

O Importante Papel do Indicador WRV ("Water Retention Value")

Celso Foelkel

Edison Strugo Muniz

Vail Manfredi



Agosto/2024

Introito pelos Autores

Esse artigo, em formato de apresentação, tem o objetivo de discutir e apresentar uma importante propriedade das polpas celulósicas que é o IRA – Índice de Retenção de Água, usualmente também conhecido como WRV – “Water Retention Value”.

Essa propriedade se associa com a capacidade de hidratação e desaguamento das polpas e mostra importantes relações com o desempenho das mesmas em processos industriais como: refinação da celulose, drenabilidade da massa na formação da folha úmida na máquina de papel, prensagem a úmido e secagem das folhas de papel.

São apresentadas maneiras de se obter um melhor controle na fabricação do papel e na melhoria das propriedades de resistência e estruturais do mesmo a partir da utilização desse importante parâmetro.

O artigo discute aspectos práticos, teóricos e os potenciais de economia em custos pelo acompanhamento desse indicador e permite que os leitores possam usufruir dessas vantagens ao adotarem esse tipo de controle.

A interação entre a Água e a Polpa Celulósica

As fibras celulósicas são altamente hidrofílicas, ou seja, possuem grande afinidade pela água. A água sendo uma substância polar é atraída pelas cargas iônicas das polpas (positivas ou negativas).

A presença de água nas polpas interfere no processo de fabricação do papel e nas propriedades do mesmo. Alguns dos principais efeitos da água nas polpas celulósicas são: o inchamento das fibras (levando aos aumentos da flexibilidade e da capacidade de ligação entre elas) e também a necessidade de energia para remover a água aos níveis compatíveis aos exigidos para a estabilidade operacional e resistências do papel.

A água é retida pelas fibras por forças eletrostáticas (em função de cargas iônicas dos compostos das polpas, tais como grupos hidroxílicos e carboxílicos) e por adsorção pela capilaridade existente nos elementos fibrosos (porosidade das paredes celulares e do lúmen das fibras). Sem água não se fabrica o papel conforme as tecnologias atuais. Mas a água na polpa e no papel precisa de um gerenciamento muito criterioso pelos fabricantes e usuários do papel.

IRA - Índice de Retenção de Água ou WRV - "Water Retention Value" das Polpas

O teste denominado IRA ou WRV oferece um valor numérico para indicar a capacidade de retenção de água pelas fibras celulósicas em diferentes fases do processo de fabricação da celulose e do papel. Trata-se de um teste empírico, que indica a quantidade máxima de água retida por uma almofada úmida de fibras, quando submetida à ação de uma força centrífuga por certo tempo. O valor encontrado oferece indicações importantes para avaliação dos efeitos da refinação sobre propriedades da polpa e auxilia para se melhorar o desempenho da operação de prensagem da folha de papel e a consequente secagem posterior da mesma.

Esse indicador de qualidade varia com as características anatômicas e químicas das fibras e com as alterações sofridas por elas ao longo do processo de polpação, branqueamento, desagregação, refinação, desaguamento e secagem da folha de papel. Como resultado, podem-se também obter informações importantes sobre: se a polpa utilizada foi ou não previamente secada, sua desagregação, refinação e perda de finos pela drenagem na formação da folha na máquina de papel, dentre outros.

O valor de WRV aumenta com a intensificação do refino da polpa em função de: fibrilação interna e externa, alargamento dos poros da parede celular e delaminação. Essas alterações causam o fenômeno conhecido como inchamento das fibras.

As amostragens mais comumente realizadas nas polpas para medição do WRV têm sido nos seguintes pontos: polpa inicial do processo, amostras antes e depois do refino e imediatamente antes da prensagem. O valor de WRV é altamente importante para identificar as dificuldades para desaguar a polpa, colaborando assim para melhoria de desempenho operacional em diversas fases do processo de fabricar papel.

O valor do WRV indica a quantidade de água retida pelas fibras celulósicas após serem submetidas às condições padronizadas em testes referenciados por normas internacionais (ISO 23714, Tappi UM 256, Zellcheming Merkblatt IV/33/57, Scan C-62 e SCAN-C 102 XE).

O método ISO tem sido o mais aplicado por seus valores indicarem que muito pouca água livre permanecerá na polpa após o uso da força centrífuga e do tempo de centrifugação que são recomendados no ensaio.

A remoção da água da fibra não é total. Existe certa quantidade de água que continua retida após o teste. Ou seja, a polpa ainda continua úmida e contendo água, sendo que a quantidade de água retida dependerá de diversas características dessas fibras. É exatamente essa água retida que é convertida no valor de WRV/IRA.

A retenção de água pela polpa se relaciona diretamente com o nível de colapsamento, fibrilação, delaminação, liberação de cargas iônicas, teor de finos, teor de hemiceluloses e, em especial, da superfície específica das fibras, além do nível de histerese (caso das polpas previamente secas). Essas características da polpa são responsáveis pelo nível de hidratação da mesma ao final do ensaio de IRA/WRV.

Assim sendo, os resultados do teste de IRA/WRV permitem não apenas entender a situação em que se encontra uma determinada polpa, mas também predizer o comportamento e variação da mesma nas etapas de refinação da massa, formação da folha úmida na mesa plana, prensagem e secagem ao longo do processo de fabricação do papel. Também se relacionam com as propriedades de resistências mecânicas (tração, estouro, rasgo, etc.) e estruturais (volume específico, lisura, porosidade, opacidade, etc.) dos papéis.

Como é realizado o Teste de WRV (ISO 23714: 2014)

O conceito metodológico do ensaio se baseia em medir a água que permanece retida em uma almofada de fibras hidratadas após essa ser submetida à ação de uma força centrífuga aplicada durante certo tempo.

O ensaio começa pela preparação em um funil de Büchner de uma almofada de polpa hidratada com consistência entre 5 a 15% (usualmente 10%) e com uma gramatura equivalente a 1.700 g secas/m². A quantidade de massa seca equivalente que é submetida ao teste pode variar entre 0,2 a 0,5 gramas a.s. dependendo da maior ou menor facilidade de desaguamento da polpa.

Essa almofada de polpa úmida na verdade é similar a uma folha de polpa hidratada e não prensada com a gramatura sugerida pela norma. Essa amostra úmida é colocada em um cesto metálico contendo uma peneira com aberturas muito finas (idealmente entre 200 a 325 mesh) para o escape da água. Isso para evitar perda de finos e fibrilas. Esse cesto será colocado em uma centrífuga onde se aplica uma força centrífuga de 3.000 g ($g = \text{aceleração devida à gravidade, ou seja: } 9,81 \text{ m/s}^2$) durante 30 minutos. Isso promove um desaguamento parcial, mas intenso da polpa.

Após centrifugação, a almofada de fibras é removida, pesada (massa úmida da pasta) e levada a uma estufa para secagem até massa constante (massa absolutamente seca).

A fórmula para determinação do WRV ou IRA é a seguinte:

$$\text{WRV/IRA} =$$

$$\frac{[(\text{massa de polpa úmida após centrifugação}) - (\text{massa de polpa absolutamente seca})] \times 100}{(\text{massa de polpa absolutamente seca})}$$

Neste ensaio, durante a centrifugação, parte da água que se encontra adsorvida pelas forças eletrostáticas e pelas forças de capilaridade dos poros será eliminada da polpa.

Os resultados são dependentes das condições do método que se utilizar. Há métodos com menor força de centrifugação (900 g) e menores tempos de centrifugação (15 minutos), do que resultam valores maiores para WRV. Portanto, é importante estar atento na comparação de dados encontrados na literatura.

O valor medido está relacionado com as características anatômicas e químicas que definem a plasticidade das fibras e também com o nível de refinação das mesmas.

Quanto maior for a superfície específica das fibras e as quantidades de poros, de cargas iônicas e de danos mecânicos que as fibras tenham sofrido, maiores serão os valores de WRV.

Em geral, esses valores variam entre 70 a 230%. Quanto maior for o valor de WRV, maior será a dificuldade para se desaguar a polpa na fabricação do papel. Dessa forma, o valor de WRV é uma forma simples e valiosa para se medir a capacidade de uma folha fibrosa de reter água. E deste modo, antecipar-se às dificuldades para se remover essa água durante a fabricação do papel.

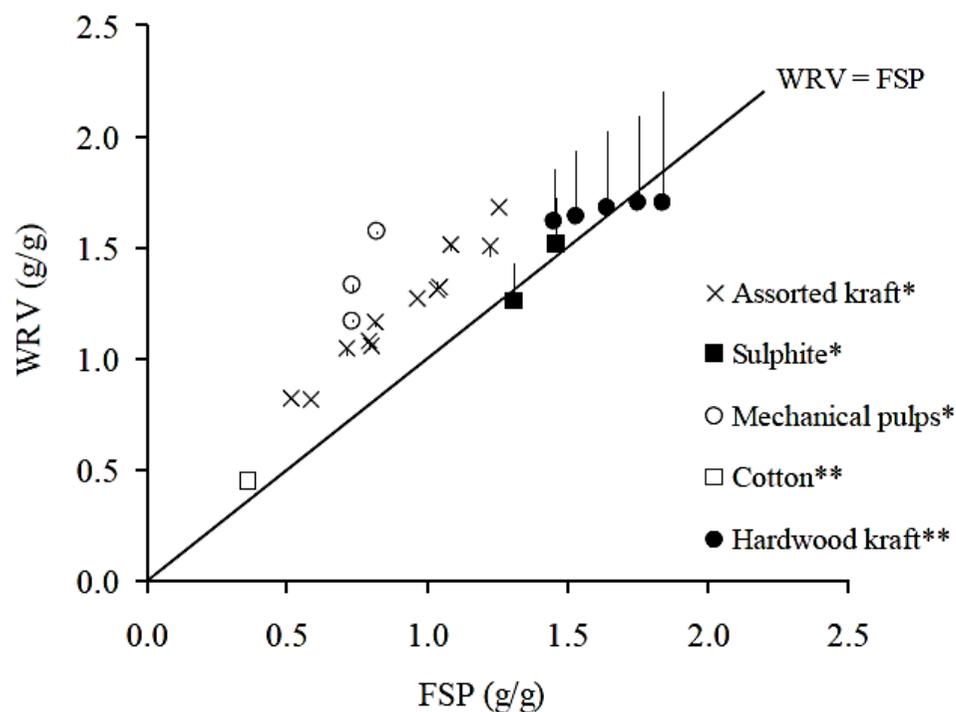
Ponto de Saturação da Fibra (FSP) e Valor de Retenção de Água (WRV/IRA)

O Ponto de Saturação da Fibra (FSP – “Fiber Saturation Point”) refere-se ao ponto em que toda a água livre presente nas cavidades celulares (lúmens e poros grandes) é removida e apenas a água ligada e que permanece nas paredes celulares é medida. O FSP é expresso como a massa de água presente na microporosidade da parede celular em relação a uma unidade de massa seca de polpa. Existem metodologias para sua determinação, mas são mais complexas do que as medições do WRV. O valor de FSP permite estimar até certo ponto a porosidade existente nas paredes celulares e que pode ser ocupada pela água.

O FSP também se associa ao inchamento das fibras, à hidratação fibrilar e também ao valor de WRV. O FSP é uma das boas e adequadas abordagens laboratoriais usadas para determinar o inchamento das polpas.

O valor de retenção de água (WRV) é definido como a razão entre a água que permanece na polpa para a massa da fibra seca após um processo de centrifugação por determinado tempo. O WRV refere-se então a uma grande parte da água retida nas paredes celulares e eventualmente mais alguma porção de água das cavidades maiores, como dos macroporos das células. Entretanto, essa água livre ocasionalmente medida como sendo parte do WRV dependerá do método utilizado para se medir o WRV (nesse caso, aqueles com menores valores de força centrífuga e de tempo de centrifugação).

Existem inúmeros estudos demonstrando que os valores de FSP e WRV são significativamente relacionados, sendo que os valores de WRV podem ser ligeiramente superiores aos do FSP para um mesmo tipo de polpa, dependendo do método utilizado. Em polpas de fibras curtas (*hardwood*) e se utilizando o método SCAN-C 102 XE têm-se notado uma similaridade muito grande entre os valores de FSP e WRV. O mesmo acontece com o método ISO 23714.



Fonte da Figura: Maloney, T.C. – 2000

(Centrifugação de 3000 g por 15 minutos – Método SCAN-C 102 XE)

WRV é também um Indicador de Resultado do Refino

Os valores de WRV aumentam com o refino por causa do aumento da superfície específica das fibras causado pela fibrilação/delaminação da parede celular e consequente formação de microporos nessa parede, além da geração de finos de vários tipos. Tudo isso colabora para aumentar as forças eletrostáticas, a capilaridade das polpas e a sua habilidade para reter água. Em geral, considera-se que o WRV indica o inchamento ("swelling") e a hidratação ("hydration") das fibras/polpas.

O valor de WRV pode ser associado também com a histerese sofrida pelas fibras que reduzem a superfície específica das mesmas. Polpas nunca secas apresentam valores maiores de WRV do que polpas secas e vendidas em fardos, em condições similares de comparação. Fibras de papel reciclado e refugos de papel também sofreram histerese e o WRV desses materiais é também afetado pela secagem anterior sofrida por eles.

Existem relações significativas entre os valores de WRV e os principais resultados do refino da polpa, tais como o "grau" de refino (α SR ou *Freeness*), teor de finos, fibrilação, colapsamento e flexibilidade das fibras e propriedades estruturais (densidade, volume específico, porosidade, lisura e absorção de líquidos, por exemplo), propriedades óticas (opacidade e brilho, por exemplo) e propriedades mecânicas (resistências à tração, ao rasgo, ao estouro, arrancamento de vasos, etc.) das folhas do papel.

Uso do WRV no Controle da Operação de Refino & Fabricação do Papel

Ajustes no Refino da Polpa

O WRV relaciona-se com a quantidade de energia de refino necessária para alcançar as propriedades desejadas no papel.

O refino aumenta a superfície específica das fibras, tanto pela liberação de fibrilas externas (na superfície das fibras) como principalmente pela separação de fibrilas internas à parede celular das mesmas (delaminação). Também eleva a quantidade de finos nas polpas, especialmente quando conduzido a altos níveis de refinação. Isso em função do esmagamento e fragmentação das fibras.

Conseqüentemente, a capacidade de ligação entre as fibras é proporcional ao aumento da flexibilidade e colapsamento das fibras, o que aumenta também sua capacidade de absorver e reter água.

Com o aumento da quantidade (energia) de refino, a tendência é a redução do tamanho médio dos flocos de fibras em suspensão em função do aumento da flexibilidade das fibras.

O WRV é um dos indicadores que influenciam as tomadas de decisões para melhoria das operações na fabricação e das características do papel. Isso porque ele se correlaciona diretamente com a hidratação e, portanto, com o nível de colapsamento e flexibilidade (capacidade de ligação) das fibras.

As propriedades mais afetadas do papel são aquelas relacionadas com a sua estrutura, ou seja, formação, volume específico, lisura superficial, resistência à passagem de ar, opacidade, absorção e, até mesmo, o brilho. E também as já mencionadas propriedades de resistência da folha de papel.

Otimização do Processo de Refinação

A quantidade de refino aplicada pode ser otimizada para se obter o WRV desejado juntamente como se faz com o *Freeness*/ $^{\circ}$ SR.

Um valor de WRV muito alto pode comprometer seriamente a drenabilidade e a formação da folha, enquanto um WRV muito baixo pode resultar em uma folha de papel fraca e mal formada.

Para a mesma intensidade de refino (Carga Específica de Lâminas/Corte), ao se aumentar a quantidade de energia aplicada aumenta-se o valor de WRV.

O WRV pode ser uma ferramenta importante para a otimização do custo do refino pelo melhor controle da sua operação (permitindo controlar, na intensidade desejada, a quantidade de energia a ser aplicada à polpa em suspensão).

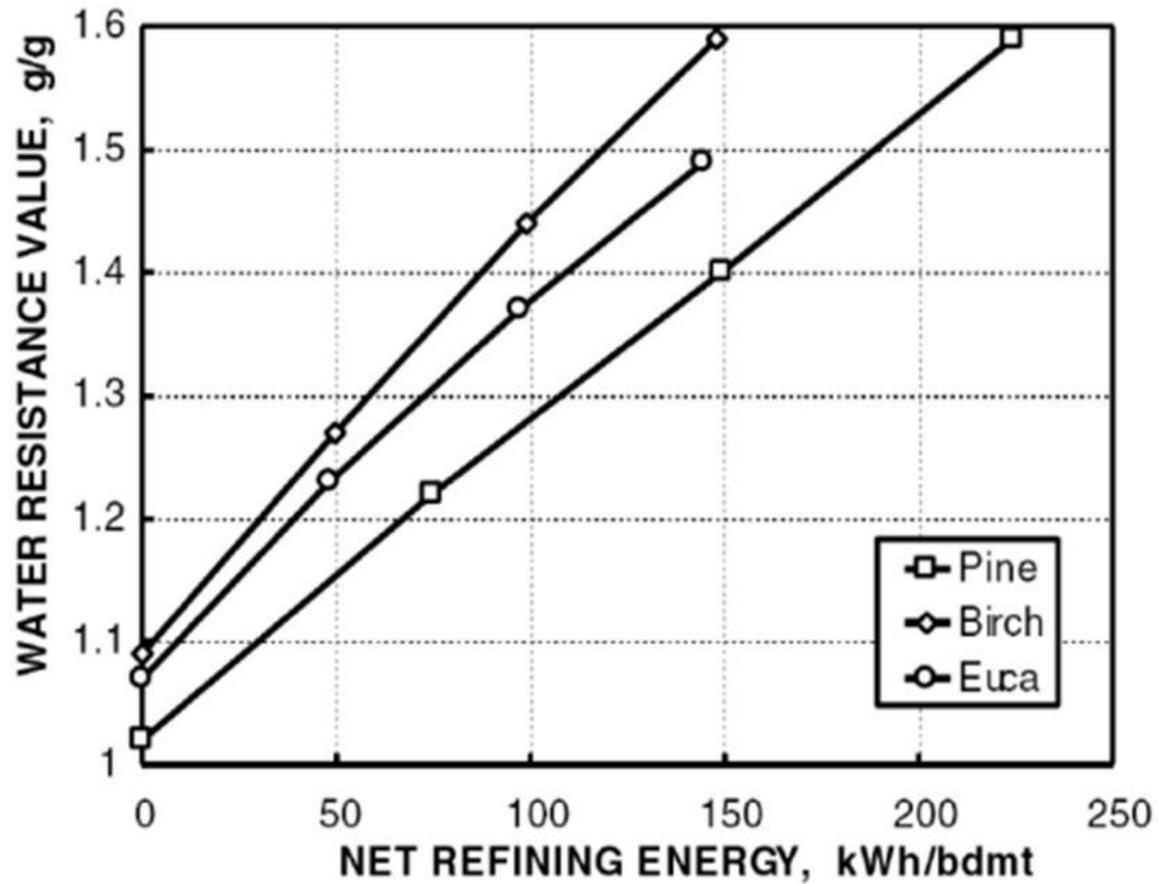
Análise de Efeitos na Refinação

O WRV indica o quão firme é a ligação entre a estrutura das fibras e a água presente nas mesmas. Geralmente é usado para indicar o grau de fibrilação interna e a capacidade de inchamento das fibras.

Os valores de WRV aumentam com a energia líquida de refino, o que significa que o refino aumenta a capacidade de reter água pela fibra, resultando em maior inchamento da polpa.

Conseqüentemente, a maior aplicação de energia de refino conduz a maiores valores de WRV, gerando maiores dificuldades para desaguar a folha de papel. Por isso, toda atenção deve ser colocada no refino e na interpretação do que está acontecendo com a polpa sendo refinada.

Gráfico mostrando o efeito do refino no WRV para três tipos de polpas químicas de mercado



Fonte da Figura: Setasith, S. – 2014

***Freeness* e WRV são afetados pela ação de Refinação da Polpa**

O *Freeness* é um indicador de processo equivalente ao grau Schopper-Riegler, tendo sido originalmente desenvolvido para o controle operacional do desfibramento, ou seja, produção de pastas de alto rendimento. É fortemente dependente do teor de finos lamelares gerados no processo. Também é muito usado para controle do refino de pastas químicas e fibras recicladas.

Os finos são originados pela fragmentação de fibras e pela remoção de lamelas fibrilares da superfície das paredes celulares das fibras, as quais se desprendem como resultado de altas energias com impactos concentrados em pontos específicos nessa superfície. Quanto maiores forem essas ações mecânicas aplicadas nessa fragmentação ou no desfibrilamento, maior será a geração desses finos.

WRV, por sua vez, é uma medida da hidratação da parede celular das fibras, em especial da hidratação no interior dessas paredes e nos seus capilares.

Quando ocorre a liberação de finos da superfície das fibras (fibrilação externa) ou por sua fragmentação, ocorre também adsorção de água por novas cargas iônicas liberadas, mas isto ocorre em proporções menores do que aquelas geradas pela fibrilação interna (inchamento fibrilar).

Fibrilas e Finos gerados pela refinação afetam a Prensagem Úmida

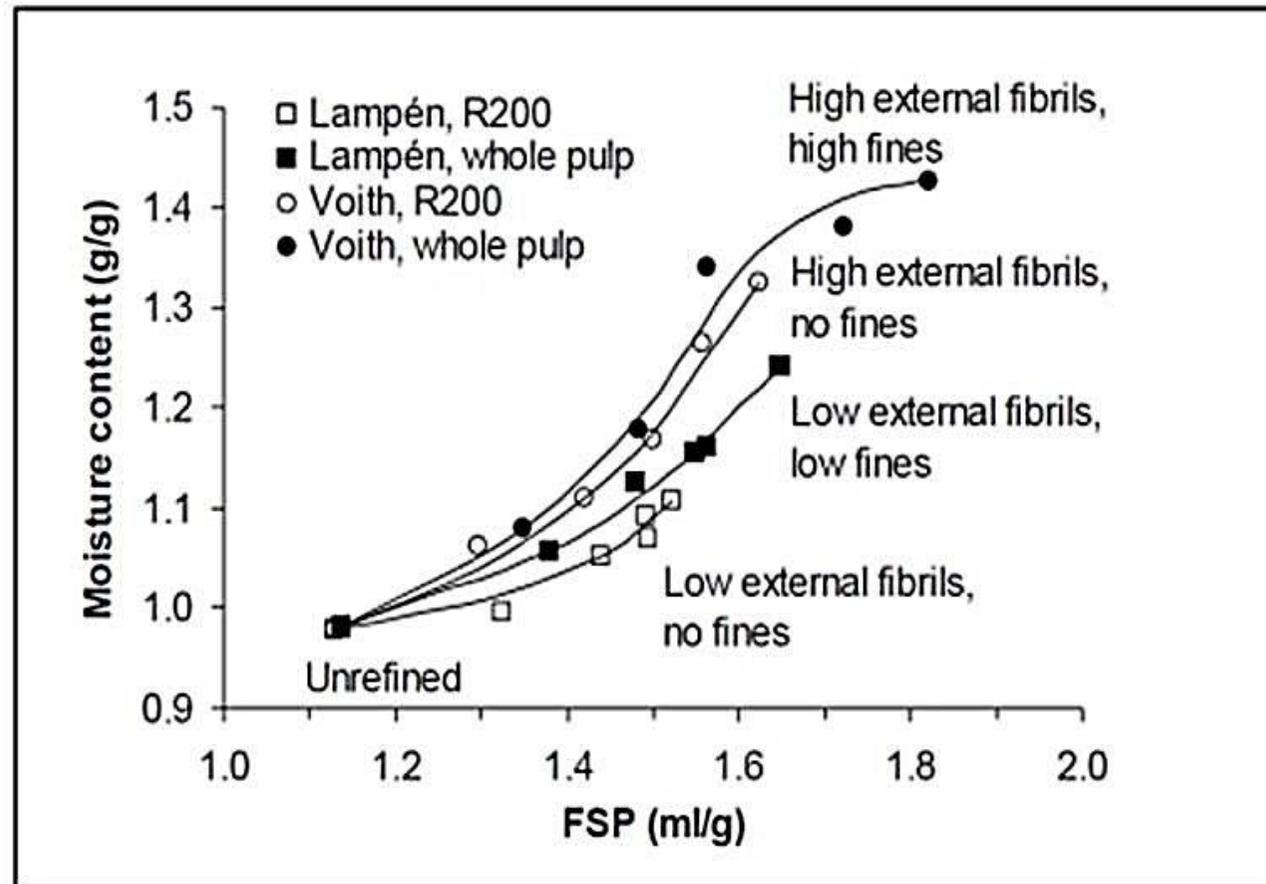
A fibrilação (interna e externa) dificulta a desidratação da polpa, pois as paredes celulares e as fibrilas liberadas ficam inchadas pela maior retenção de água. O mesmo acontece com os novos finos formados pelo refino. Esses finos acabam prejudicando a drenabilidade na formação da folha úmida, pois causam obstrução de poros da folha de papel sendo formada.

Conforme aumenta o refino, mais fibrilas vão sendo liberadas e mais finos serão formados. E maior ficará o valor do WRV.

Em geral, polpas virgens de *Pinus* possuem entre 3 a 4% de finos e de *Eucalyptus* entre 7 a 10%, em ambos os casos por medições realizadas pelo vaso dinâmico de drenagem (Britt Jar Tester). A diferença entre esses dois tipos de polpas ocorre principalmente em relação às superfícies específicas (maiores para *Eucalyptus*) e os tamanhos dos flocos das fibras em suspensão (maiores para *Pinus*). Esses efeitos também interferem na drenagem.

Na figura da página seguinte, é mostrado que tanto as fibrilas externas quanto os finos dificultam bastante o desaguamento das polpas por prensagem, o que se nota pelos significativamente maiores teores de umidade após a prensagem úmida das polpas contendo finos e fibrilas.

Teor de umidade após prensagem úmida versus FSP (Ponto de Saturação das Fibras) para polpas isentas de finos e polpas integras (contendo fibrilas)



Fonte da Figura: Setasith, S. – 2014

Relação do WRV na Drenagem da Massa na Fabricação do Papel

Na drenagem da polpa em suspensão nas mesas planas das máquinas de papel, a principal restrição ao escoamento é o entupimento dos poros do papel em formação, o que ocorre na sua direção Z, sendo causado principalmente pelos finos lamelares em suspensão e também pelo colapsamento das fibras. Neste caso, o *Freeness* e o grau Schopper-Riegler são as determinações mais usadas para acompanhar esse fenômeno. Essas determinações apresentam muito boa relação com a drenagem no processo de formação das folhas.

O WRV, que é uma medida da hidratação da parede celular, impacta principalmente na resistência à prensagem a úmido do papel e em sua secagem posterior.

A drenagem adequada é crucial para a formação de uma folha de papel uniforme, com adequado nível de ligação entre as fibras, resultando em boas propriedades de resistência mecânica e características estruturais tais como volume específico, porosidade e maciez, além de características superficiais tais como a lisura e brilho. Já o desaguamento da seção de prensagem a úmido afeta muito o consumo de energia para secar a folha e pode até representar perdas de produção por falta de capacidade da seção de secagem da máquina de papel ao encontrar uma folha muito úmida. Por outro lado, forças excessivas sendo aplicadas na prensagem também podem causar defeitos na folha de papel.

Influência do WRV no Processo de Prensagem a Úmido

Ajustes na prensagem a úmido

O WRV se relaciona fortemente com as dificuldades para remover a água da folha na prensagem úmida. Um valor de WRV mais alto indica a necessidade de maior pressão para remover a água das fibras, o que pode até mesmo comprometer a qualidade final do papel.

O valor de WRV medido em uma folha úmida, que vai sofrer prensagem, tem a missão de alertar os operadores sobre qual seria o máximo de consistência que eles poderiam atingir após prensagem sem danificar a folha por exceder os limites de prensagem.

Uma massa mostrando um valor de WRV de 150% indica que a almofada de fibras formada no ensaio teria, após a centrifugação, uma consistência de 40%:

$$\text{Consistência} = (\text{Massa seca}) \times 100 / (\text{Massa úmida}) = 100 \times 100 / (100 + 150) = 40\%$$

40% de consistência seria então o valor mais apropriado que teoricamente se conseguiria obter após a prensagem a úmido dessa massa. Para se obter valores mais elevados na consistência, a operação drasticada na prensagem traria o risco de causar danos à folha.

Velocidade de remoção da água

A velocidade da prensagem a úmido é influenciada pelo WRV. Um WRV mais alto aumenta o tempo necessário para a remoção da água, impactando a produtividade.

Qualidade do papel

A prensagem garante a compactação do papel, auxiliando na definição das propriedades de resistência e influenciando diretamente nas propriedades estruturais do papel.

Um controle focado também no WRV da polpa garante um maior controle na formação adequada da folha e uma maior qualidade final do papel.

Em situações de altos valores de WRV na folha úmida, em função de drastificação na refinação para se obter alguma propriedade desejada no papel, o operador necessita estar consciente de que ele pode trazer problemas na qualidade do papel, caso exceda os limites da prensagem.

Como alternativa, existe a possibilidade de se tentar alterar a tensão superficial da água usando algum tenso-ativo, o que poderia facilitar de alguma forma o desaguamento pela prensagem.

Benefícios e economias com a Medição do WRV

Controle de qualidade

O WRV fornece informações precisas sobre a capacidade de retenção de água pelas fibras e também das exigências técnicas para sua remoção. Essa informação é crucial para garantir a qualidade final do papel, assim como para a economicidade do processo.

Otimização do processo

Medindo o WRV, é possível ajustar os parâmetros dos processos de refinação da massa e de prensagem da folha, adequando assim o processo à maior ou menor retenção de água pelas fibras.

Redução de custos

Com a medição do WRV, é possível otimizar o uso de produtos químicos e outros insumos, mas principalmente a demanda de energia e as demais variáveis operacionais do refino, otimizando mais adequadamente os custos na produção do papel. Também se consegue otimizar a prensagem a úmido das folhas e se ganham resultados econômicos e de qualidade tanto na prensagem como na secagem da folha de papel.

Comparação entre o *Pinus* e o *Eucalyptus* na medição do WRV

Anatomia

***Pinus*:** As fibras de *Pinus* são geralmente mais longas e têm uma parede celular mais espessa do que as de *Eucalyptus*. Isso pode induzir a se pensar que essas fibras poderiam ter uma maior capacidade de absorver água, mas não obrigatoriamente, pois o que influencia a adsorção de água pelas fibras, além de suas características químicas e teor e tipo de finos, é a superfície específica das fibras, que tende a ser menor em polpas de *Pinus* do que nas dos *Eucalyptus*.

***Eucalyptus*:** As fibras de eucalipto são mais curtas e têm uma parede celular mais fina. Isso poderia sugerir que possuiriam uma menor capacidade para serem penetradas e inchadas pela água. Entretanto, a elevada população fibrosa (número de fibras por grama seca de polpa) das polpas de eucalipto colabora para uma maior superfície específica dessas polpas. Da mesma forma, as maiores proporções de finos (células parenquimatosas) acabam impactando no aumento da capacidade de absorção de água.

Composição Química

Pinus: Contêm mais lignina e extrativos na madeira, o que pode influenciar negativamente a capacidade de hidratação pela água. A lignina pode atuar como uma barreira à absorção de água em polpas não branqueadas. Já em situação de polpas branqueadas, esse efeito da lignina não se faz sentir e outros fatores passam a ser importantes, como o teor de hemiceluloses e a cristalinidade da celulose.

Eucalyptus: Têm uma menor quantidade de lignina e um alto teor de xilanas nas madeiras, essas últimas sendo altamente hidrofílicas. Como praticamente toda a polpa de eucalipto é branqueada, pouco importa o teor de lignina. Já o efeito das hemiceluloses e suas ramificações são bastante importantes para o inchamento desse tipo de polpas.

Water Retention Value

Em geral, as medições de WRV dependem muito das particularidades de cada um desses dois tipos de polpa, não podendo se antecipar que um ou outro tipo possa ter maior ou menor capacidade de retenção de água. Até mesmo porque os valores de WRV se referem à massa seca de polpa e não ao volume das fibras individuais. Por isso mesmo, cada caso deve ser perfeitamente avaliado, principalmente no processo de refinação, já que o comportamento ao refino é bastante distinto para esses dois tipos de polpas.

Comparação entre Fibra Virgem e Reciclada com relação ao WRV

Características de fibras virgens e fibras secundárias (Fonte: Malachowska et al., 2023)

Sample	Kappa Number	Schopper–Riegler Freeness	Fine Content		Fine Content		WRV	
	[-]	[°SR]	[% in Area]		[% in Length]		[%]	
		Unrefined	Unrefined	Refined	Unrefined	Refined	Unrefined	Refined
Virgin pulps	89.7	12	1.476	6.317	6.57	46.08	112.4	189.6
	76.5	11	1.321	5.707	5.81	41.35	118.9	191.3
	63.8	12	1.216	5.669	5.84	37.77	115.4	186.4
	46.6	11	0.991	4.772	4.74	32.61	118.0	188.4
	41.9	11	0.996	4.217	4.92	33.92	119.8	184.6
	35.2	11	1.025	4.446	5.15	34.82	117.6	179.6
	29.6	12	1.081	4.140	5.09	27.22	121.5	181.4
	26.9	12	0.869	3.985	5.22	29.33	122.6	178.9
	23.7	12	0.678	3.896	5.12	26.40	121.9	172.6
	19.1	12	0.535	3.502	4.07	27.41	125.2	160.8
White 1.1	49.7	36	21.05	–	62.24	–	130.9	–
White 1.2	49.6	56	23.63	–	65.94	–	136.3	–
White 2.2	19.4	20	13.32	16.45	47.31	52.88	101.3	128.2
Mixed 2.3	39.6	22	16.63	18.78	51.08	55.38	91.1	125.7
Mixed 2.4	39.6	22	13.42	15.18	44.98	48.98	97.6	128.8
Mixed 2.5	40.2	35	26.78	–	66.60	–	107.2	–

- Não se observou correlação entre o teor de lignina e o grau de retenção de água para polpas secundárias, evidenciando a heterogeneidade da matéria-prima.
- Polpas recicladas refinadas apresentaram um índice WRV mais baixo (cerca de 30%) em comparação com polpas virgens, provavelmente devido à hornificação/histerese das fibras de polpa reciclada após múltiplas secagens.
- O inchamento das fibras e o WRV se relacionam à conformabilidade, flexibilidade e propriedades de resistência do papel. O menor WRV das fibras recicladas leva a uma menor resistência de ligação entre as fibras e, conseqüentemente, a uma menor resistência à tração do papel reciclado em comparação com o papel de fibra virgem. Outras propriedades físicas, mecânicas e óticas podem também serem impactadas.

Conclusões sobre a Medição do WRV

O teste de WRV é uma ferramenta muito útil no processo de fabricação de papel, fornecendo informações essenciais sobre a capacidade de retenção de água das fibras. Com isso, pode-se melhor entender algumas das ações a serem tomadas nas etapas de fabricar o papel.

Compreender e gerenciar o WRV pode ajudar a melhorar significativamente várias etapas da fabricação de papel, desde a qualidade original da matéria-prima polpa celulósica, preparação da massa, processo de formação das folhas e terminando no papel seco e pronto para ser oferecido aos mercados. Essas melhorias podem resultar em redução dos custos de fabricação.

Ao otimizar os valores de WRV, os fabricantes podem melhorar a eficiência da refinação, da formação da folha, da prensagem a úmido e da secagem das folhas dos papéis.

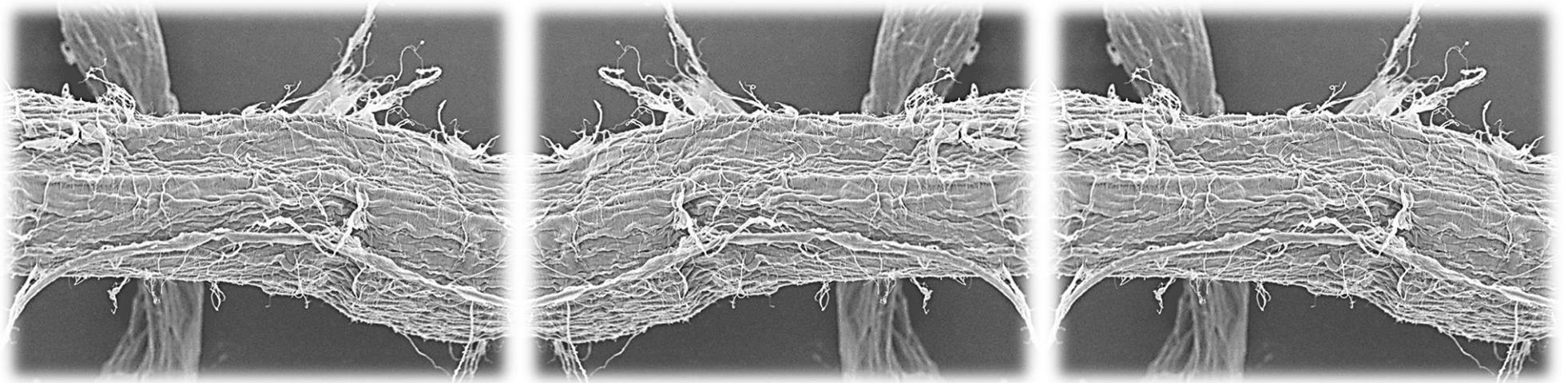
Podem também conseguir a redução no consumo de energia (na refinação e secagem) e melhorias na qualidade geral do papel.

Referências bibliográficas

- Botha, R. (2015). **Factors influencing the drainage and drying of paper**. Dissertação de Mestrado. University of Pretoria. 78 pp.
- Cheng, Q.; Wang, J.; McNeel, J. F. & Jacobson, P. M. (2010). **Water retention value measurements of cellulosic materials using a centrifuge technique**. *BioResources*, 5(3): 1945-1954.
- Foelkel, C. (2009). **Papermaking properties of the *Eucalyptus* trees, woods and pulp fibers**. *In: Eucalyptus Online Book*. Chapter 14. 110 pp.
- Foelkel, C. & Manfredi, V. (2021). **O processo de refinação da celulose. Histórias e tecnologias contadas, avaliadas, estudadas e difundidas por Celso Foelkel & Vail Manfredi**. *Eucalyptus Newsletter* 89. 211 pp.
- Gharekhani, S.; Sadeghinezhad, E.; Kazi, S. N.; Yarmand, H.; Badarudin, A.; Safaei, M. R. & Zubir, M. N. M. (2015). **Basic effects of pulp refining on fiber properties. A review**. *Carbohydrate Polymers*, 115: 785-803.

- Hubbe, M. A. & Heitmann, J. A. (2007). **Review of factors affecting the release of water from cellulosic fibers during paper manufacture**. *BioResources*, 2(3): 500 - 533.
- Malachowska, E.; Dubowik, M. & Przybysz, P. (2023). **Morphological differences between virgin and secondary fibers**. *Sustainability*, 15: Artigo 8334. 10 pp.
- Maloney, T. C. (2000). **On the pore structure and dewatering properties of the pulp fiber cell wall**. *Acta Polytechnica Scandinavica. Chemical Technology Series* nº 275. 53 pp.
- Maloney, T. & Paulapuro, H. (2000). **The effect of drying conditions on the swelling and bonding properties of bleached kraft hardwood pulp**. 2000 APPITA Conference. APPITA – The Australia and New Zealand Pulp and Paper Technical Association. 07 pp.
- Manfredi, V. (2024). ***Eucalyptus* kraft pulp refining**. Springer. *Chemistry and Materials Science Series*. 318 pp.
- Mayr, M.; Eckhart, R.; Winter, H.; & Bauer, W. (2017). **A novel approach to determining the contribution of the fiber and fines fraction to the water retention value (WRV) of chemical and mechanical pulps**. *Cellulose*, 24: 3029 – 3036.

- Pulkkinen, I. (2010). **From eucalypt fiber distributions to technical properties of paper.** Aalto University. Chemical Engineering Report Series nº 56. 84 pp.
- Retulainen, E.; Niskanen, K. & Nilsen, N. (1998). **Fibers and bonds.** *In:* Niskanen, K. (Ed.), Paper Physics (pp. 54-87). PI - Finnish Paper Engineers' Association.
- Setasith, S. (2014). **Effect of compressive and abrasive refining on structural changes in fiber and paper.** Tese de Mestrado. School of Chemical Technology. Aalto University. 84 pp.
- Steel, C. & Wolfaardt, F. (2010). **Influence of enzymes on refining of *Eucalyptus* pulps.** 2010 TAPPSA Conference. Technical Association of Pulp and Paper Industry of South Africa. Apresentação em PowerPoint: 18 slides.
- Wan, J.; Wang, Y.; Ma, Y. & Xiao, Q. (2009). **Influence of pressing and drying on the microstructure of recycled plant fibers.** Cellulose Chemistry & Technology, 43(1-3): 71 – 79.



Fonte da Imagem (Adaptação): Steel, C. & Wolfaardt, F. – 2010