

# Controle de Refinação de Celulose com Medição Contínua do Freeness

*Pulp Refining Control with Continuous Freeness Measurement*

**Autores/Authors:** Cléber Rocha<sup>1</sup>  
Emerson Armani<sup>2</sup>  
Esa Piirainen<sup>3</sup>

**Palavras-chave:** Freeness, Schopper-Riegler, On-line, Controle, Kajaani, Refinação, Desaguamento, Drenagem

## RESUMO

O controle convencional do Consumo Específico de Energia (SEC) é capaz de manter o nível de drenagem desejado a curto prazo, se a matéria-prima permanecer estável. Contudo, variações da capacidade de refinação da celulose – e, portanto, também de drenagem – tendem a ocorrer durante períodos de tempo prolongados. Essas variações são causadas por mudanças em matérias-primas e no processo de fabricação de pasta, podendo ser reduzidas ou até mesmo eliminadas mediante um controle de drenagem apropriado.

O teste-padrão de Freeness de laboratório não pode ser realizado com a frequência necessária a ser usada para controle do processo de tempo real. Por outro lado, a maioria dos instrumentos automatizados apresenta problemas em relação à precisão de medição, ou requerem muita manutenção.

Os analisadores on-line atuais têm de corresponder às suas expectativas financeiras. Para consegui-lo, é importante que os usuários possam confiar nas informações fornecidas pelo analisador, e que o seu intervalo de manutenção seja suficientemente longo.

O analisador on-line deve estar de acordo com um teste de laboratório padrão, visando a uma repetibilidade e frequência melhores do que as que podem ser obtidas manualmente. O analisador on-line pode substituir o Freeness de laboratório e fornecer valores CSF quase de tempo real, para controle de processo.

## TERMINOLOGIA

### Referências dos autores:

1 Engenharia de Aplicação (Analisadores) Metso Automation Ltd, Sorocaba, Brasil  
*Application Engineering (Analyzers) Metso Automation Ltd, Sorocaba, Brazil*

2 Gerente de Aplicação (Analisadores) Metso Automation Ltd, Sorocaba, Brasil  
*Application Manager (Analyzers) Metso Automation Ltd, Sorocaba, Brazil*

3 Gerente de Produto Metso Automation Inc. Kajaani, Finlândia  
*Product Manager Metso Automation Inc., Kajaani, Finland*

**Keywords:** *Freeness, Schopper-Riegler, On-line, Control, Kajaani, Refining, Dewatering, Drainage*

## SUMMARY

*The conventional Specific Energy Consumption control (SEC) is able to maintain the desired drainage level in the short term, if the raw material remains stable. However, variations in pulp refinability – and thus also drainage – tend to occur over longer periods of time. These variations are caused by changes in raw materials and the pulping process, and they can be reduced or even eliminated by appropriate drainage control.*

*The standard laboratory freeness test cannot be performed with the necessary frequency to be used for real-time process control. On the other hand, most automated instruments have problems with measurement accuracy or need a lot of maintenance.*

*Today's on-line analyzers have to meet their financial expectations. To achieve this, it is important that users can trust the information provided by the analyzer, and that its service interval is long enough.*

*The on-line analyzer must be according with a standard laboratory test, for better repeatability and frequency than can be achieved manually. The on-line analyzer can replace laboratory freeness and provide nearly real-time CSF values for process control.*

A idéia de testar o *Freeness* consiste em simular o fenômeno de desaguamento que se realiza na seção da tela da máquina de papel, isto é, drenagem de água através da tela. A velocidade de drenagem na máquina de papel é um dos fatores decisivos para as propriedades finais do papel.

Drenagem é o termo geral que significa umedecimento e desaguamento de fibras. Assim sendo, métodos de medição de drenagem medem a capacidade de drenagem. A palavra 'Freeness' provém do método canadense para a capacidade de drenagem, CSF (Canadian Standard Freeness, ou seja, Freeness de Padrão Canadense).

### USO DO FREENESS

Para o papeleiro, o Freeness fornece uma estimativa do tipo de fibras que a celulose contém e do tipo de papel que pode ser feito a partir daí.

A resistência do papel e diferentes propriedades estruturais estão em correlação com os valores de teste do Freeness. Além disso, uma alteração no valor do Freeness objetivado pode ser usada para reparar certos defeitos de qualidade no produto acabado.

A tabela 1 indica alguns problemas comuns na máquina de papel e como uma alteração do Freeness poderia corrigir os mesmos.

O Freeness também pode ser usado para auxiliar na monitoração ou controle de muitas variáveis em processos de fabricação de papel e celulose:

#### Fabricação de Pasta Mecânica

- \* Consumo de energia em desfibramento e refinação
- \* Temperatura de desfibramento
- \* Consistência
- \* Produtos químicos

#### Depuração

- \* Remoção de finos/frações grossas

#### Refinação

- \* Consumo de energia de refinação
- \* Consistência de refinação

PROBLEMA <i>PROBLEM</i>	CORREÇÃO DO CSF <i>CSF CORRECTION</i>
Baixo(a) Estouro, Tração <i>Low Burst, Tensile</i>	Redução <i>Decrease</i>
Baixo Rasgo <i>Low Tear</i>	Aumento <i>Increase</i>
Baixo Volume Específico, Rigidez <i>Low Bulk, Stiffness</i>	Aumento <i>Increase</i>
Baixo Brilho, Formação nublada <i>Low Gloss, cloudy Formation</i>	Redução <i>Decrease</i>
Marcas nos rolos de sucção/seção das prensas, marcas e vincos nas telas <i>Suction roll/press section/wire marking, wrinkles</i>	Aumento  <i>Increase</i>

Tabela 1. Problemas da MP x Freeness

Table 1. PM problems vs. Freeness

### TERMINOLOGY

The idea of Freeness testing is to simulate the dewatering phenomenon taking place on the paper machine wire section, i.e. water drainage through the wire. Paper machine drainage speed is one of the deciding factors for final paper properties.

Drainage is the general term meaning fiber wetting and dewatering. Drainage measurement methods are thus

measuring drainability. The word 'freeness' comes from the Canadian method for drainability, CSF (Canadian Standard Freeness).

### USE OF FREENESS

For the paper maker, freeness gives an estimate of what kind of fibers the pulp contains and what kind of paper can be made from it.

Paper strength and different structural properties correlate to freeness testing values. Moreover, a change in target freeness value can be used to fix certain quality defects in the finished product.

The table below shows some common problems on the paper machine and how a change in Freeness could correct these.

Freeness can also be used to help in the monitoring or controlling many variables in pulp and paper making processes:

#### Mechanical Pulping

- \* Energy consumption in defibering and refining
- \* Defibering temperature
- \* Consistency
- \* Chemicals

#### Screening

- \* Fines/coarse fraction removal

#### Refining

- \* Refining energy consumption
- \* Refining consistency

## Mistura

- \* Relações de mistura

A qualidade e os custos definem o nível ideal do Freeness. Visando à melhor operabilidade possível, o objetivo é de atingir um nível de Freeness estável.

O desfibramento e a refinação definem o nível de qualidade e os tanques de celulose reprimem variações de qualidade. O teor de finos na água branca exerce influência sobre o Freeness. Celuloses diferentes podem apresentar o mesmo Freeness. Por este motivo, outras medições, tal como o comprimento das fibras, também são necessárias.

## MÉTODOS LABORATORIAIS

Ao longo dos anos, foram desenvolvidos diversos métodos laboratoriais para medir a capacidade de drenagem, como por exemplo:

- \* Testador Klem
- \* Schopper-Riegler
- \* Freeness de Padrão Canadense (T227)
- \* Testador de Precisão Williams
- \* Tempo de Drenagem (T221)
- \* Coeficiente de Drenagem

O método mais comumente usado para medição de drenagem em laboratório é o Freeness de Padrão Canadense (CSF), atual norma TAPPI T227.

O CSF é considerado como um desenvolvimento ulterior do instrumento Schopper-Riegler. O SR ainda é muito popular na Europa e nos países nórdicos, particularmente em medições de fabricação de pasta kraft.

Neste método, exatamente 1 litro de pasta diluída de 0,30% de consistência é filtrado através de uma chapa-peneira padrão. A água de drenagem que transborda através do orifício lateral determina o valor do Freeness [mL]. A temperatura do resíduo da pasta é registrada antes da drenagem e se aplica uma correção da temperatura se a temperatura diferir de 20°C. Outras variáveis importantes que exercem influência sobre o resultado estão estabilizadas e padronizadas.

## INSTRUMENTOS DE DRENAGEM ON-LINE

Existem muitos instrumentos no mercado que procuram medir on-line os

## Blending

- \* Blending ratios

*Quality and costs define the optimal freeness level. For best runnability, the objective is to achieve a stable freeness level. Defibering and refining define the quality level, and pulp chests dampen quality variations. Fines content in white water influences freeness. Different pulps can have the same freeness. For this reason, other measurement(s) such as fiber length are also needed.*

## LABORATORY METHODS

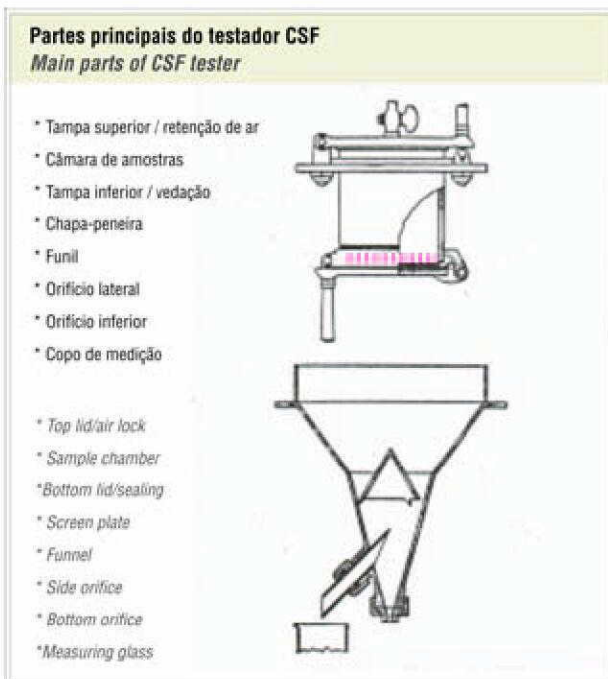
*Over the years there have been several laboratory methods to measure drainability, for example:*

- \* Klem Tester
- \* Schopper-Riegler
- \* Canadian Standard Freeness (T227)
- \* Williams Precision tester
- \* Drainage Time (T221)
- \* Drainage Coefficient

*The most commonly used method for drainage measurement in laboratory is Canadian Standard Freeness (CSF), current TAPPI standard T227.*

*CSF is regarded as a further development of the Schopper-Riegler instrument. The SR is still quite popular in Europe and the Nordic countries, particularly in kraft pulping measurements.*

*In this method, exactly 1 liter of 0.30% consistency diluted pulp is filtered through a standard screen plate. The drainage water overflowing through the side orifice determines the freeness value [ml]. Slurry temperature is recorded before drainage, and temperature correction is applied if temperature differs from 20°C. Other important variables influencing the result are stabilized and standardized.*



**Figura 1. Unidade de teste CSF**  
**Figure 1. CSF testing unit**

mesmos resultados que o testador padrão fornece em laboratório:

- \* Instrumentos de capacidade de drenagem
- \* Resistência à Filtração
- \* Métodos de Simulação

As principais vantagens de instrumentos on-line em relação à medição manual são a sua velocidade superior e a frequência de medição. Assim sendo, eles fornecem mais informações de processo necessárias para controle de processo de tempo real. O sucesso de instrumentos on-line é variado, mas, em geral, todos eles apresentam algumas desvantagens:

#### *Instrumentos de capacidade de drenagem*

\* Rápidos e simples, mas normalmente requerem um ambiente de processo muito estável. É medido o tempo de filtração. Sensíveis a variações de consistência e de pressão.

#### *Resistência à Filtração*

\* Em geral, a precisão e a repetibilidade deveriam ser ligeiramente melhores com compensação de consistência incluída. É medida a pressão dos dois lados da camada de celulose formada, bem como o peso da camada para compensação de consistência. Preço mais alto, seqüência de medição mais lenta. Também pode requerer mais manutenção.

#### *Métodos de Simulação*

\* Comparação/correlação laboratoriais normalmente mais fáceis. Compensações de temperatura e consistência estão incluídas, com frequência outras medições também. O Freeness é calculado matematicamente a partir de uma curva de drenagem, para simular o método laboratorial correspondente. O preço normalmente é bem alto, e o dispositivo pode requerer muita manutenção.

### **ANALISADOR ON-LINE**

Instrumento de teste do Freeness on-line, como todos os instrumentos anteriores, mede algo mais do que o Freeness padrão. As finalidades principais do analisador on-line eram:

1) Análise fiel do Freeness: copiando o dispositivo de teste laboratorial o mais exatamente possível, obtendo ao mesmo tempo os benefícios do teste automático on-line.

2) Baixa manutenção: por melhor que um dispositivo de teste on-line seja, necessidades de manutenção (quase) diárias significam que não é provável que o seu futuro seja longo. Isto é particularmente verdadeiro se o dispositivo for usado para fins de controle.

Os capítulos seguintes descrevem mais detalhadamente a operação do analisador on-line e a maneira pela qual estes objetivos têm sido atingidos até agora.

### **ON-LINE DRAINAGE INSTRUMENTS**

*There are many instruments on the market that attempt to measure on-line the same results as the standard tester is giving in laboratory:*

- \* *Rate of drainage instruments*
- \* *Filtration Resistance*
- \* *Simulation Methods*

*The main advantages of on-line instruments over manual measurement are their superior speed and measurement frequency. Thus they provide more process information needed for real-time process control. The success of on-line instruments is varying, but in general all of them have some disadvantages:*

#### *Rate of drainage instruments*

*\* Fast and simple, but normally needs a very stable process environment. Filtration time is measured. Sensitive to consistency and pressure variations.*

#### *Filtration Resistance*

*\* In general the accuracy and repeatability should be slightly better with consistency compensation included. Pressure from both side of the formed pulp pad is measured, as well as pad weight for consistency compensation. Price higher, measurement sequence slower. May also need more maintenance.*

#### *Simulation Methods*

*\* Lab comparison/correlation normally easier. Temperature and consistency compensations are included, often other measurements too. Freeness is mathematically calculated from a drainage curve to simulate the corresponding Laboratory method. Price is normally quite high, and the device may need plenty of maintenance.*

### **ON-LINE ANALYZER**

*On-line freeness testing instrument, as all previous instruments measure something else than standard freeness. The main goals of the on-line analyzer were:*

*1) True freeness analysis: copying the laboratory-testing device as closely as possible, at the same time achieving the benefits of automatic on-line testing.*

*2) Low maintenance: however good an on-line testing device is, (almost) daily maintenance needs mean its future is not likely to be long. This is especially true if the device is used for control purposes.*

## VISÃO DE CONJUNTO DO SISTEMA

### Coleta de amostras

O analisador pode coletar amostras automaticamente de até cinco pontos de amostragem e de até 100 m de distância. Uma coleta automática de amostras é adequada para consistências de processo entre 0,3% e 15%. O diâmetro da linha de amostras é de  $\frac{3}{4}$ ", sendo usado um coletor de amostras de diluição especial.

O analisador controla a consistência de transporte de amostras pela frequência do curso do pistão do dispositivo de amostragem. Para a diluição se usa água purificada, sendo a pressão mínima da água de 3 bar. Normalmente, as amostras são diluídas para 0,3–0,5% antes da análise (figura 2).

A temperatura da água recomendada é de 20°C, mas mais importante do que a temperatura efetiva é a sua estabilidade: grandes mudanças na temperatura das amostras causam variação nos resultados finais do Freeness, não somente em testadores on-line, mas também em unidades manuais de teste laboratorial. Este fato se sustenta até mesmo se a mesma tabela de correção de temperaturas for usada para as unidades de ensaio.

### Condicionamento de amostras

Talvez o fator mais importante em testes do Freeness seja a consistência das amostras. As amostras precisam ter a mesma consistência em toda e qualquer medição, pois caso contrário o valor do Freeness será afetado.

Por exemplo, instrumentos de Freeness para a *Capacidade de drenagem* poderão ser usados se a consistência de

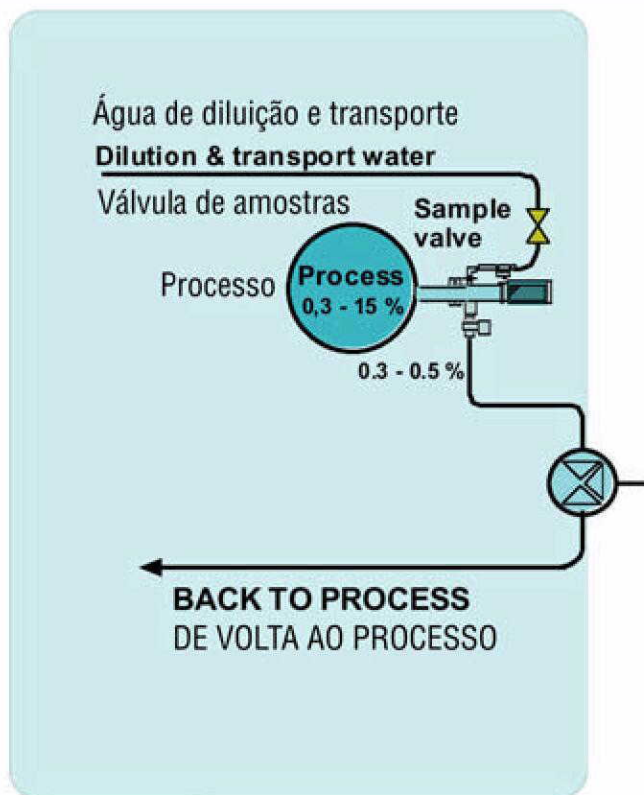


Figura 2. Visão de conjunto da coleta de amostras  
Figure 2. Sampling overview

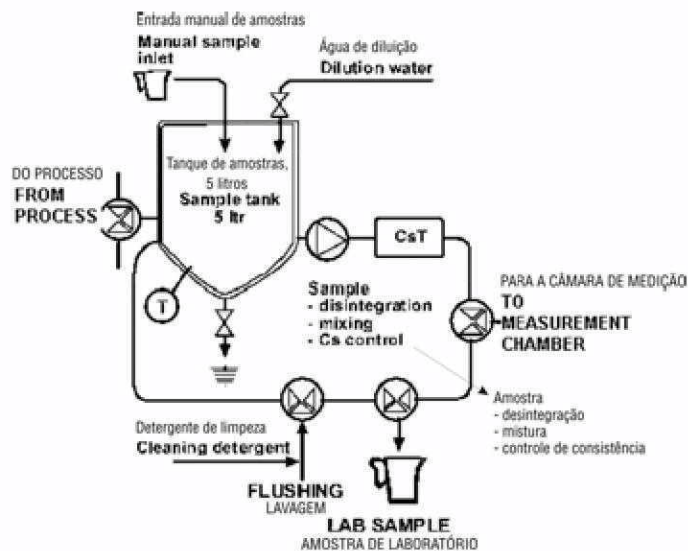


Figura 3. Condicionamento de amostras – visão de conjunto  
Figure 3. Sample conditioning, overview

The following chapters describe in more detail the operation of the on-line analyzer, and how these goals have been achieved so far.

## SYSTEM OVERVIEW

### Sampling

The analyzer can take samples automatically from up to five sampling points and up to 100m distance. Automatic sampling is suitable for process consistencies between 0.3% and 15%. Sample line diameter is  $\frac{3}{4}$ ", and a special diluting sampler is used.

The analyzer controls sample transportation consistency by the frequency of sampling device piston stroke. Purified water is used for dilution, minimum water pressure being 3 bar. Normally samples are diluted down to 0.3–0.5% before analysis (figure 2).

Recommended water temperature is 20°C, but more important than actual temperature is its stability: big changes in sample temperature will cause variation in final freeness results, not just in on-line testers but also in manual laboratory testing units. This fact holds even if the same temperature

correction table is used for the testing units.

### Sample Conditioning

Maybe the most important factor in freeness testing is sample consistency. The samples must have the same consistency in every measurement; otherwise freeness value will be affected.

processo for estável. Em condições de processo variáveis, a consistência das amostras tem de ser ajustada a um nível de teste conhecido.

Depois de uma amostra fluir para dentro do tanque de amostras do analisador on-line (Figura 3), uma bomba começa a circular a amostra através da unidade óptica de medição de consistência. Então o analisador adiciona água de diluição até a consistência tornar-se de 0,3%, a mesma que é usada em testes laboratoriais. A margem de erro de medição do analisador de consistência é de 0,01%.

A bomba também mistura a amostra completamente antes da efetiva medição. É possível coletar uma amostra de laboratório do analisador mediante a simples compressão de um botão. Um produto químico de limpeza automática também pode ser conectado; isto é particularmente útil em ambientes de processo “sujos”, tais como linhas de fibras recicladas. Em vez de coleta de amostras de processo automática, as amostras podem ser fornecidas manualmente.

Mais uma vez, recomenda-se manter uma temperatura da água estável (20°C) e uma pressão mínima da água de 4 bar.

### MEDIÇÃO DA CONSISTÊNCIA

A medição óptica da consistência baseia-se em absorção de luz de laser, dispersão refletida e despolarização.

Os dois gráficos abaixo ilustram a precisão de medição do analisador on-line. A Figura 4 mostra a consistência bruta de processo e a consistência ajustada pelo analisador. A Figura 5 indica a margem de erro na diluição de amostras. A consistência objetivada é de 0,30%, e a margem de erro, de 0,01%.

### MEDIÇÃO

O analisador mede o Freeness de acordo com a norma (T227):

- consistência da amostra

*For example, Rate of drainage freeness instruments can be used if the process consistency is stable. In varying process conditions sample consistency must be adjusted to a known testing level.*

*After a sample flows into the sample tank of on-line analyzer (figure 3), a pump starts to circulate sample through the optical consistency measurement unit. The analyzer then adds dilution water until consistency is 0.3%, the same as used in laboratory testing. Error of consistency's analyzer measurement is 0.01%.*

*The pump also mixes the sample thoroughly before actual measurement. It is possible to take a laboratory sample from the analyzer by simply pressing a button. Automatic cleaning chemical can also be connected; this is particularly useful in “dirty” process environments such as recycled fiber lines. Instead of automatic process sampling, samples can be supplied manually.*

*Again it is recommended to keep a stable (20°C) water temperature and minimum 4 bar water pressure.*

### Consistency Measurement

*The optical consistency measurement is based on laser light absorption, backscattering and depolarization.*

*The two graphs below illustrate the accuracy of on-line analyzer measurement. Figure 4 shows the raw process consistency and consistency adjusted by analyzer. Figure 5 shows the error in sample dilution. Target consistency is 0.30%, error 0.01%.*

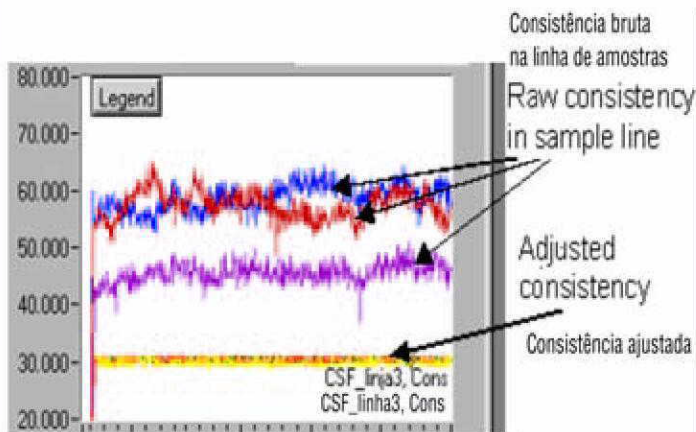


Figura 4. Ajuste automático da consistência.  
Figure 4. Automatic consistency adjustment

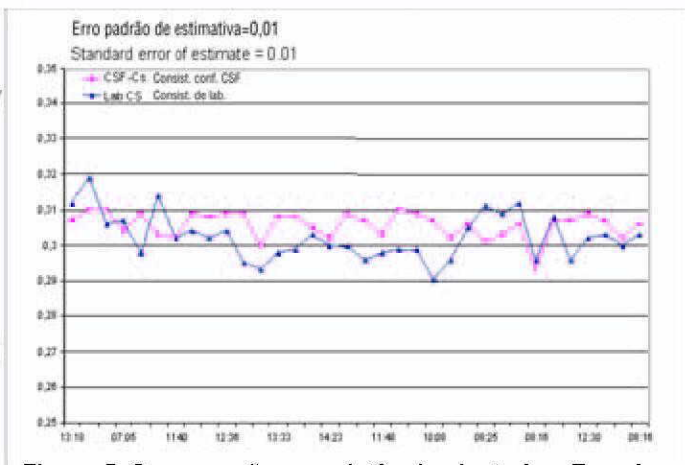


Figura 5. Comparação: consistência ajustada x Erro de Laboratório de 0,01%.

Figure 5. Comparison: adjusted consistency vs. Lab. Error 0.01%.

- dimensões da câmara de medição
- chapa-peneira inferior
- seqüência de medição

Todos estes fatores contribuem para proporcionar uma curva de desagüamento idêntica, comparada com a da unidade de teste de laboratório padrão.

A câmara de medição tem um respiro de transbordo, para fornecer exatamente 1 litro de amostra, de acordo com a norma. Um sensor ultra-sônico lê o nível da amostra. A seqüência de medição é rápida: os resultados de uma nova amostra ficam disponíveis a cada 4 minutos, fornecendo, assim, mais de 350 análises por período de 24h.

A limpeza do sistema - Figura 6 - é feita mediante um suprimento de água de lavagem através da chapa-peneira padrão e mediante limpeza ultra-sônica, realizada antes de cada nova amostra. Se as mesmas não forem suficientes, poderá ser aplicado um produto químico de limpeza. Os mesmos asseguram baixa necessidade de limpeza e manutenção manuais. Um intervalo de limpeza manual normal é de um mês.

### FREENESS DA ÁGUA

O estado de limpeza do instrumento é monitorado a partir do valor do "Freeness da água". O analisador mede o Freeness da água pura antes de cada nova amostra. Se a unidade e a água estiverem limpas, os resultados em termos de Freeness da água deveriam ser sempre os mesmos. Se a unidade fica suja, os valores do Freeness da água começam a baixar (juntamente com os resultados do Freeness de processo).

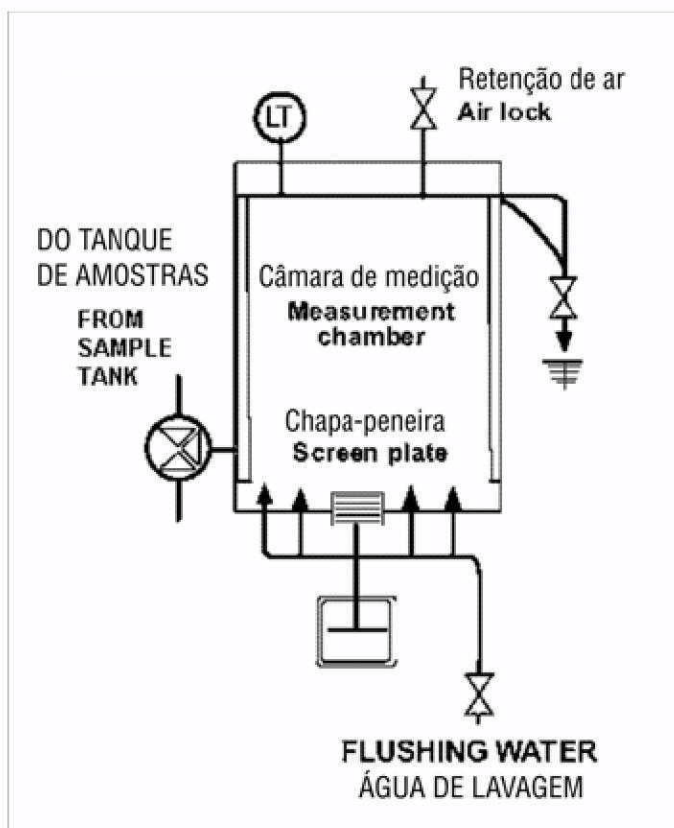


Figura 6. Câmara de medição KSF  
Figure 6. KSF measurement chamber

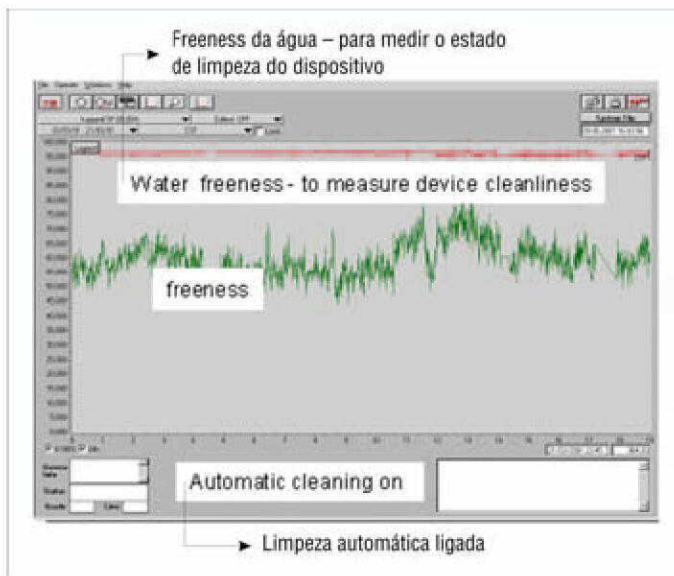


Figura 7. Limpeza automática ligada  
Figure 7. Automatic cleaning on

### Measurement

The analyzer measures freeness according to the standard (T227):

- sample consistency
- measurement chamber dimensions
- bottom screen plate
- measurement sequence

All these factors contribute to give an identical dewatering curve compared to the standard laboratory-testing unit.

The measurement chamber has an overflow vent to provide exactly 1 liter of sample, according to standard. An ultrasonic sensor reads sample level. The measurement sequence is fast: new sample results are available every 4 minutes, thus providing over 350 analyses per 24h period.

The system is cleaned by a flushing water supply through the standard screen plate - Figure 6 -, and by ultrasonic cleaning performed between every sample. If these are not enough, cleaning chemical can be applied. These ensure low manual cleaning and maintenance needs. A normal manual cleaning interval is one month.

### Water Freeness

Instrument cleanliness is monitored from the "water freeness" value. Analyzer measures the freeness of pure water between every sample. If the unit and water are clean, water freeness results should always be the same. If the unit gets dirty, water freeness values begin to go down (together with process freeness results).

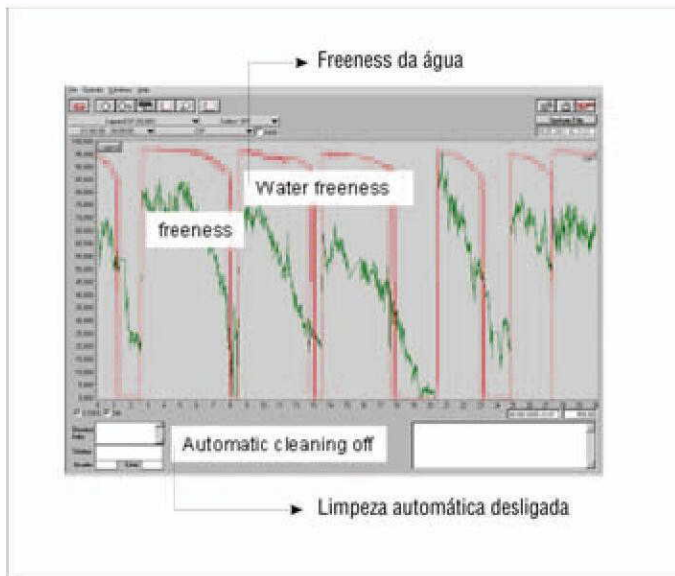


Figura 8. Limpeza automática desligada  
 Figure 8. Automatic cleaning off

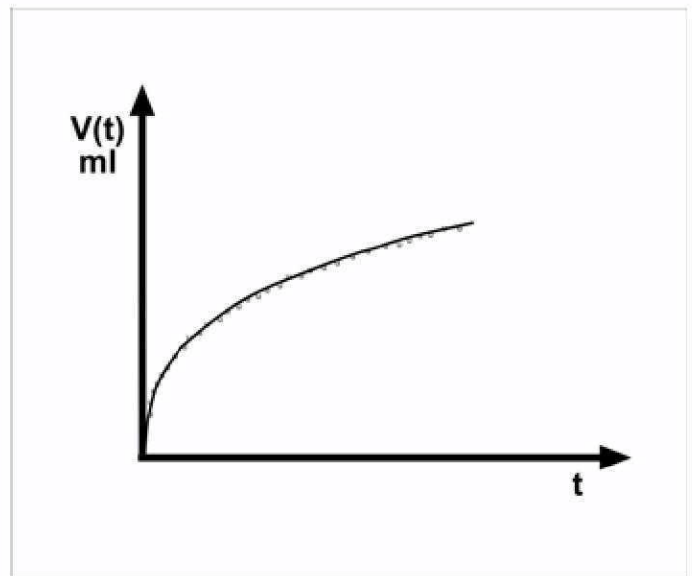


Figura 9. Curva do volume de desaguamento  
 Figure 9. Dewatering volume curve

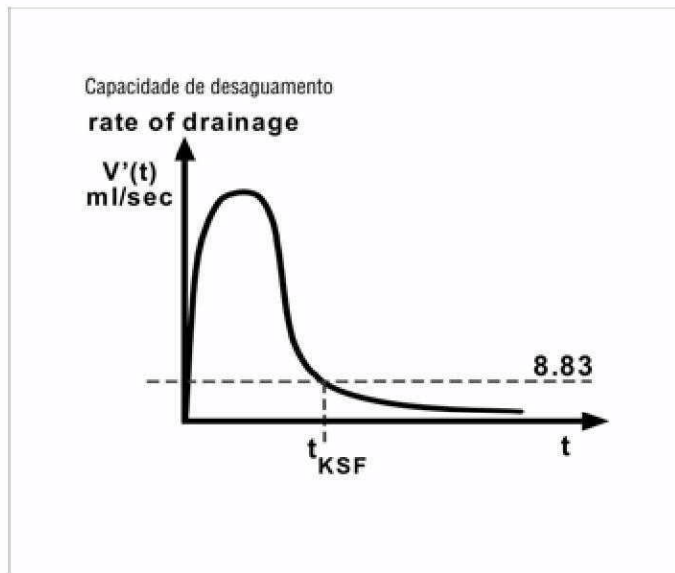


Figura 10. Curva do fluxo de água  
 Figure 10. Water flow curve

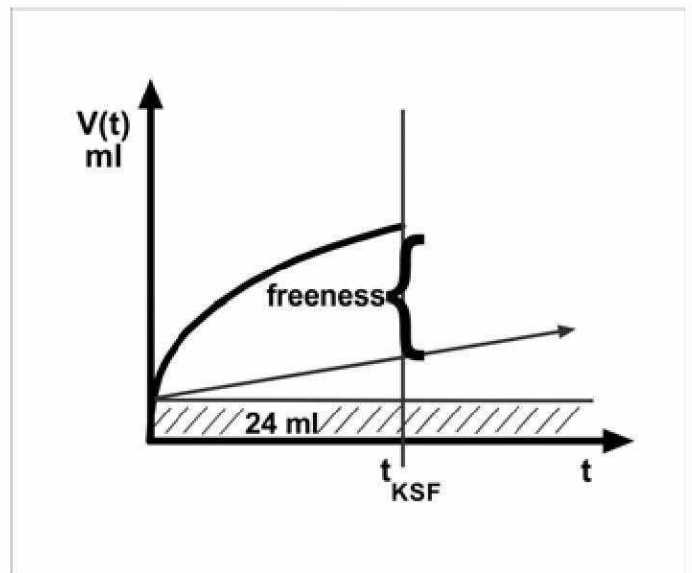


Figura 11. Cálculo do Freeness a partir da curva de desaguamento.  
 Figure 11. Freeness calculation from dewatering curve.

A limpeza automática mantém a unidade limpa, conforme confirmado pela linha plana de valores de Freeness da água (figura 7).

Quando a limpeza automática estiver desligada, o Freeness da água – bem como o Freeness de processo – começará a cair após alguns dias de operação (Figura 8).

### PRINCÍPIO DE MEDIÇÃO

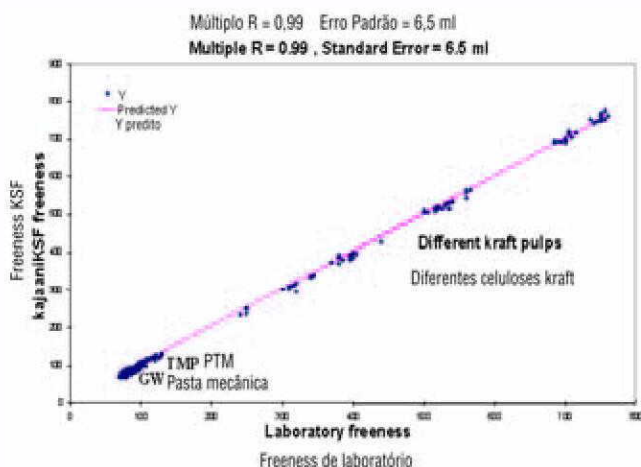
As leituras do sensor ultra-sônico de nível do analisador estão armazenadas na memória. As leituras são registradas 25 vezes/segundo, correspondendo cada valor registrado a uma média de 10 leituras. Os dados do nível são

*Automatic cleaning keeps the unit clean, as confirmed by the flat line of water freeness values (figure 7).*

*When automatic cleaning is off, water freeness – as well as process freeness – begins to drop after a couple of days' operation (figure 8).*

### Measurement Principle

*The readings of analyzer's ultrasonic level sensor are stored in memory. Readings are recorded 25 times/second, each recorded value being an average of 10 readings. The level data is translated into dewatering volume information (level multi-*



**Figura 12. Correlação entre o analisador on-line e o Freeness de laboratório, resultados de uma fábrica finlandesa**  
*Figure 12. On-line analyzer and Lab freeness correlation, results from a Finnish mill.*

traduzidos em informações do volume de desaguamento (nível multiplicado pela área de seção transversal). Uma curva matemática do volume de desaguamento  $V(t)$  é ajustada aos valores medidos - Figura 9.

Em seguida, a curva volumétrica  $V(t)$  é convertida matematicamente numa curva de fluxo de água  $V'(t)$  - Figura 10.

O momento de tempo,  $tKSF$ , é determinado matematicamente:

$V'(t) = 8,83$  ml/s, sendo 8,83 ml/s o fluxo constante através do orifício de descarga inferior do instrumento de medição do Freeness de laboratório. Este valor pode ser substituído por qualquer valor adaptado às condições específicas, se assim se desejar.

Em seguida, o Freeness é calculado a partir da curva de desaguamento - Figura 11.

$$FREENESS = V(tKSF) - 8,83 * tKSF - 24ml,$$

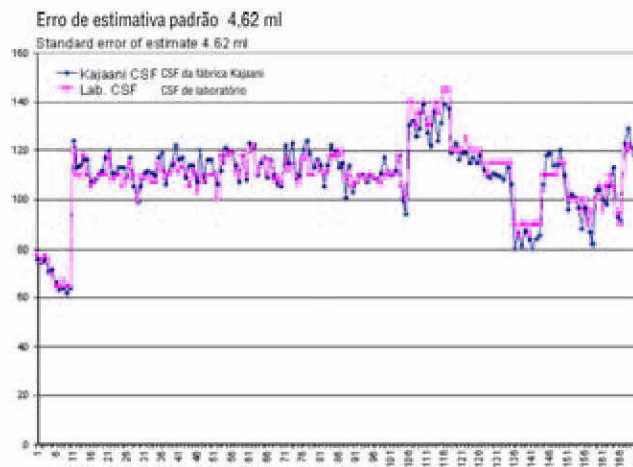
sendo 24ml o volume da seção inferior do funil no instrumento de laboratório.

## CALIBRAÇÃO E RESULTADOS

O analisador on-line não requer calibração do Freeness. Os resultados mostrados na Figura 12, sem qualquer calibração CSF, provêm de uma fábrica finlandesa.

No entanto, o analisador on-line não dispensa totalmente uma calibração: a medição da consistência precisa ser calibrada. Tal como se vê na Figura 13, a medição de consistência do analisador é exata e a própria consistência é muito importante para a medição do Freeness. Normalmente, o teste de amostras em laboratório e a calibração da consistência final levam de 2 a 3 dias.

Após a calibração da consistência, o analisador deveria poder seguir rigorosamente as medições manuais de laboratório.



**Figura 13. Acompanhamento do analisador on-line x Freeness de laboratório, de uma fábrica finlandesa**  
*Figure 11. On-line analyzer vs. Lab freeness follow-up from a Finnish mill*

plied by cross-sectional area). A mathematical dewatering volume curve  $V(t)$  is fitted into the measured values. Figure 9.

The volume curve  $V(t)$  is then mathematically converted into a water flow curve  $V'(t)$ . Figure 10.

The moment of time,  $tKSF$ , is determined mathematically:  
 $V'(t) = 8.83$  ml/sec, where 8.83 ml/sec is the flow constant through the bottom discharge orifice of the laboratory freeness instrument. This value can be replaced by any customized value if desired.

Freeness is then calculated from the dewatering curve. Figure 11.

$$FREENESS = V(tKSF) - 8.83 * tKSF - 24ml,$$

where 24ml is the volume of the bottom section of the funnel in the laboratory instrument.

## Calibration and Results

The on-line analyzer does not require freeness calibration. The results shown in figure 12, without any CSF calibration, are from a Finnish mill.

However, the on-line analyzer is not fully calibration-free: the consistency measurement needs to be calibrated. As seen in Figure 13, analyzer's consistency measurement is accurate and consistency itself is very important for freeness measurement. Normally sample testing in laboratory and the final consistency calibration takes 2–3 days.

After consistency calibration, the analyzer should be able to follow closely manual laboratory measurements.

As stated, analyzer does not need CSF calibration because the measurement follows the standard method. Ho-

Conforme mencionado, o analisador não requer calibração de CSF, porque a medição segue o método padrão. Contudo, uma opção de correção de compensação do CSF também está incluída no programa, pelos seguintes motivos:

- Se a temperatura da amostra estiver fora da tabela de compensação de temperaturas aplicada, os resultados de medição poderão estar num nível ligeiramente diferente, em comparação com os de laboratório.

- A experiência passada tem mostrado que mesmo duas unidades de ensaio laboratorial padrão nem sempre dão exatamente os mesmos resultados, e o analisador on-line é normalmente checado com uma unidade de laboratório.

## EXPERIÊNCIAS

Atualmente existem dezenas de instalações de analisadores on-line em todo o mundo. A maioria deles é usada para controlar a área de preparação de massa da máquina de papel, sendo o controle de refinação de PTM a segunda aplicação mais comum.

A experiência tem mostrado que a instalação de celulose kraft pura talvez seja a aplicação mais fácil: a correlação é sempre próximo de um, e o intervalo de limpeza manual pode ser de vários meses. Tal como já foi visto nos resultados a partir da “fábrica finlandesa”, pode-se confiar no analisador para uso em controle fechado e/ou para substituir medições manuais de laboratório.

Pasta mecânica também é relativamente simples, ainda que alguma correção de Freeness tenha sido ocasionalmente necessária para celulose reciclada/destinada. O intervalo de limpeza manual é usualmente de algumas semanas, em vez de meses.

### Princípio de Controle

O controle do SEC (Fig.1) utiliza dados de consistência, vazão e consumo de energia para calcular o consumo específico de energia do refinador. A malha de controle da drenagem atua como o controlador principal na cascata, e o controle do SEC é um controlador auxiliar que ajusta a carga do refinador ao setpoint dado.

A malha de controle da drenagem mantém a drenagem no nível desejado a longo prazo, mas não reage a rápidas flutuações de drenagem causadas pelo próprio processo. Esta malha está ligada em cascata com o controle do SEC existente, de modo que os intertravamentos do refinador, ou outras medidas de segurança, não precisam ser alterados.

O controle compara a medição da drenagem do analisador on-line com o setpoint do operador e corrige o setpoint do SEC dentro de certos limites preestabelecidos, para eliminar quaisquer desvios. Os limites asseguram que a ação

wever, a CSF offset correction option is also included in the program, due to the following reasons:

- If sample temperature is outside the temperature compensation table applied, the measurement results may be on a slightly different level in comparison to laboratory.

- Past experience has shown that even two standard laboratory testing units do not always give exactly the same results, and the on-line analyzer is normally checked against a laboratory unit.

## EXPERIENCES

There are now dozens of existing on-line analyzer installations around the world. Most of these are used to control the paper machine stock preparation area, with TMP refining control as the second most common application.

Experience has shown that the pure kraft pulp installation is perhaps the easiest application: the correlation is always near one, and manual cleaning interval can be several months. As already seen in the results from the “Finnish mill”, the analyzer can be trusted for closed control use and/or to replace manual laboratory measurement.

Mechanical pulp is also relatively simple, even though some freeness correction has occasionally been needed for recycled/deinked pulp. Manual cleaning interval is usually a couple of weeks, instead of months.

### Principle of Control

SEC-control (Fig.1) uses consistency, flow rate and energy consumption data to calculate the specific energy consumption of the refiner. Drainage control loop acts as the main controller in the cascade, and SEC-control is an auxiliary controller that adjusts the refiner load to the given setpoint.

Drainage control loop maintains drainage at the desired level in the long term, but it does not react to rapid drainage fluctuations caused by process itself. This loop is cascaded with the existing SEC-control, so that refiner interlocks or other safety measures need not be changed.

The control compares drainage measurement of the on line analyzer to the operator setpoint and corrects the SEC setpoint within certain preset limits to eliminate any deviations. The limits ensure that control action is smooth and gradual, and in error situations they also prevent the control from overreacting and possibly causing damage to the refiners. The principle of the refiner control loop is illustrated in Fig. 2

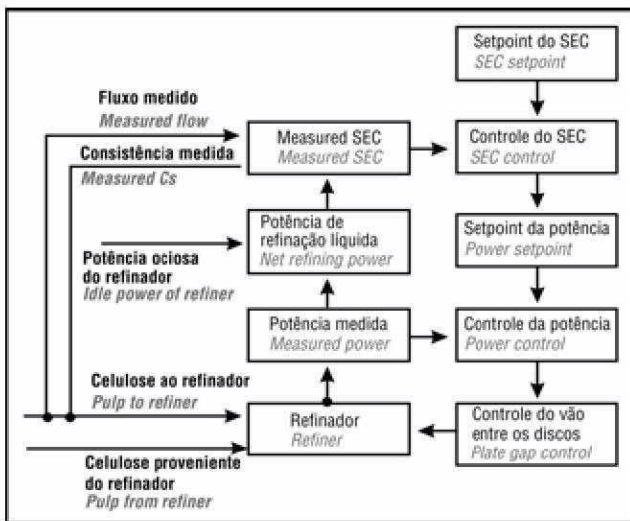


Figura 1: Princípio da malha de controle do SEC  
 Figure 1: Principle of SEC control loop

do controle seja suave e gradual e, em situações de erro, eles também impedem que o controle reaja exageradamente e possivelmente cause dano aos refinadores. O princípio da malha de controle do refinador está ilustrado na Fig. 2.

### Requisitos para Controle

Todos os ajustes para a operação do refinador têm de ser feitos gradualmente, porque mudanças rápidas no vão entre os discos poderiam facilmente danificar os refinadores. Todavia, rápidas variações de processo podem causar problemas no controle devido ao fato de a malha de controle do SEC reagir lentamente, alterações de vazão e de consistência resultam facilmente em alterações de drenagem. Portanto, uma malha de controle em funcionamento requer condições de processo relativamente estáveis.

### Exemplo: Controle de Refinação de Celulose de Pinho e de Bétula

Sabia-se que o processo de refinação de celulose de pinho apresentava maior variação de drenagem do que a linha de bétula. A celulose de pinho é refinada numa série de dois refinadores cônicos, e a de bétula com dois refinadores cônicos paralelos. O controle de refinação foi implementado na parte superior do controle do SEC existente.

A ideologia de controle era muito simples: ela compara resultados de drenagem do analisador on-line com uma meta de drenagem dada ao operador e se empenha no sentido de eliminar possíveis desvios mediante a correção do setpoint do SEC dentro dos limites dados. O sinal de drenagem foi retirado diretamente do resultado de medição do analisador, não-filtrado, uma vez que a fábrica também queria que o controle levasse em conta rápidas alterações de processo.

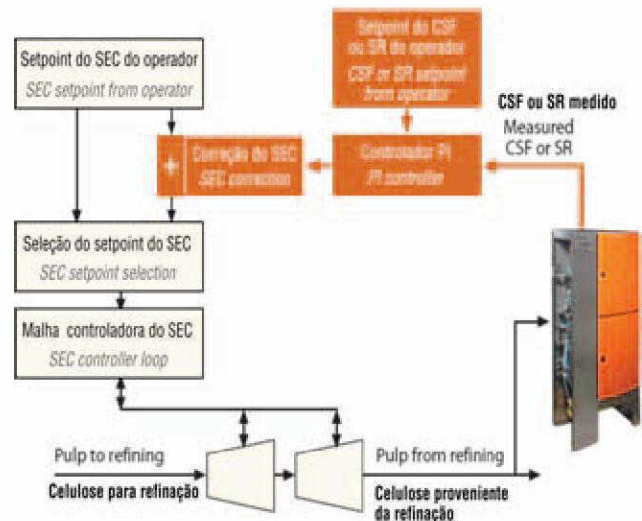


Figura 2: Princípio do controle do refinador  
 Figure 2: Principle of the refiner control

### Requirements for Control

All adjustments to refiner operation must be made gradually, because quick changes in plate gap might easily damage the refiners. However, rapid process variations may cause problems in control: because the SEC-control loop responds slowly, changes in flow rate and consistency easily result in drainage changes. Therefore a functioning control loop requires relatively stable process conditions.

### Example: Pine and Birch Pulp Refining Control

The pine pulp refining process was known to have more drainage variation than the birch line. Pine pulp is refined in a series of two conical refiners, birch with two parallel conical refiners. The refining control was implemented on top of the existing SEC-control.

The control ideology was very simple: it compares on-line analyzer drainage results to an operator-given drainage target, and strives to eliminate possible deviations by correcting SEC setpoint within the given limits. The drainage signal was taken directly from analyzer's measurement result, unfiltered, as the mill also wanted the control to take rapid process changes into account.

### Control Loop Parameters

In the loop, the main controller is a normal PI controller that has been tuned relatively slow because of the slowness of the auxiliary (SEC) controller. SEC-control parameters and interlocks were not changed in any way. There were three parameters to tune:

### Parâmetros da Malha de Controle

Na malha, o controlador principal é um controlador PI normal que foi sintonizado relativamente lento, devido à lentidão do controlador auxiliar (do SEC). Os parâmetros e intertravamentos do controle do SEC não foram alterados de nenhuma maneira. Havia três parâmetros para sintonizar:

- Ganho do controlador principal  $K_p$
- Termo de integração do controlador principal  $T_i$
- Janela de controle do controlador principal

A janela de controle para o controlador principal foi ajustada como  $\pm 15$  kW (Fig. 6 e 7). Isto afeta o escopo do controle de drenagem, isto é, os limites para o setpoint do SEC: o operador estabelece a meta do SEC, e o controle é capaz de operar dentro dos limites estabelecidos.

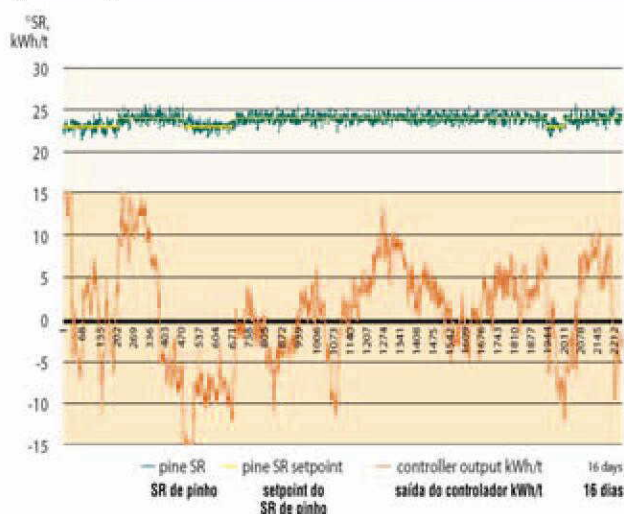


Figura 6: Drenagem de celulose refinada de pinho em controle automático

Figure 6: Refined pine pulp drainage on automatic control

### Varição de Drenagem com o Controle do SEC

A variação de drenagem antes da implementação do controle é ilustrada pelas tendências de medição indicadas na Fig. 3 (pinho) e na Fig. 4 (bétula). A drenagem flutua para cima e para baixo em períodos de várias horas – algo que pode passar completamente despercebido com uma coleta manual de amostras e medições laboratoriais, se os maiores picos ocorrerem entre amostras. A meta era tentar resolver exatamente essas mudanças com o controle. Supôs-se que a oscilação de maior frequência do sinal fosse causada pelo processo de refinação e por malhas de controle de nível mais baixo.

O controle do SEC é capaz de manter a drenagem bem de acordo com o objetivo, se as condições de processo e a qualidade da celulose permanecem estáveis. Contudo, o controle do SEC não leva em conta variações de operabilidade causadas por mudanças na fabricação de pasta ou na matéria-prima e, portanto, as mesmas, muito provavelmente, afastam a

- Main controller gain  $K_p$
- Main controller integrating term  $T_i$
- Main controller control window

Control window for the main controller was set as  $\pm 15$  kW (fig. 6 and 7). This affects the scope of the drainage control, i.e. the limits for SEC setpoint: operator gives the SEC target, and the control is able to operate within the set limits.

### Drainage Variation with SEC-control

Drainage variation before control implementation is illustrated by the measurement trends shown in fig 3 (pine) and fig. 4 (birch). Drainage is drifting up and down

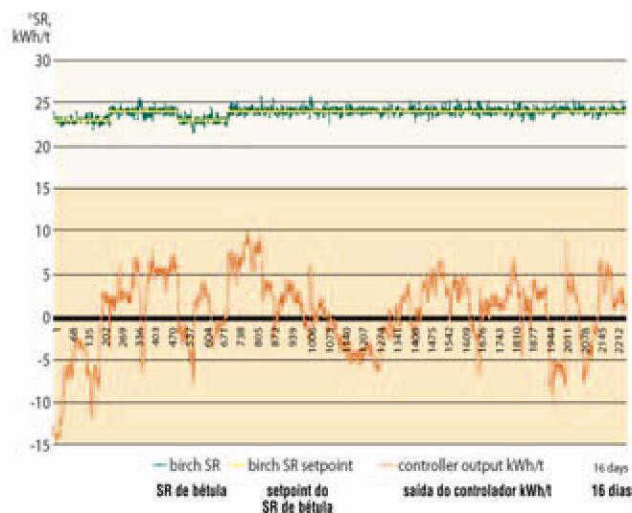


Figura 7: Drenagem de celulose refinada de bétula em controle automático

Figure 7: Refined birch pulp drainage on automatic control

in periods of several hours – something that may go completely unnoticed with manual sampling and laboratory measurements, if the biggest peaks occur between samples. The goal was to tackle exactly these changes with the control. The higher-frequency oscillation of the signal was assumed to be caused by the refining process and lower-level control loops.

SEC-control is able to keep drainage well to target, if process conditions and pulp quality remain stable. However, SEC-control does not take into account runnability variations caused by changes in pulping or raw material, and therefore these are bound to push process drainage away from the target.

A typical drainage disturbance caused by changes in raw material refinability is illustrated in Fig. 5. Here, drai-

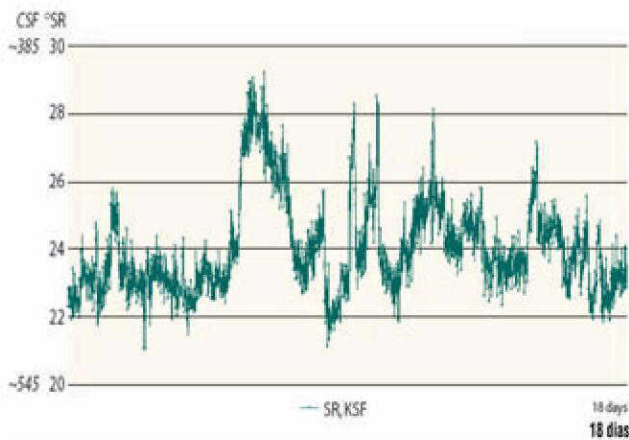


Figura 3: kajaaniKSF, celulose refinada de pinho antes do controle

Figure 3: KajaaniKSF, refined pine pulp before control

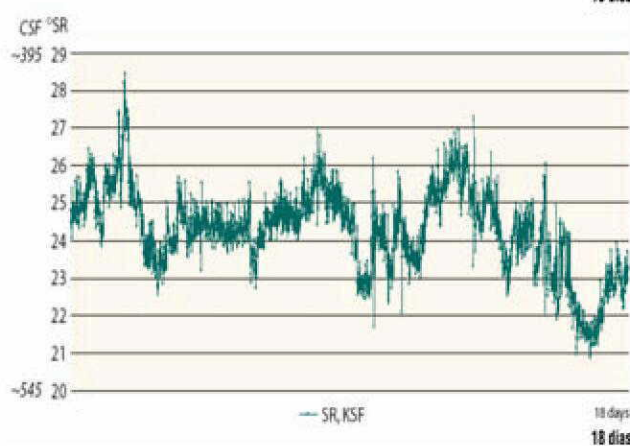


Figura 4: kajaaniKSF, celulose refinada de bétula antes do controle

Figure 4: KajaaniKSF, refined birch pulp before control

drenagem de processo da meta estabelecida.

Uma perturbação de drenagem típica, causada por modificações na capacidade de refinação da matéria-prima, está ilustrada na Fig. 5. Aqui, o controle da drenagem é feito mediante a redução e o aumento do SEC dentro dos limites estabelecidos, mantendo a drenagem no nível correto. Sem controle, o SEC teria permanecido estável, resultando, sem dúvida, numa alteração de drenagem.

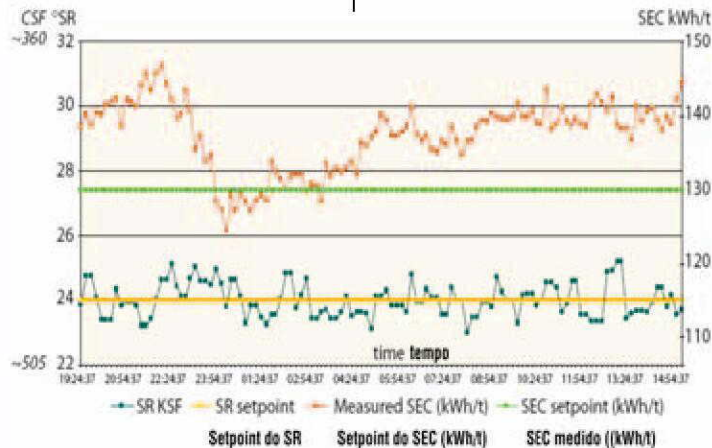


Figura 5: Perturbação da drenagem, causada por alterações na capacidade de refinação da matéria-prima

Figure 5: Drainage disturbance caused by changes in material refinability

#### Efeito do Controle sobre o Resultado de Refinação

As Fig. 6 & 7 indicam os resultados de medição de um período de 16 dias. Os resultados indicados na Fig. 6 referem-se a celulose refinada de pinho, com um SR objetivado de 23-24. Quando o SR objetivado era de 24, a variação foi de 0,510 ml, enquanto com o SR objetivado de 23 ela foi de 0,557 ml.

A Fig 7 indica resultados correspondentes para celulose refinada de bétula, com o mesmo SR objetivado. Com um SR objetivado de 24, a variação foi de 0,385, e com o SR objetivado de 23, ela foi de 0,424 ml.

Ainda que a meta seja usualmente de manter um nível de drenagem ajustado, o controle também é útil quando a meta muda, conforme ilustram as Fig. 6 & 7. A nova meta é atingida de forma confiável, e os operadores conseguem

drainage control as decreased and increased SEC within the given limits, keeping drainage at the correct level. Without control the SEC would have remained stable, undoubtedly resulting in a change in drainage.

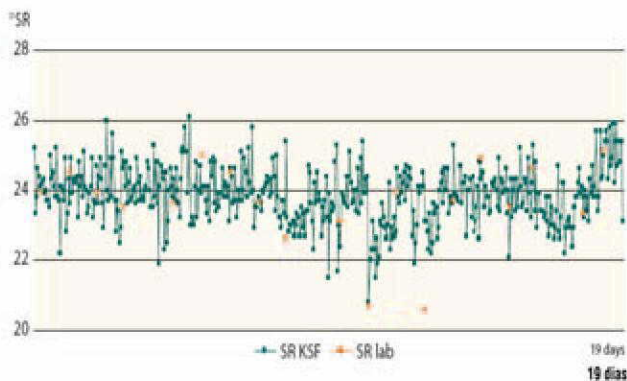
#### Effect of Control on Refining Result

Fig. 6 & 7 show measurement results from a 16 days period. The results in fig. 6 are for refined pine pulp, with SR target 23-

24. When SR-target was 24, variation was 0.510 ml, with SR-target 23 it was 0.557 ml.

Fig 7. Shows corresponding results for refined birch pulp, with the same SR-target. With SR-target 24 the variation was 0.385 and with SR-target 23 it was 0.424 ml.

Even though the goal is usually to maintain a set drainage level, the control is also useful when the target changes, as Fig. 6 & 7 illustrate. The new target is reached reliably, and the operators are able to see how the changes have succeeded. By contrast, laboratory results are sometimes available only several hours after the actual change was made.



**Figura 8: Resultados de SR para celulose refinada de pinho, kajaaniKSF x laboratório**

*Figure 8: Refined pine pulp SR results, kajaaniKSF vs. Lab*

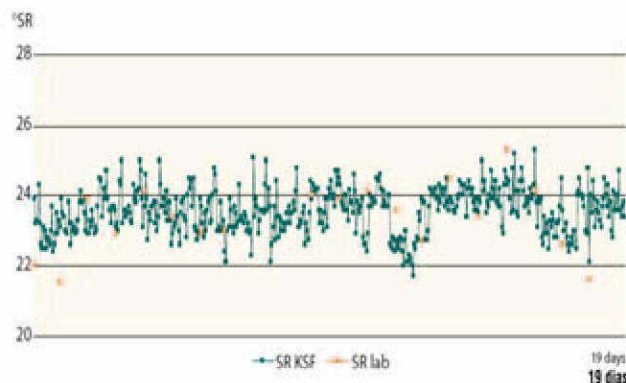
ver como as mudanças sucederam. Em contraposição, os resultados de laboratório às vezes só ficam disponíveis diversas horas após a efetiva alteração ter sido feita.

A Fig. 8 compara os resultados de SR do analisador on-line e de laboratório, para celulose refinada de pinho, durante um período de controle de 19 dias. Os resultados correspondentes para celulose de bétula estão indicados na Fig. 9.

Os gráficos mostram claramente que menos análises de laboratório são necessárias quando o controle está operando.

#### **Percepções e benefícios do cliente**

- 1) Medições manuais reduzidas a um mínimo; medições manuais ocasionais feitas somente para verificar se os resultados estão corretos.
- 2) Analisador adequado para aplicações de controle, monitorando ou reduzindo o trabalho manual.
- 3) O pessoal da fábrica confia no analisador e seus resultados.
- 4) O analisador requer um mínimo de manutenção.
- 5) As expectativas financeiras são atendidas.
- 6) A drenagem pode ser mantida no nível objetivado.
- 7) As variações de drenagem são consideravelmente reduzidas.
- 8) O controle ajuda a atingir a meta de drenagem mais rapidamente durante as colocações em serviço dos processos.
- 9) O controle elimina alterações causadas por variações na capacidade de refinação da celulose.
- 10) O controle elimina alterações causadas por variações de matéria-prima.
- 11) O controle elimina alterações causadas por variações na operação do refinador ou do sistema de refinação. ▲



**Figura 9: Resultados de SR para celulose refinada de bétula, kajaaniKSF x laboratório**

*Figure 9: Refined birch pulp SR results, kajaaniKSF vs. Lab*

*Fig. 8 compares the SR-results of on-line analyzer and laboratory for refined pine pulp over a 19 days control period. Corresponding results for birch pulp are shown in fig. 9.*

*The graphs show clearly that fewer laboratory analyses are needed when the control is operating*

#### **CUSTOMER VIEWS AND BENEFITS**

- 1) Manual measurements reduced to a minimum; occasional manual measurements done only to check that the results are right.
- 2) Analyzer suitable for control applications, monitoring or reducing manual work.
- 3) Mill people trust the analyzer and its results.
- 4) Analyzer upkeeping is motivating but minimal.
- 5) Financial expectations are fulfilled.
- 6) Drainage can be kept at the target level
- 7) Drainage variations are considerably reduced
- 8) Control helps to reach the drainage target more quickly during process start-ups
- 9) Control eliminates changes caused by variations in pulp refinability
- 10) Control eliminates changes caused by raw material variations
- 11) Control eliminates changes caused by variations in refiner or refining system operation ▲

#### **REFERÊNCIAS / REFERENCES**

- TIKKKAJA, E. - *Freeness measurement and control*. Metso Automation internal documents.  
 PIIRAINEN, E - *kajaaniKSF Automatic Freeness Analyzer*. Metso Automation public PowerPoint presentation.