

# **Os Clones de Excelência de *Eucalyptus* no Brasil** **para Produção de Celulose**

**José Lívio Gomide, Jorge Luiz Colodette, Rubens Chaves de Oliveira, Cláudio Mudado Silva – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, Brasil.**

**Resumo** – Foram analisados clones de *Eucalyptus* de última geração, pertencentes às principais empresas brasileiras de celulose. Os estudos consistiram numa caracterização tecnológica detalhada da qualidade das madeiras utilizadas no processamento fabril das empresas. Foram realizadas análises químicas detalhadas das madeiras e cozimentos kraft, simulando-se uma das moderna técnica de digester contínuo. Os resultados demonstraram a alta qualidade dos clones de *Eucalyptus* atualmente plantados no Brasil para produção de celulose.

**Palavras chave:** Clone, *Eucalyptus*, carboidratos, celulose kraft, lignina.

## **Technological Characterization of the New Generation of *Eucalyptus* Clones in Brazil for Kraft Pulp Production**

**Abstract** – Last generation of *Eucalyptus* clones pulped by the main Brazilian kraft pulp mills were used for this study. Detailed chemical analysis of the woods were carried out to establish the wood quality. Laboratory simulation of a modern continuous digester technique was used for pulp production. Results demonstrated the high quality of *Eucalyptus* clones wood that are being planted in Brazil for kraft pulp production.

**Key words:** Clone, *Eucalyptus*, carbohydrates, kraft pulp, lignin.

## **1. INTRODUÇÃO**

Este estudo teve como objetivo analisar a qualidade tecnológica da nova geração de clones de *Eucalyptus* das principais empresas brasileiras produtoras de celulose kraft branqueada. Objetivou-se, ainda, uma caracterização mais detalhada que a normalmente realizada para estabelecimento da qualidade das madeiras utilizadas no processamento fabril das empresas nacionais. As principais empresas nacionais produtoras de celulose kraft branqueada de eucalipto foram convidadas a participar deste estudo, fornecendo um de seus clones classificado entre os de melhor qualidade tecnológica. Dez empresas aderiram ao projeto e seus clones, por motivos de confidencialidade, foram codificados por letras, de A a J.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Três árvores de um mesmo clone de *Eucalyptus*, apresentando as dimensões médias de DAP e de altura do plantio, foram obtidas de cada empresa participante. As árvores foram seccionadas em toretes com 50 cm de comprimento obtidos na base da árvore e nas alturas correspondentes a 25, 50, 75 e 100% da altura comercial. Como altura comercial foi considerada a altura total da árvore até o diâmetro de 6 cm, sem casca. Os quinze toretes das três árvores foram transformados em cavacos, num picador laboratorial de disco, dotado de três facas e de duas peneiras classificadoras vibratórias, com aberturas de malhas de 40x40 cm e 5x5 cm. Foi, ainda, realizada uma classificação manual, para eliminação de pedaços de cascas, de nós e de cavacos com defeitos de corte. Para completa homogeneização dos cavacos, foi utilizado um misturador esférico mecânico com capacidade de 260 litros. Os cavacos, classificados e homogeneizados, foram secados ao ar para uniformização da umidade e para conservação contra eventual desenvolvimento de microorganismos e, posteriormente, foram armazenados em sacos de polietileno. Para obtenção das amostras utilizadas nas determinações de densidade básica, análises químicas, análises de fibras e para os cozimentos foi utilizada a técnica de quarteamento.

### **Análises químicas das madeiras**

Uma amostra dos cavacos de cada clone foi transformada em serragem, utilizando-se moinho Wiley, e a serragem foi classificada em peneiras de 40 e 60 mesh. As análises químicas das serragens foram realizadas após acondicionamento em sala climatizada a 25°C e 50% de umidade relativa. As metodologias utilizadas para determinação da densidade básica e para as análises químicas foram as estabelecidas nas normas ABTCP e Tappi ou conforme especificado a seguir: densidade básica, conforme norma ABTCP; solubilidade em álcool/tolueno: norma Tappi T264 om-82; solubilidade em diclorometano: norma Tappi T204 cm-97; lignina Klason insolúvel em ácido: conforme Gomide (1986); lignina Klason solúvel em ácido: conforme Goldschmid (1971); análise de carboidratos (açúcares): norma Tappi T249 cm-00, modificada; teor de grupos urônicos: segundo Englyst e Cummings (1984); teor de ácidos hexenurônicos: determinados de acordo com o método proposto por VUORINEN et al. (1996); análise de grupos siringil e guaiacil: conforme Lin (1992), por cromatografia líquida após oxidação com nitrobenzeno; análise de grupos acetil: conforme Solar et al. (1987), modificada.

### **Análises de fibras**

As análises das fibras foram realizadas na polpa celulósica, depois de coloração com azul de astra; posteriormente, foram feitas montagens em lâminas de vidro e medições de largura e espessura de parede, em microscópio ótico, com aumento de 40 vezes, e medições de comprimento, em lupa, com aumento de 10 vezes. As imagens microscópicas foram digitalizadas com câmera fotográfica e as dimensões foram mensuradas utilizando-se o programa Image-Pro Plus versão 3.2. Além da utilização de microscópio ótico foram, também, realizadas medições com equipamento automático Galai CIS-100, para determinação de “coarseness” e do número de fibras por grama.

### **Simulação de cozimento contínuo**

Para simulação de cozimento contínuo em laboratório foi utilizado o Sistema de Simulação de Digestor Contínuo (SSDC) do Laboratório de Celulose e Papel da Universidade Federal de Viçosa, apresentado na Figura 1. O sistema consiste de um digestor “batch” de seis litros de capacidade,

dotado de bomba de circulação, trocador de calor e controlador eletrônico de tempo e temperatura, sendo monitorado por computador. O digestor é acoplado a um conjunto de vasos acumuladores com aquecimento elétrico, permitindo a conexão de todos os vasos, individualmente, com o digestor. Aquecido e pressurizado, o sistema possibilita a utilização de diferentes licores de cozimento nos vasos acumuladores e o deslocamento do licor no digestor pelos licores dos acumuladores, simulando as diferentes zonas de cozimento de um digestor contínuo. Para simulação de um digestor contínuo, foi selecionado um processo de cozimento com vaso de impregnação, baixa temperatura de cozimento e injeções parceladas da carga de álcali. As condições adotadas para simulação de cozimento contínuo foram as seguintes: cavacos = 800 gramas a.s.; sulfidez = 25%; carga de álcali efetivo = estabelecida experimentalmente para número kappa  $18 \pm 0,5$ ; Zona de Vaporização = 20 minutos com vapor de 1,5 atm.; Zona de Impregnação = 60% do AE, com L/M de 5/1, por 60 minutos, a 135°C; Zona de Cozimento: 40% do AE, L/M de 4/1, por 150 minutos, a 155°C; Zona de Lavagem = 30 minutos com decréscimo da temperatura de 155° para 95°C.

Completado o cozimento, os cavacos foram removidos do digestor, por sucção a vácuo, e foram desfibrados em "hidrapulper" laboratorial com 20 litros de capacidade, em consistência de 0,6%. Além da determinação do rendimento depurado, do número kappa, da viscosidade e do álcali residual, foi ainda determinado o teor de ácidos hexenurônicos.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### **Características silviculturais dos clones de *Eucalyptus***

O Brasil apresentou, nas últimas décadas, uma invejável evolução no aspecto de produtividade das florestas de *Eucalyptus*, alcançando os mais elevados níveis mundiais de incremento médio anual (IMA). Os clones de *Eucalyptus* analisados neste estudo demonstram a elevada produtividade dos clones das principais empresas nacionais, tendo dois clones atingindo IMA igual ou superior a 50m<sup>3</sup>/ha/ano e 80% dos clones apresentaram incrementos acima de 40m<sup>3</sup>/ha/ano (Quadro 1). Apenas um clone, o clone E, apresentou incremento inferior a 35 m<sup>3</sup>/ha/ano.

#### **Dimensões das fibras**

Os clones analisados apresentaram comprimento médio de fibras de 0,99mm, com pequena variabilidade, de apenas 0,95 a 1,07mm, com coeficientes de variação mínimo e máximo de 12,7% e 18,1%, conforme mostrado no Quadro 2. Esta pequena variabilidade é comumente observada entre clones de eucalipto e, também, pode ser atribuída às pequenas variações inerentes à técnica de medição utilizada que consistiu no uso de microscópio ótico-digital computadorizado e na medição de apenas fibras inteiras, desconsiderando-se pedaços de fibras. As fibras apresentaram, também, pequena variabilidade na largura, com valor médio de 18,2µm, para todos os clones, com coeficiente de variação mínimo e máximo de 13,3% e 18,5%, respectivamente. Do mesmo modo que para comprimento e largura, as fibras apresentaram dimensões de diâmetro de lumen e espessura de parede típicos de valores observados no Brasil para madeiras de *Eucalyptus*, apenas com coeficientes de variação mais altos, atribuídos possivelmente às maiores variações de diâmetro de lumen.

O conhecimento das características anatômicas dos elementos fibrosos das polpas permite que sejam previstas indicações das propriedades de seus papéis. A qualidade do papel é influenciada

pelas características morfológicas das fibras e pela quantidade de fibras por unidade de massa. Uma característica importante das fibras para papéis de impressão “high bulk” e “tissue” é a espessura de parede celular que, também, pode ser correlacionada ao “coarseness” da polpa. Em geral, polpas produzidas com uma mesma espécie florestal que apresentam fibras com maiores espessuras de paredes tendem a produzir polpas com maiores coarseness e papéis com volumes específicos aparentes mais elevados. Estas características podem contribuir favoravelmente para a maciez dos papéis “tissues” e para opacidade dos papéis de imprimir. A opacidade pode ser melhorada com a utilização de polpa com maior número de fibras por grama, em razão do maior número de superfícies ópticas para a dispersão de luz na estrutura do papel. As fibras mais curtas contribuem para uma boa formação da folha, enquanto as fibras mais longas favorecem a resistência ao rasgo. A variabilidade encontrada entre os clones indica que possivelmente os clones deverão apresentar polpas com comportamentos diferenciados, tanto no processo de formação das folhas quanto nas propriedades do papel.

### **Densidade básica dos clones de *Eucalyptus***

No Quadro 3 são apresentadas as densidades básicas das madeiras dos clones de *Eucalyptus*.

Estudos realizados com madeiras de clones de *Eucalyptus* (Lanna et al., 2001) têm demonstrado vantagens na utilização de madeiras com densidades básicas mais baixas. Estas vantagens corresponderiam à necessidade de utilização de menores cargas alcalinas, com reflexos favoráveis no rendimento e na viscosidade da polpa celulósica e, também, na carga mais baixa de sólidos para o setor de recuperação. Considerando que na produção industrial procura-se manter os parâmetros de tempo e temperatura com pequena variabilidade, o uso de densidades mais altas requer cargas de álcali mais elevadas para possibilitar maior eficiência de difusão dos íons e obtenção do kappa objetivo. A utilização de madeiras de baixa densidade, entretanto, irá resultar em consumo específico de madeira mais elevado, o que constitui significativa desvantagem, principalmente quando a empresa possui alguma limitação no fornecimento de matéria prima. Por outro lado, estudos realizados com diferentes espécies de *Eucalyptus* não encontraram correlações bem definidas entre a densidade básica da madeira e a demanda de carga de álcali ou o rendimento do processo (Mokfienski et al., 2003). A densidade da madeira representa o somatório de diversas características da madeira e nem sempre é possível estabelecer correlações perfeitas entre os resultados da produção de celulose e esta característica da madeira. Modernamente, os novos projetos de ampliação de capacidade de produção das fábricas e de implantação de novas fábricas têm priorizado a utilização de madeira com densidade próximo a 500 kg/m<sup>3</sup>.

Neste estudo, apenas 40% das madeiras apresentaram densidade básica acima de 500 kg/m<sup>3</sup> e as densidades dos demais clones variaram de 465 a 490 kg/m<sup>3</sup>. Estes resultados indicam que as empresas nacionais de celulose têm priorizado, na seleção de clones, densidades básicas próximas a 500 kg/m<sup>3</sup>, com tendência para densidades ligeiramente inferiores.

### **Teores de extrativos e de lignina das madeiras dos clones de *Eucalyptus***

As madeiras analisadas neste estudo apresentaram considerável variabilidade nos teores de extrativos e de lignina, conforme demonstrado no Quadro 3. Os extrativos solúveis em álcool/tolueno variaram desde 1,76 até 4,13%. Os clones com maiores teores de extrativos deverão apresentar menor rendimento da polpação, com perdas de até 4% no rendimento, devido exclusivamente à

remoção dos extrativos. Os extrativos hidrofóbicos, solúveis em DCM e fonte potencial de formação de “pitch”, também apresentaram considerável variação, desde 0,06 até 0,50%. Apesar de as empresas nacionais estarem investindo fortemente em estudos de caracterização destes extrativos hidrofóbicos, as medidas práticas para minimizar a ação dos depósitos de “pitch” têm sido a adoção de medidas paliativas que consistem na utilização de aditivos, como talco, para combater seus efeitos maléficos. Seleção de clones com baixos teores de extrativos potencialmente formadores de “pitch” deverá ser priorizada pelas empresas brasileiras de celulose branqueada de eucalipto.

Os clones de *Eucalyptus* utilizados para este estudo apresentaram teores de lignina que variaram de 27,5 até 31,7%. Estes valores demonstram que, mesmo sendo madeira de folhosa, alguns clones de eucalipto plantados no Brasil atingem teores de lignina acima de 30%, teores mais característicos de madeiras de coníferas. O teor de lignina com estruturas químicas menos resistentes à degradação e solubilização, determinadas como lignina Klason solúvel, como é característico das madeiras de folhosas, variou de 3,1 a 5,1%. Apesar de ser uma generalização não confirmada, este tipo de lignina talvez seja, também, mais facilmente removido durante o cozimento alcalino kraft. A lignina das madeiras de eucalipto apresentaram, caracteristicamente, maiores teores de estruturas tipo siringil que as do tipo guaiacil, como mostrado no Quadro 4.

As estruturas de lignina siringil, por não possuírem o carbono reativo C5 disponível para reação na etapa de polimerização da biosíntese da lignina, apresentam estrutura química menos condensada e, conseqüentemente, são mais favoráveis à deslignificação pelo licor de cozimento kraft. A relação entre as estruturas siringil e guaiacil (S/G) demonstrou que nas madeiras de eucalipto analisadas a freqüência das estruturas siringil é de duas a três vezes maior que a das estruturas guaiacil. Outras espécies de *Eucalyptus*, como o *E. globulus*, apresentam teores mais elevados de grupos siringil, com relação S/G de 4,7 (Mokfienski et al., 2003), o que seria uma característica desejável para os clones de eucaliptos nacionais.

#### **Constituição de carboidratos dos clones de *Eucalyptus***

A constituição da fração de carboidratos das madeiras dos clones de *Eucalyptus* está apresentada no Quadro 5.

As glucanas representaram pouco menos da metade da constituição química da madeira, em média 46,6% do peso das madeiras, enquanto as xilanas foram a fração dominante das hemiceluloses, representando de 10,8 a 13,2%. Os outros carboidratos, incluindo as galactanas, as mananas e as arabinanas constituíram, cada uma delas, menos de 1% do peso da madeira. As arabinanas foram a menor fração de carboidratos da madeira, constituindo, em média, apenas 0,2% da madeira. Na constituição química das xilanas foram determinados, além da unidade monomérica básica de xilose, também os teores dos grupos laterais conectados à cadeia básica, abrangendo os ácidos urônicos e os grupos acetila. Os ácidos urônicos, incluindo os glucurônicos e os galacturônicos, representaram uma fração significativa da madeira, em média, cerca de 4% do peso da madeira. A importância destes grupos das xilanas está relacionada com o consumo de álcali durante a polpação, com conseqüente hidrólise e dissolução, e com a transformação em ácidos hexenurônicos, indesejáveis nas operações de branqueamento. O teor dos grupos laterais de acetila das cadeias de xilanas foi bastante constante, tendo variado apenas de 2,6 a 3,1%. A presença de grupos acetila nas xilanas constitui uma desvantagem tecnológica pois, além de consumirem álcali durante o cozimento kraft, representam perda de rendimento, uma vez que são totalmente

hidrolisados e solubilizados durante o cozimento (Gomide, 2000). Os clones de *Eucalyptus* analisados apresentaram alta frequência de grupos laterais de acetila nas cadeias de xilanas, em média mais de seis grupos acetila para dez unidades de xilose. Uma análise mais global das madeiras de *Eucalyptus* demonstrou (Quadro 6) que o teor de hemiceluloses, incluindo seus grupos laterais, constituiu, em média, mais de 21% do peso da madeira, tendo apresentado bastante variabilidade, desde 18,6 até 23,2%. Do mesmo modo, o teor de celulose nas madeiras apresentou significativa variação, desde 43,9 até 49,7%.

### **Características de polpação dos clones de *Eucalyptus***

As características tecnológicas dos clones de *Eucalyptus* foram determinadas simulando-se em laboratório uma das modernas tecnologias para produção de celulose kraft. A tecnologia selecionada consistiu na utilização de vaso de impregnação, de temperatura máxima de cozimento significativamente inferior às técnicas convencionais e de injeções parceladas da carga de álcali. Estas condições proporcionaram uma deslignificação mais seletiva, possibilitando maximização de qualidade da polpa celulósica. Os resultados da produção de polpa celulósica com as madeiras dos dez clones utilizados estão apresentados no Quadro 7.

Considerando que os clones analisados constituem uma amostragem representativa dos melhores clones de *Eucalyptus* atualmente utilizados no Brasil para produção de celulose, os resultados obtidos demonstram que existe uma variação significativa de qualidade da madeira utilizada no País para a produção de celulose. As polpas de todos os clones apresentaram similaridade de número kappa, dentro dos limites pré-estabelecidos de  $18 \pm 0,5$ , o que possibilita análises comparativas das suas características de polpação.

A demanda de carga de álcali para produção de celulose com kappa 18 apresentou extensa variação, desde 13,7 até 19,0%. Demanda de altas cargas de álcali constitui-se uma característica altamente desfavorável, uma vez que provoca perda de rendimento, degradação mais intensa das cadeias dos carboidratos, sobrecarga da caldeira de recuperação e aumento do custo de produção.

A utilização de diferentes cargas de álcali resultou em polpas com propriedades e características significativamente distintas. Um dos clones (clone B) apresentou rendimento depurado excepcionalmente alto para espécies de *Eucalyptus* industrialmente utilizadas no Brasil, atingindo 57,6%. Este elevado rendimento poderia ser explicado pelas características favoráveis da madeira, que apresentava baixos valores de densidade básica, de extrativos, de lignina, de ácidos urônicos, de grupos acetila e altos teores de celulose e de relação siringil/guaiacil. Deve ser considerado que a densidade básica do clone B foi relativamente baixa, de  $465 \text{ kg/m}^3$ , o que irá resultar em consumo específico de madeira mais elevado, mesmo com o elevado rendimento da polpação. Por outro lado, um dos clones, o clone H, apresentou rendimento de 49,3%, o que pode ser considerado baixo para programas de melhoramento florestal no Brasil. Do mesmo modo, o rendimento inferior do clone H pode ser explicado pelas características desfavoráveis da madeira, a exceção da densidade básica que foi de  $482 \text{ kg/m}^3$ . De modo geral, no Brasil, estabelece-se um rendimento de 50% como limite inferior para seleção de clones e, dos dez clones analisados, apenas um proporcionou rendimento inferior a este limite. Numa análise global, a média dos rendimentos foi próximo a 53% e cerca de sessenta por cento dos clones apresentaram rendimentos superiores a 52%, demonstrando a alta qualidade dos clones de *Eucalyptus* no Brasil.

Além do rendimento, as polpas celulósicas apresentaram ampla variação da viscosidade, atingindo quase 220%; novamente, o clone B se destacou com viscosidade excepcionalmente alta de 129,6 cP. Elevadas viscosidades podem ser indicadoras de boa qualidade da polpa, mas não necessariamente determinam alta resistência mecânica das fibras e, conseqüentemente, da polpa. O valor mais baixo de viscosidade, correspondente a 59,1 cP, foi ainda suficientemente alto como critério de qualidade da polpa não branqueada kraft de *Eucalyptus*. A elevada viscosidade média das polpas, 85,6 cP, demonstra a alta qualidade da madeira dos clones nacionais de *Eucalyptus* para produção de celulose.

A utilização de recentes técnicas de branqueamento sem o estágio inicial de cloração, os denominados branqueamentos ECF, tornou importante o teor de ácidos hexenurônicos na polpa kraft não branqueada de folhosas. A importância dos ácidos hexenurônicos é conseqüência do consumo de reagentes do branqueamento, o dióxido de cloro e o ozônio, causado por estas estruturas químicas na cadeia lateral das xilanas. Durante o cozimento kraft, parte dos ácidos urônicos é transformada em ácidos hexenurônicos. A formação dos ácidos hexenurônicos é influenciada pelas características de constituição química da madeira e, entre outros fatores, pela carga alcalina utilizada na polpação. Neste estudo, foram determinados os teores de ácidos hexenurônicos nas polpas celulósicas e os resultados estão apresentados no Quadro 7. As diferentes cargas de álcali utilizadas, associadas aos diferentes teores de ácidos urônicos originalmente presentes nas madeiras, resultaram em teores de ácidos hexenurônicos significativamente diferentes. O teor de ácidos hexenurônicos nas polpas apresentou variação de mais de 65%, com valores variando desde 34,7 até 57,9 mmol/kg. Para verificar o efeito da carga alcalina e do teor de grupos urônicos originalmente presente na madeira na formação de ácidos hexenurônicos, foram realizadas análises estatísticas de correlação, estando os resultados apresentados nas Figuras 2 e 3. Como demonstrado na Figura 2, a carga alcalina utilizada na polpação apresentou um efeito significativo na formação dos ácidos hexenurônicos, com coeficiente de correlação de quase 77%. Apesar de não ser uma correlação muito elevada, observou-se claramente que o aumento da carga de álcali proporcionou, como tendência geral, maior formação de ácidos hexenurônicos na polpa celulósica. Por outro lado, o teor de grupos urônicos na madeira não apresentou correlação com a formação de estruturas de ácidos hexenurônicos. Como os ácidos hexenurônicos são formados a partir dos ácidos urônicos, poder-se-ia esperar alguma correlação entre eles, o que não ocorreu, talvez pela grande variabilidade da carga de álcali utilizada.

#### 4. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos neste estudo demonstram a alta qualidade tecnológica dos clones de *Eucalyptus* atualmente utilizados no Brasil pelas principais empresas produtoras de celulose kraft branqueada. Esta qualidade é comprovada pelo alto rendimento de polpação dos clones, que apresentaram um rendimento médio de 52,9%; um clone proporcionou rendimento inferior a 50% e um dos clones apresentou rendimento excepcionalmente elevado de 57,6%. Nas décadas de 1980 e 1990, nos programas nacionais de melhoramento genético objetivava-se, em geral, selecionar clones que proporcionassem rendimentos superiores a 50%, o que foi plenamente alcançado, conforme demonstra este estudo. A utilização do rendimento de polpação como parâmetro global de qualidade é perfeitamente válido, uma vez que esta característica tecnológica é conseqüência de vários fatores,

englobando as características anatômicas e químicas da madeira e a demanda de álcali para a produção de polpa celulósica.

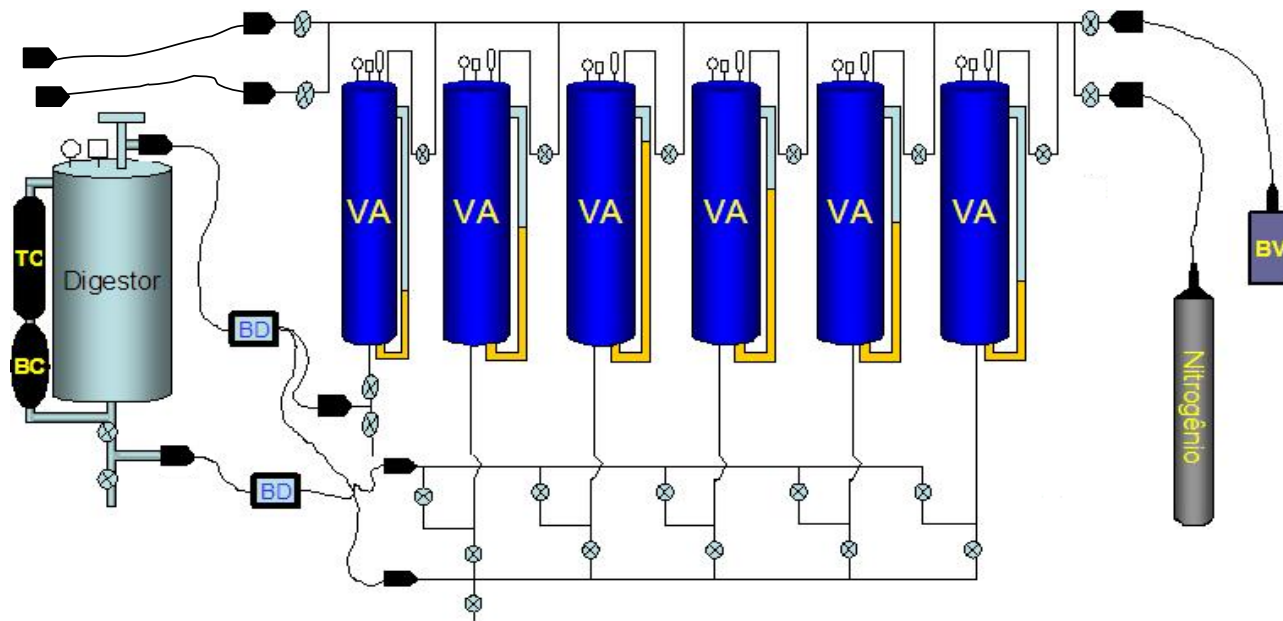
## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA TÉCNICA DE CELULOSE E PAPEL-ABTCP. *Normas*. São Paulo, ABTCP, s/d.
2. ENGLYST, H.N. e CUMMINGS, J.H. Simplified method for the measurement of total non-starch polysaccharide by gas-liquid chromatography of constituent sugars as alditol-acetates. *Analyst* 109 (7):937-942. 1984.
3. GOLDSCHMID, O. Ultraviolet spectra. In: Sarkanen, K.V. e Ludwig, C.H. Ed. *Lignins*. New York, Wiley-Interscience, 1971. p.241-266.
4. GOMIDE, J.L. & FANTUZZI NETO, H. Aspectos fundamentais da polpação kraft de madeira de *Eucalyptus*. *O Papel* 3 (61):62-68. 2000.
5. GOMIDE, J.L. e DEMUNER, B.J. Determinação do teor de lignina em material lenhoso: Método Klason modificado. *O Papel* 47(8):36-38, 1986.
6. GOMIDE, J.L., FANTUZZI NETO, H. & LEITE, H.G. Técnica para estabelecimento da qualidade tecnológica da madeira de eucalipto visando produção de celulose kraft. In: Colóquio Internacional Sobre Celulose Kraft de Eucalipto, Viçosa-MG, Brasil, 2003, p75-90.
7. GRACE *et alii*, Ed. Kraft liquors. In: *Pulp and paper manufacture - Volume 5: Alkaline pulping*. Atlanta, Tappi, 1989. p. 15-22.
8. LANNA, A.E., COSTA, M.M., FONSECA, M.J., FONSECA, S.M., MOUNTEER, A., COLODETTE, J.L. & GOMIDE, J.L. Maximizing pulp yield potential of Cenibra's wood supply. In: 7<sup>th</sup> Brazilian Symposium on the Chemistry of Lignins and Other Wood Components, Belo Horizonte-MG, Brasil, 2001, p159-167.
9. LIM, S.Y. & DENCE, C.W. *Methods in lignin chemistry*. Springer-Verlag. Berlin. 1992. 578p.
10. MOKFIENSKI, A., GOMIDE, J.L., COLODETTE, J.L. & OLIVEIRA, R.C. Importância da densidade e do teor de carboidratos totais da madeira de eucalipto no desempenho da linha de fibras. In: Colóquio Internacional Sobre Celulose Kraft de Eucalipto, Viçosa-MG, Brasil, 2003, p15-38.
11. SOLAR, R., KACIK, F. & MELCER, I. Simple semimicro method for the determination of o-acetyl group in wood and related materials. *Nordic Pulp & Paper Research Journal*. 4:139-141. 1987.
12. TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY-TAPPI. *Tappi test methods: 1992-1993*. Atlanta, 1992.
13. VOURINEN, T., TELEMAN, A., FAGERSTROM, P., BUCHER, J. & TENKANEN, M. Selective hydrolysis of hexenuronic acid and its application in ECF and TCF bleaching kraft pulps. In: International Pulp Bleaching Conference, Washington, USA, 1996, p43-51.



# SISTEMA DE SIMULAÇÃO DE DIGESTOR CONTÍNUO - SSDC

Laboratório de Celulose e Papel – Universidade Federal de Viçosa



BC – Bomba de Circulação  
BD – Bomba Dosadora  
TC – Trocador de Calor  
VA – Vaso Acumulador  
BV – Bomba de Vácuo

Válvula de Segurança  
Registro  
Manômetro  
Termômetro  
Engate Rápido

Figura 1 – Sistema de Simulação de Digestor Contínuo (SSDC).

Figure 1 – Simulation System for Continuous Digester (SSCD).

**Quadro 1** – Características silviculturais dos clones de *Eucalyptus sp*

**Table 1** – Silvicultural characteristics of *Eucalyptus* clones

Clones	Espécies	DAP, cm	Altura, m	IMA, m <sup>3</sup> /ha/ano
A	<i>E.grandis x urophylla</i>	17,7	26,9	52,9
B	<i>E. grandis</i> (híbrido)	17,7	19,6	46,0
C	<i>E.grandis x urophylla</i>	20,5	27,8	47,0
D	<i>E.grandis x urophylla</i>	20,8	31,2	45,4
E	<i>E.grandis</i>	21,4	21,2	33,9
F	<i>E.grandis x urophylla</i>	17,0	23,0	40,0
G	<i>E.grandis x urophylla</i>	17,3	24,8	43,9
H	<i>E.grandis</i>	15,6	21,3	39,5
I	<i>E.grandis x urophylla</i>	18,1	29,0	46,1
J	<i>E.grandis x urophylla</i>	22,3	28,5	50,0

**Quadro 2** – Características dimensionais das fibras dos clones dos *Eucalyptus sp*

**Table 2** – Dimensional characteristics of *Eucalyptus* clones fibers

Clones	Comprimento, mm		Largura, µm		Diâmetro lume, µm		Espessura parede, µm		Nº fibras/grama (milhões)	Coarsenss (mg/100m)
	Média	CV,%	Média	CV,%	Média	CV,%	Média	CV,%	Média	Média
A	0,98	12,7	17,9	17,2	8,1	31,2	4,9	17,1	19,8	6,9
B	1,00	14,1	18,0	16,8	8,5	29,9	4,7	22,6	19,6	6,6
C	1,05	16,7	17,6	13,3	8,4	29,2	4,6	26,6	20,5	6,3
D	1,07	14,3	18,6	16,8	9,0	29,8	4,8	19,6	20,3	6,3
E	0,96	15,6	18,8	16,2	8,8	34,3	5,0	19,3	20,7	6,6
F	1,02	17,9	17,3	15,1	7,5	31,4	4,9	21,3	21,3	6,0
G	0,98	18,1	18,2	17,2	8,4	34,0	4,9	18,9	25,3	5,8
H	0,95	13,6	17,7	17,4	8,0	33,9	4,8	17,9	27,7	5,1
I	0,96	13,8	19,2	18,5	8,9	42,5	5,2	20,5	16,3	8,3
J	0,97	12,8	18,3	17,6	8,4	31,5	5,0	21,5	19,7	7,0

**Quadro 3** – Densidade básica e constituição química dos clones de *Eucalyptus* sp**Table 3** – Basic density and chemical composition of *Eucalyptus* clones

Clone	Densidade	Solubilidade		Lignina Klason, %		
	Básica, Kg/m <sup>3</sup>	Álcool/Tolueno, %	Diclorometano, %	Insolúvel	Solúvel	Total
A	510	4,13	0,18	27,0	3,5	30,5
B	465	1,76	0,10	22,4	5,1	27,5
C	482	2,88	0,14	27,1	3,5	30,6
D	472	1,99	0,06	24,9	3,3	28,2
E	486	3,37	0,20	26,4	3,7	30,1
F	505	2,12	0,40	24,2	3,3	27,5
G	503	3,54	0,50	24,8	4,4	29,2
H	482	3,30	0,38	28,6	3,1	31,7
I	490	3,52	0,40	24,2	3,6	27,8
J	501	3,45	0,13	26,0	3,9	29,9

**Quadro 4** - Teores de siringil e guaiacil dos clones de *Eucalyptus* sp**Table 4** – Siringil and guaiacil content of *Eucalyptus* clones

Clones	Siringil (mmol)	Guaiacil (mmol)	Relação Siringil/Guaiacil
A	1,82	0,83	2,2
B	2,04	0,81	2,5
C	1,70	0,74	2,3
D	1,88	0,88	2,1
E	1,91	0,77	2,5
F	1,88	0,85	2,2
G	2,19	1,01	2,2
H	1,98	1,00	2,0
I	1,83	0,66	2,8
J	2,26	0,97	2,4

**Quadro 5** – Análise de carboidratos dos clones de *Eucalyptus sp*

**Table 5** – Carbohydrate analysis of *Eucalyptus* clones

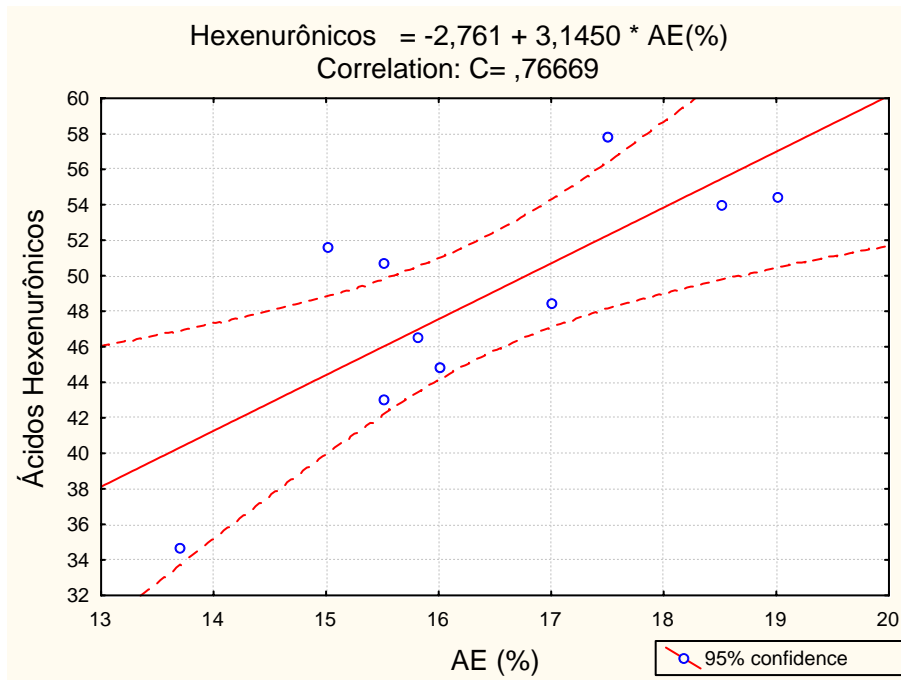
Clones	Glucanas, %	Xilanas, %	Galactanas, %	Mananas, %	Arabinanas, %	Ácidos Urônicos,%	Grupos Acetila, %	Acetila/ 10 xiloses
A	45,0	11,5	0,9	0,6	0,3	3,8	2,9	6,8
B	49,2	13,2	0,8	0,6	0,3	3,2	3,0	6,1
C	47,8	10,8	0,7	0,4	0,1	3,7	2,6	6,5
D	50,0	11,1	0,8	0,3	0,2	4,3	2,6	6,3
E	44,6	12,8	0,5	0,5	0,3	4,4	2,9	6,1
F	47,6	13,1	0,6	0,9	0,2	4,6	3,0	6,2
G	45,7	11,6	0,8	0,6	0,3	4,7	3,1	7,2
H	44,5	11,8	0,7	0,6	0,1	3,9	2,8	6,4
I	46,5	13,2	0,6	0,7	0,3	3,9	2,9	5,9
J	44,8	12,7	0,6	0,7	0,3	4,3	2,7	5,7

**Quadro 6** – Teores de celulose e hemiceluloses dos clones de *Eucalyptus sp***Table 6** – Cellulose and hemicelluloses content of *Eucalyptus* clones

Clones	Celulose, %	Hemiceluloses, %	Holocelulose, %
A	44,4	20,5	64,9
B	48,6	21,6	70,2
C	47,4	18,6	66,0
D	49,7	19,6	69,3
E	44,1	21,9	66,0
F	46,7	23,2	69,9
G	45,0	21,8	66,8
H	43,9	20,6	64,5
I	45,8	22,4	68,2
J	44,1	22,0	66,1

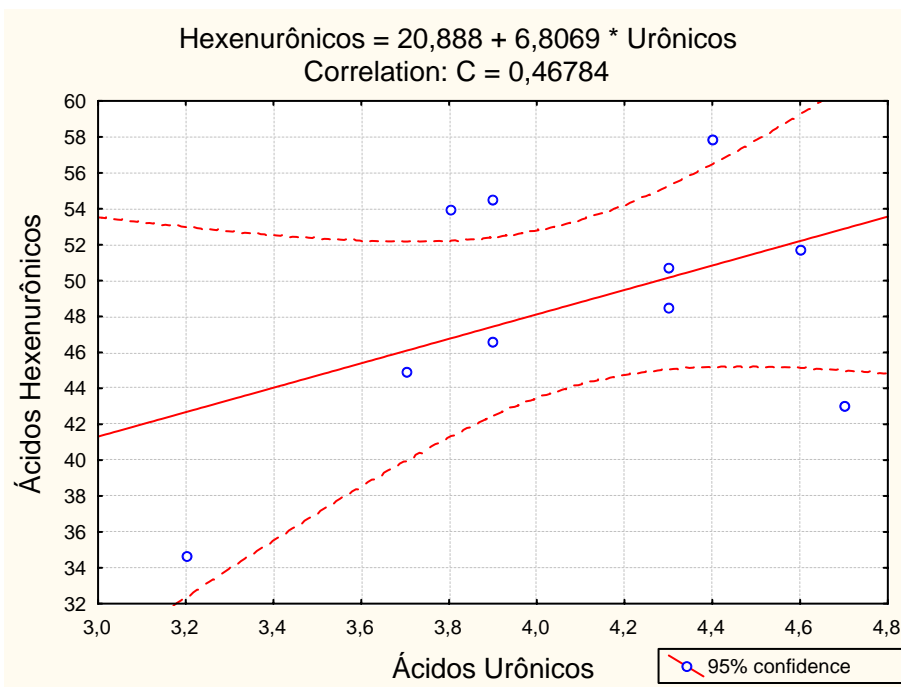
**Quadro 7** – Polpação kraft dos clones de *Eucalyptus sp***Table 7** – Kraft pulping of *Eucalyptus* clones

Clone	AE %	Número Kappa	Rendimentos, %			Viscosidade, cP	Ac. Hex. mmol/Kg
			Depurado	Rejeitos	Total		
A	18,5	17,8	50,2	0,0	50,2	59,1	54,0
B	13,7	17,7	57,6	0,0	57,6	129,6	34,7
C	16,0	18,0	53,4	0,0	53,4	76,1	44,9
D	15,5	18,0	55,4	0,0	55,4	80,8	50,7
E	17,5	18,5	50,8	0,0	50,8	71,7	57,9
F	15,0	17,8	54,5	0,0	54,5	99,9	51,7
G	15,5	18,3	52,3	0,0	52,3	108,0	43,1
H	19,0	18,0	49,3	0,0	49,3	60,4	54,5
I	15,8	17,8	54,3	0,0	54,3	98,7	46,6
J	17,0	18,2	51,1	0,0	51,1	71,8	48,5



**Figura 2** – Correlação de ácidos hexenurônicos e álcali efetivo do cozimento.

**Figure 2-** Correlation of hexenuronic acids and effective alkali.



**Figura 3** – Correlação dos ácidos hexenurônicos e urônicos na madeira

**Figure 3** – Correlation of hexenuronic and uronic acids.