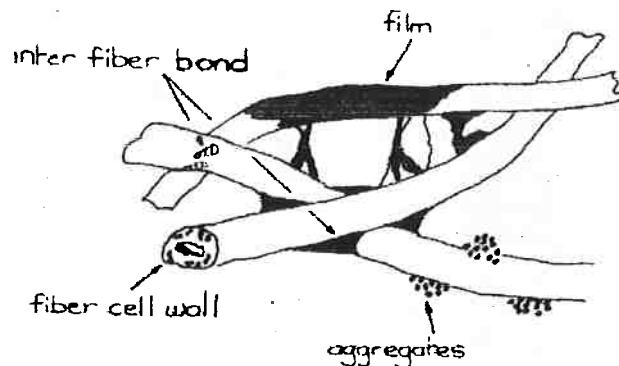


Figura 8 – Sítios de localização possível do polímero na rede de fibras.

A ligação entre fibras representa a melhor localização em relação a resistência mecânica. O polímero pode estar presente na interface fibra-fibra, repondo ou suplementando ligações existentes ou como agente de reforço para reduzir a concentração de tensão.

É importante notar a melhora na resistência das ligações entre fibras são mais efetivas quando se adiciona polímeros a papeis de baixa resistência.

De acordo com Waterhouse<sup>7</sup>, a densidade total aparente que a massa de polímero mais fibra por unidade de volume da rede é uma importante variável quando nos referimos as propriedades de redes impregnadas. Esta densidade aparente, no caso de adições feitas após a rede estar seca depende do conteúdo de sólidos da solução polimérica e da massa de polímero adicionada ao papel.

Podemos considerar também a fração sólida da secção cruzada ( $1-\varepsilon_T$ ) do papel que para uma rede de fibras impregnadas é dada por<sup>8</sup>:

$$(1 - \varepsilon_T) = \frac{\rho_{aT}}{\rho_f} [1 + \eta \left( \frac{\rho_f}{\rho_p} - 1 \right)]$$

$\rho_{aT}$  = Densidade \_ Total \_ Aparente

$\rho_f$  = Densidade \_ da \_ Fibra

$\rho_p$  = Densidade \_ do \_ Polímero

$\eta$  = Conteúdo \_ do \_ Polímero

---

Quando a densidade do polímero é menor que a da fibra, a densidade aparente máxima é dada por:

$$\rho_{a_{T_{\max}}} = \frac{\rho_f}{1 + \eta(\rho_f / \rho_p - 1)}$$

### 3. Procedimentos experimentais.

#### 3.1 Obtenção da amostras

As amostras para o estudo foram obtidas dentro utilizando-se de processos industriais comuns. Para cada amostra foram obtidos os papeis base já impressos, porém sem o verniz, bem como do produto com o verniz aplicado.

O processo de fabricação inclui a aplicação do verniz por um sistema de transferência por rotogravura.

Este sistema consiste em um cilindro cromado onde células ou pequenos reservatórios de tinta (ou verniz) são preenchidos em excesso. Uma faca ou doctor blade retira o excesso e deixa quantidade precisa remanescendo na célula. O papel é pressionado diretamente contra o cilindro por um rolo recoberto de borracha e o conteúdo da célula é transferido. Como mostra a figura 9.

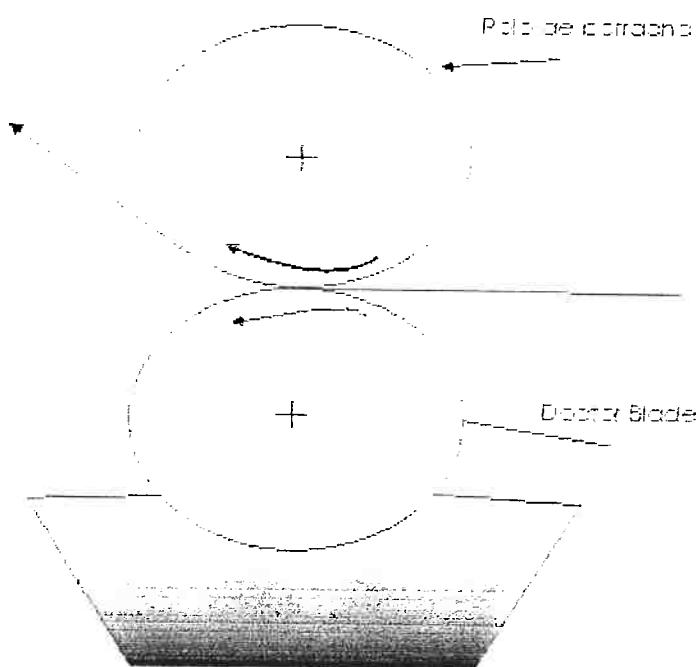


Figura 9 – Sistema de aplicação por rotogravura.

---

Com este sistema pode-se variar a quantidade de verniz aplicado mudando o volume das célula, a dureza do rolo de borracha, o tipo de papel etc. Bem como alterar as características de penetração alterando estas variáveis e a formulação de aplicação do verniz (teor de sólidos, viscosidade etc.)

Buscou-se amostras com diferentes graus de penetração ou espessuras da película de verniz sobre o papel. Estas diferenças foram causadas no processo produtivo industrial pelas razões acima citadas.

O verniz aplicado possui como resina a melamina-formaldeído butilada em um sistema a base de solvente com teor de sólidos de 55 %. A escolha desta resina se deve a sua grande resistência a temperatura necessária nos processos subsequentes de laminação.

A reação é um clássico sistema de catalise acida. O catalisador, um ácido paratolueno sulfônico aumenta a velocidade da reação baixando o pH para o lado ácido.

Ocorreu também a adição de modificadores de superfície com o objetivo de diminuir o coeficiente de atrito e assim melhorar seu desempenho. Estes modificadores tiveram que ser eliminados esfregando-se uma solução de álcool para que fosse possível a adesão da fita dupla face no teste de resistência a tração.

### 3.2 Gramatura

A massa do papel em relação a sua área ou gramatura é uma importante característica do papel. Para estudar o finish foil o mesmo se aplica, pois a conteúdo de verniz aplicado pode ser também expresso dessa maneira.

Utilizando-se da norma P6 da ABTCP, obteve-se a gramatura tanto do papel base impresso como do produto final. Neste método mede-se a massa de uma amostra de área 0,1 m<sup>2</sup>.

Medindo-se antes e após a aplicação do verniz e sempre tomando o cuidado de condicionar as amostras em um ambiente com umidade relativa de 50% por pelo menos 24 horas evitando assim desvios devido a absorção de umidade.

### 3.3 Espessura aparente

A espessura do papel é uma dimensão complexa. Ela possui variações locais quando medidas a intervalos menores que a largura das fibras.

Medir a espessura aparente significa utilizar uma área de medição algumas vezes maior que a largura da fibra. Para evitar a compressão da folha uma pressão de 0,1 MPa é aplicada por uma chapa de metal. O resultado é próximo a espessura máxima local na área sobre o chapa de metal. Como mostra a figura 10.

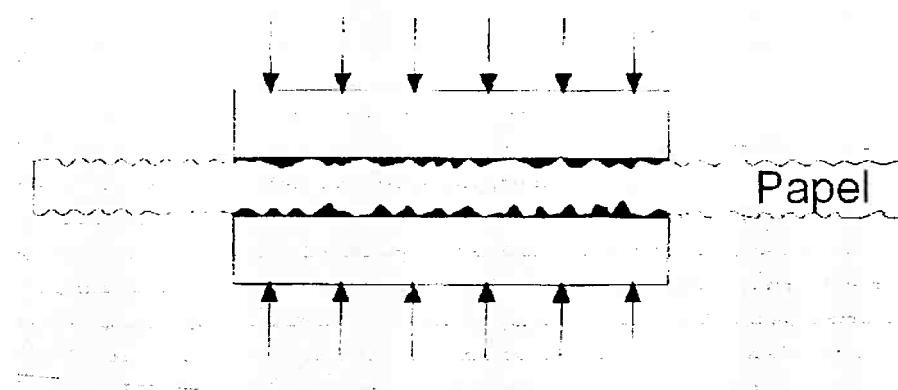


Figura 10 – Sistema de medição da espessura do papel.

Para cada amostra foram feitas 10 medições de espessura utilizando-se de um micrômetro.

O objetivo desta medida é calcular o volume de verniz que não penetrou na rede de fibras de celulose. Como mostra a figura 11:

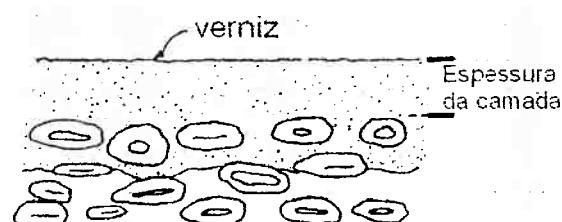


Figura 11 – Ilustração da medida de espessura aparente da camada de verniz.

---

### 3.4 Resistência a tração na direção z

Para se aplicar uma força de tração nesta direção se fez uso de uma adaptação do método T 541 om-89 da TAPPI utilizando-se de um aparelho de tração com velocidade de alongamento constante utilizado na norma da ABTCP P46.

Neste método foi utilizado uma fita adesiva dupla face 4885 da 3M cobrindo uma área de 12 mm por 12 mm da amostra.

Dois blocos de metal foram fixados pela fita adesiva a cada uma das faces da amostra e tensionados em um aparelho do tipo pêndulo da marca Regmed.

A velocidade de alongamento foi fixada em 20 mm/min. Cuidados foram tomados para certificar que ocorreu um rompimento completo da amostra em toda sua área e que não houve falha por parte da fita adesiva.

O aparelho forneceu a força em kgf de rompimento ou delaminação da amostra e estes valores foram convertidos para kPa.

Para cada amostra mediu-se a força antes e depois da aplicação do verniz.

### 3.5 Microscopia da secção

Utilizando-se de métodos de microscopia metalográfica obteve uma imagem da secção do produto acabado. Para isso algumas adaptações foram feitas.

Para evitar a destruição ou modificação das amostras utilizou-se uma resina de embutimento a frio, no caso poliéster. Esta resina por não reagir com os constituintes das amostras provou-se ser uma boa alternativa.

Após o embutimento as amostras passaram por um processo de lixamento seguido de polimento comum ao método metalográfico. Utilizando-se de uma câmera digital acoplada ao microscópio obteve-se imagens com aumentos de até 1000 vezes.

## 4. Resultados

### 4.1 Gramatura.

Dos cinco produtos analisados os valores encontrados foram:

Produto	Gramatura Inicial g/m <sup>2</sup>	Desvio Padrão $\sigma$	Gramatura Final g/m <sup>2</sup>	Desvio Padrão $\sigma$
A	45,7	0,3	54	0,7
B	53,3	0,8	61,2	0,9
C	45	0,4	54	0,5
D	53,2	0,5	56,8	0,7
E	45,1	0,4	52	0,9
F	52,3	0,6	66	1,1

### 4.2 Espessura.

Produto	Espessura Inicial ( $\mu\text{m}$ )	Desvio Padrão $\sigma$	Espessura Final ( $\mu\text{m}$ )	Desvio Padrão $\sigma$
A	51	0,8	56	1
B	63	0,5	65	0,5
C	51	0,6	56	0,9
D	63	0,7	64	0,8
F	56	0,8	60	0,8
G	62	0,6	70	1

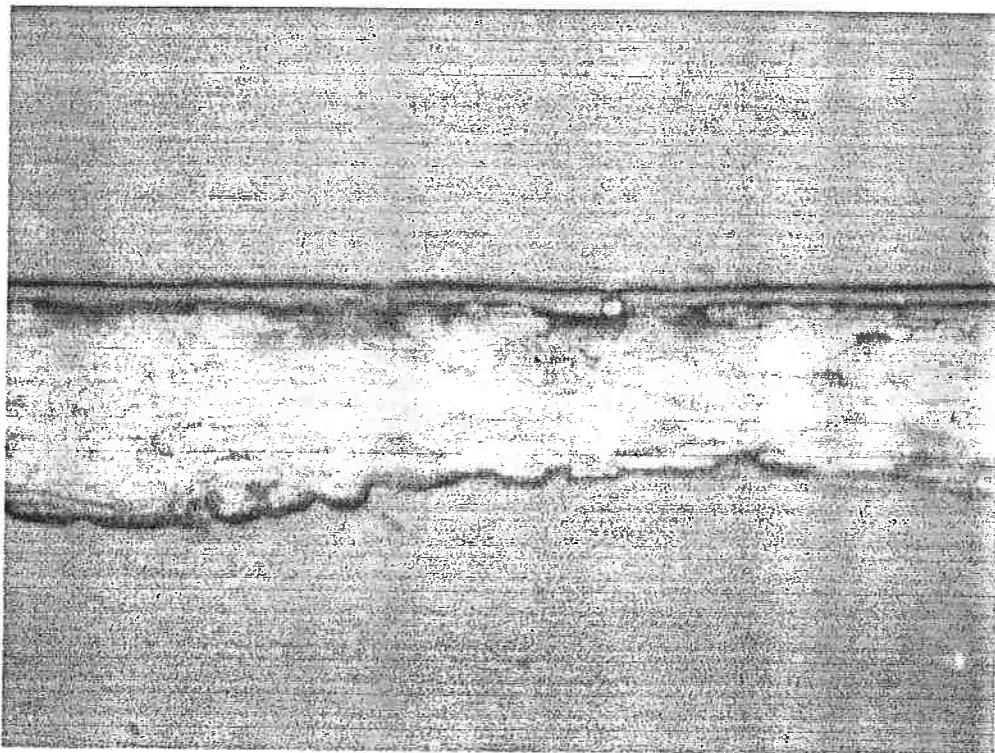
### 4.2 Resistência a tração na direção z.

Produto	Tração z antes (kgf)	Tração z depois (kgf)
A	5,4	5,5
B	5,6	8,6
C	5,7	6,3
D	5,4	6
F	5,5	5,9
G	5,6	6,2

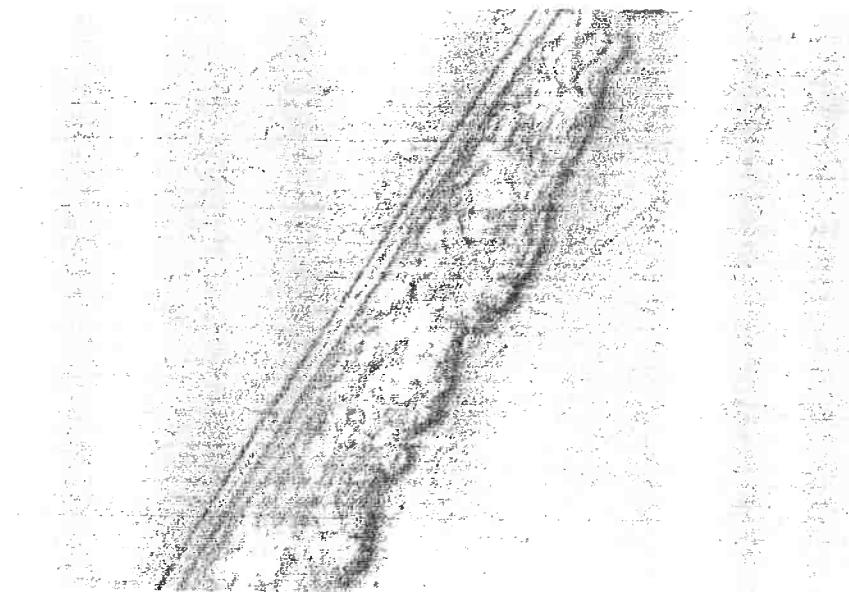
---

### 1.3 Microscopia da secção

Produto C – seccionado na direcção longitudinal 200X.



Produto F corte transversal 100 X



---

Produto E – Corte longitudinal – 500 X



## 5. Analise dos Resultados

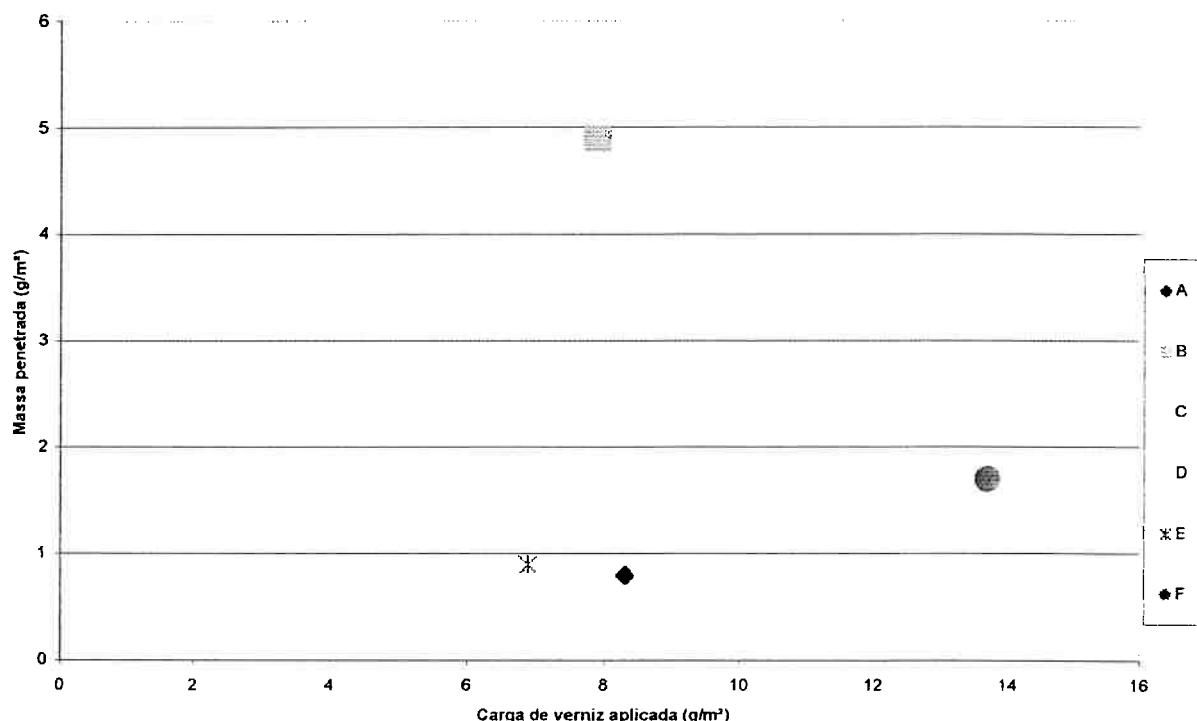
Considerando os valores obtidos pela gramatura antes e após a aplicação do verniz foi possível deduzir a carga de verniz no produto final. Esta carga varia, pois cada produto possui especificações relacionadas as suas propriedades de barreira e aspecto. Outros fatores que contribuem são as condições de aplicação citadas anteriormente.

Com os valores de espessura pode-se inferir a espessura da camada do verniz que não penetrou na rede de fibras. E com esta espessura se deduz a quantidade de verniz que penetrou e portanto pode reforçar o papel. Como a tabela abaixo mostra:

Produto	Camada (mm/1000)	Massa da camada g/m <sup>2</sup> calculada	Massa do verniz aplicado g/m <sup>2</sup>	Massa penetrada g/m <sup>2</sup>
A	5,0	7,5	8,3	0,8
B	2,0	3	7,9	4,9
C	5,0	7,5	9	1,5
D	1,0	1,5	3,6	2,1
F	4,0	6	6,9	0,9
G	8,0	12	13,7	1,7

O calculo de massa da camada que não penetrou utilizou como densidade da resina melamínica o valor de 1,50 g/m<sup>2</sup>.<sup>9</sup>

Se analisarmos a carga de verniz aplicada em função do quantidade de verniz, veremos que não existe uma relação entre os dois. Portanto as condições de aplicação determinam em grande parte a quantidade de resina que penetra no papel.



Transformando os valores de tração de kgf para kPa., temos:

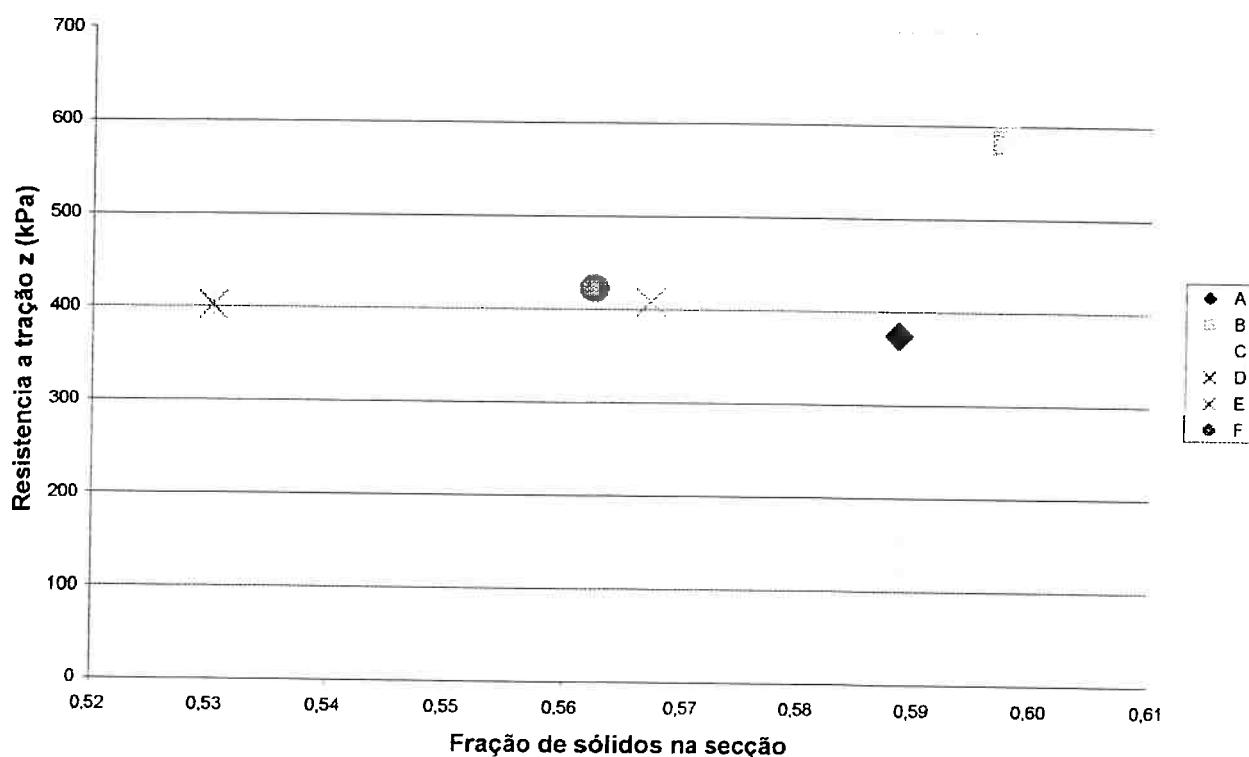
Produto	Tração z antes (kPa)	Tração z depois (kPa)
A	367	374
B	381	585
C	388	429
D	367	408
F	374	401
G	381	422

A densidade inicial e final servem de boa comparação da capacidade de densificar o papel que o verniz teve.

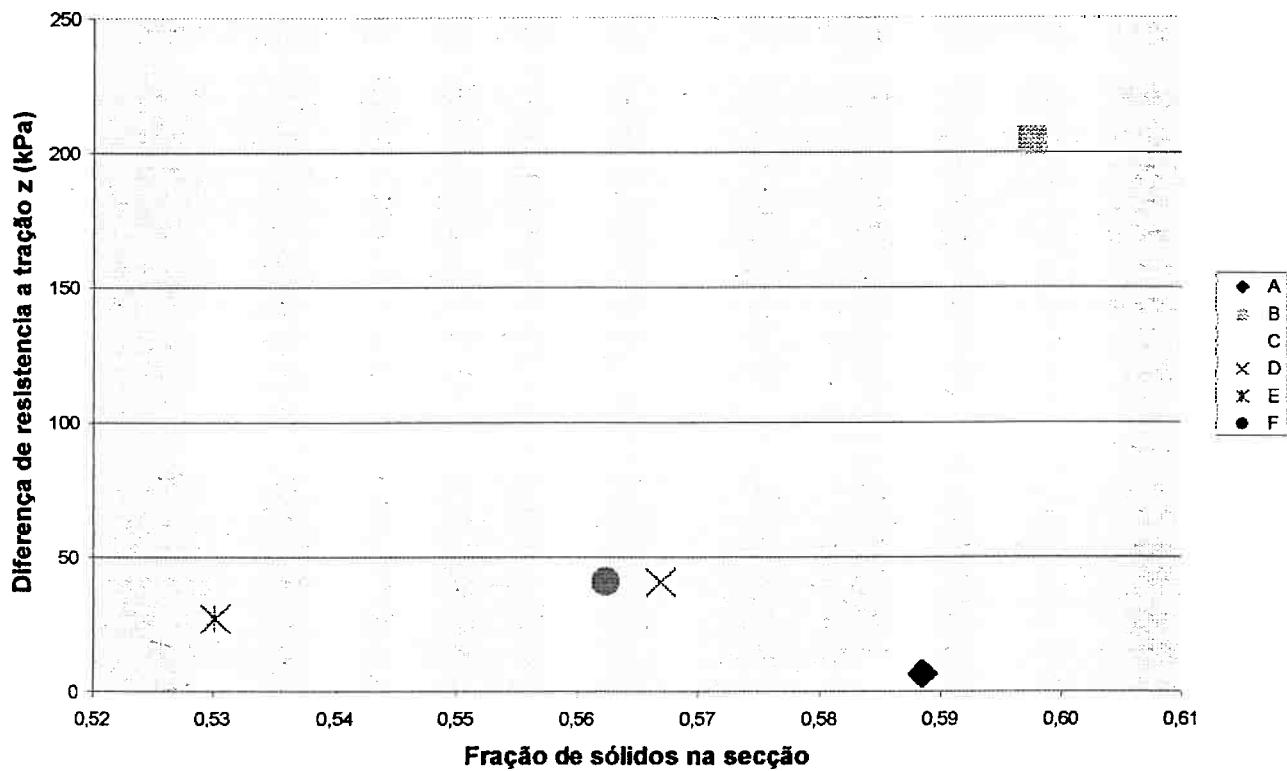
Produto	Densidade inicial	Densidade Final
A	0,90	0,91
B	0,85	0,92
C	0,88	0,91
D	0,84	0,88
F	0,81	0,82
G	0,84	0,87

Se calcularmos a fração de sólidos na secção do produto final utilizando a formula anteriormente citada e compararmos com a resistência a tração na direção z temos:

Produto	(1- $\epsilon_t$ )	Resistência a tração (kPa)
A	0,59	375
B	0,60	586
C	0,59	429
D	0,57	409
F	0,53	402
G	0,56	422



Se ao invés de analisarmos a resistência a tração, mas analisarmos o incremento nesta resistência a tração, teríamos:



Destes gráficos podemos entender que pequenos incrementos na densificação, pouco trazem para os resultados de resistência a tração na direção z. No entanto quando a densificação ultrapassa um limite de pelo menos 7 % o resultado muda dramaticamente.

Se juntarmos a isso o que foi observado pela microscopia, podemos notar que quando a penetração do verniz atinge as camadas mais inferiores, os resultados mudam rapidamente.

Em uma situação prática encontrada na industria, os resultados favoráveis podem aparecer antes mesmo, pois a penetração de cola durante a laminação ajuda a fazer a ponte entre os dois lados do foil.

---

## 6. Conclusão

Quando se aplica um verniz sobre o papeis não pre-impregnados, a resina acaba possuindo dupla função:

- Formação de um filme que servirá de barreira a penetração de líquidos conferindo também resistência química.
- Reforço da rede de fibras do papel.

Quando este ultimo não ocorre, esperasse que o adesivo no processo de laminação cumpra esta função.

Para que isto ocorra uma quantidade mínima de verniz precisa penetrar no papel, esta quantidade pode ser alterada de diversas maneiras o que inclui as condições de processamento:

1. Tempo de penetração antes da secagem do verniz.
2. Pressão no nip durante aplicação do verniz.
3. Viscosidade do verniz.
4. Tensão interfacial.

A carga exata de verniz que precisa penetrar pode ser determinada através de medidas de camada, carga e resistência na direção z.

A existência de uma camada que não foi reforçada por resina proveniente do verniz ou da cola resulta em propriedades mecânicas inferiores.

Portanto as características mecânicas do produto finish foil se deve a vários fatores e não pode ser simplesmente deduzida dos papel base utilizado.

---

## Bibliografia

- [1] Casey, James P., "Pulp and Paper – Chemistry and Chemical Technology Vol III", Wiley-Interscience Publication, Nova Iorque, 1983
- [2] Niskamen, Kaarlo, "Paper Physics – Papermaking Science and Technology", TAPPI, Finlândia, 1998
- [3] PIRA, "Printing Materials Science and Thecnology" PIRA Press.
- [4] Leskela, Markku e Sami Simula, "Trasport phenomena" in "Paper Physics, Papermaking Science and Technology"
- [5] Etzler, M Frank e Connors, James "The surface chemistry of Paper: Its relationship to printability and other paper Technologies"
- [6] Leskela, Markku e Sami Simula, "Trasport phenomena" in "Paper Physics, Papermaking Science and Technology"
- [7] Waterhouse, J. F. "Paper reinforcement by polymer addition " in "Pulp and Paper".
- [8] Waterhouse, J. F. "Paper reinforcement by polymer addition " in "Pulp and Paper".
- [9] Biasoto, Eloisa, "Polímeros como Materiais de Engenharia"
- [10] ABTCP, "P 46 – Papel e cartão. Determinação das propriedades de tração – Método da velocidade de alongamento constante", IPT, 1995.
- [11] TAPPI, "T 541 om-89- Internal Bond Strength of paperboard (z-direction tensile)" TAPPI Press, 1998.
- [12] Mlynar, Lubomir, "Top Coats for Foils", Rohm and Haas Company, Spring House, Pennsylvania, USA.

---

## 8. Agradecimentos

Gostaria de agradecer a todos na Pertech PSM do Brasil pela imensa ajuda e compreensão, em especial ao pessoal do laboratório físico pela ajuda e dicas. Gostaria de agradecer também, minha namorada Juliana e pais pela suporte emocional e meu orientador pela paciência.