

PROGRAMA DE CONTROLE DA QUALIDADE DA MADEIRA NA ELDORADO BRASIL CELULOSE

Autores: Tiago E. S. Segura¹, Leonardo R. Pimenta¹, Francisco B. Mattiazzo¹, Fábio M. da Silva¹, Janaina A. da Cruz¹, Luzilene de O. Souza¹

¹ Eldorado Brasil Celulose S.A. – Brasil

RESUMO

Com o objetivo de caracterizar a madeira que alimentaria a unidade industrial em 2015, identificando possíveis gargalos de produção e prevendo alguns parâmetros de processo, a Eldorado realizou em 2014 um trabalho de amostragem das madeiras que seriam utilizadas em sua fábrica no ano seguinte. Essas amostras foram enviadas ao laboratório da empresa em Três Lagoas (MS) para caracterização tecnológica e simulação da etapa de cozimento. Foram analisadas 129 amostras de cavacos de 45 materiais genéticos. Após análises de densidade básica e composição química, as amostras foram submetidas a cozimentos laboratoriais, simulando as condições de tempo de retenção e temperatura do digestor da unidade industrial. Para cada amostra foram realizados três cozimentos, com diferentes cargas de álcali efetivo. Uma análise de regressão foi realizada nos resultados dos cozimentos, sendo os parâmetros estimados para um número kappa de 18 em todos os materiais. Com os resultados laboratoriais e o planejamento mensal de distribuição de consumo dos materiais genéticos, foi possível caracterizar a madeira que alimentaria a fábrica da Eldorado e identificar possíveis gargalos, bem como estimar diversos parâmetros de processo, como consumo específico de madeira, aplicação de álcali efetivo, geração de sólidos para queima na caldeira de recuperação e produção de celulose. Ao final do ano de 2015, os resultados previstos foram confrontados com os reais obtidos. Observou-se que a caracterização dos materiais e as simulações de cozimento foram bastante eficientes na previsão de gargalos e dos resultados industriais, demonstrando que os métodos utilizados de amostragem e caracterização podem ser ferramentas extremamente úteis no planejamento industrial de uma fábrica de celulose.

Palavras-chave: Cozimento laboratorial. Densidade básica. Consumo específico de madeira. Resultados industriais.

INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, as novas fábricas de celulose vêm sendo projetadas para capacidades de produção cada vez maiores, aumentando significativamente o volume de madeira utilizado no pro-

cesso produtivo. Nesse sentido, o controle sobre a qualidade da madeira que abastece uma fábrica XL torna-se um desafio, uma vez que muitas vezes diferentes materiais genéticos e espécies de madeira são utilizados.

Apesar dos grandes volumes envolvidos e da maior dificuldade em se controlar a matéria-prima que abastece uma fábrica, as informações sobre a madeira são fundamentais, podendo causar impacto direto na produtividade de uma planta, redução de custos de produção e, em alguns casos, melhoria da qualidade do produto final. Além disso, o conhecimento prévio da madeira permite a realização de estudos que visem identificar potenciais gargalos de produção que, uma vez conhecidos, podem embasar a elaboração do orçamento anual da empresa, definindo os investimentos prioritários com o objetivo de garantir melhores resultados operacionais.

A fábrica da Eldorado Brasil Celulose, localizada no município de Três Lagoas (MS), apresenta capacidade nominal para produção anual de 1,5 milhão de toneladas de celulose. Nos anos de 2014 e 2015, porém, as produções superaram a capacidade de projeto, sendo atingidas as marcas de 1,576 milhão e 1,597 milhão de toneladas, respectivamente. Nesses anos, os volumes de madeira consumidos foram de 5.309.051 m³ e 5.405.291 m³, respectivamente, dificultando o controle da qualidade da madeira pelos altos volumes consumidos.

O termo “qualidade da madeira” se refere, no caso da produção de celulose, principalmente às características físicas, químicas e anatômicas da madeira. Tais características por influenciarem no processo de polpação, devem ser consideradas na análise da madeira para a produção de polpa celulósica.

Entre esses parâmetros, a densidade básica é aceita como um dos principais para avaliação da qualidade da madeira. Apesar de tratar-se de uma propriedade complexa, a densidade básica da madeira é de simples determinação (FOELKEL; MORA; MENOCHELLI, 1992), sendo definida como a relação entre a massa absolutamente seca de madeira e seu volume saturado (SILVA JÚNIOR, 2005).

De acordo com Santos (2005), a densidade básica apresenta correlação com as propriedades físicas, químicas e anatômicas

da madeira, sendo sua variação associada ao teor de holocelulose, lignina e extrativos, com a frequência de vasos e parênquima, a espessura da parede celular e a proporção de lenho tardio. De acordo com Ruy (1998), a densidade básica é influenciada pela base genética, pelo ambiente e pela interação entre esses fatores. Alzate (2004) cita diversos fatores que influenciam a densidade básica da madeira, como idade, taxa de crescimento das árvores, clima, tratamentos silviculturais e sítio.

Foelkel, Brasil e Barrichelo (1971) relacionaram a importância da densidade básica para a indústria de celulose e papel com os seguintes aspectos: rendimento bruto de celulose, velocidade de impregnação da madeira pelo licor de cozimento no processo de deslignificação, refino da celulose e propriedades físico-mecânicas da polpa em relação à resistência tanto ao rasgo quanto à ruptura, arrebentamento e peso específico aparente.

Outro importante parâmetro na determinação da qualidade da madeira para a produção de celulose é a sua composição química. Essa característica, bastante complexa, varia entre espécies, árvores da mesma espécie e ainda entre diferentes posições de uma mesma árvore (Silva, 2011).

Segundo Gomide e Colodette (2007), os vários componentes químicos da madeira podem ser agrupados em: carboidratos, substâncias fenólicas, terpenos, ácidos alifáticos, álcoois, proteínas e aldeídos, entre outros. A fração mais significativa da massa da madeira, entretanto, é representada pelos carboidratos, principalmente celulose e hemiceluloses, e pelas substâncias fenólicas, em especial lignina. Estes estão relacionados com os aspectos quantitativos de rendimento, demanda da carga de álcali no cozimento da madeira e consumo de químicos no branqueamento.

De acordo com Silva (2011), a lignina é um polímero de natureza aromática e tridimensional com alto peso molecular localizado principalmente na lamela média e na parede secundária. Tem função cimentante, promovendo a ligação das fibras por meio da lamela média, proporcionando também resistência a ataques de natureza biológica às plantas.

De acordo com Segura (2015), como a remoção de lignina é um dos principais objetivos dos processos de polpação, baixos teores desse componente na madeira favorecem a deslignificação, permitindo que as condições de cozimento sejam mais brandas e, conseqüentemente, a qualidade da polpa produzida seja superior à de polpas produzidas a partir de madeiras com alta proporção de lignina. Esse fato se relaciona diretamente à maior degradação de carboidratos e conseqüente menor rendimento do processo de polpação e pior qualidade da celulose produzida.

Assim como a lignina, os extrativos são componentes indesejáveis para obtenção de polpa celulósica; estes causam efeito direto no consumo de álcali, no rendimento e na taxa de deslignificação. De acordo com Olivetti Neto (2002), os extrativos contribuem para o consumo de reagentes na polpação e para a redução do rendimento em celulose. Assumpção *et al.* (1988)

ressaltam a importância dos extrativos na polpação. Os autores citam que a presença desses compostos dificulta a impregnação da madeira e favorece a condensação da lignina, reduzindo sua solubilidade. Além disso, na fabricação de celulose os extrativos são os principais responsáveis pela formação de depósitos conhecidos por *pitch* (Olivetti Neto, 2002).

Nesse contexto, este trabalho tem por objetivo caracterizar a madeira que alimentaria a fábrica da Eldorado Brasil Celulose em 2015, identificando possíveis gargalos de produção e prevenindo alguns parâmetros de processo industrial.

MÉTODOS

Amostragem

Com base no plano de abastecimento da fábrica para o ano de 2015, selecionaram-se as áreas e os materiais genéticos a serem amostrados. Ao todo, foram amostradas 129 amostras de 45 diferentes materiais genéticos nas fazendas da Eldorado e em outras que teriam madeira comprada para abastecer a fábrica. A definição do plano de amostragem levou em consideração os volumes utilizados de cada material genético pela fábrica, sendo o número de amostras coletadas de cada material proporcional a tais volumes.

É importante ressaltar que o plano tático de suprimento de madeira para o ano de 2015 não sofreu alterações ao longo do ano por solicitação da área industrial, uma vez que o fornecimento de madeira é planejado de modo que o custo de transporte e o controle de estoque de madeira no campo sejam otimizados. O transporte apresenta grande peso no custo da madeira, representando o maior na cadeia produtiva de celulose da Eldorado. O controle do estoque de madeira, por sua vez, tem influência direta no custo de capital (capital de giro) e grande impacto no resultado da empresa.

Cada amostra foi composta por três árvores, que foram picadas conjuntamente em picador laboratorial.

Caracterização da madeira

As 129 amostras compostas foram caracterizadas com relação à composição química e densidade básica, de acordo com os métodos abaixo:

- teor de lignina: TAPPI T 222 om-02;
- teor de extrativos: TAPPI T 204 cm-07;
- teor de holocelulose: 100 – Teor de lignina – Teor de extrativos;
- densidade básica: ABNT NBR 11941:2003.

As amostras foram agrupadas nos 45 materiais genéticos, sendo que os resultados de caracterização da madeira para cada material são as médias aritméticas dos resultados de suas respectivas amostras.

Cozimentos laboratoriais

Os cozimentos foram realizados individualmente para cada uma das 129 amostras em digestor de circulação forçada, com dois vasos

Tabela 1. Tempos e temperaturas dos cozimentos

Fase do cozimento	Tempo (min)	Temperatura (°C)
Impregnação	40+45	135
Cozimento	20+160	147

de aço inoxidável de capacidade de 10 litros cada um. Em cada cozimento foi utilizada massa equivalente a 1.000 g de cavacos (massa seca), sendo que foram aplicados três níveis de álcali efetivo: 16%, 19% e 22% (base NaOH). A sulfidez foi de 32% em todos os cozimentos, enquanto a relação licor:madeira foi de 3,8 L/kg. Os tempos de retenção e temperaturas utilizados buscaram simular as condições do digestor industrial da Eldorado, sendo apresentados na Tabela 1.

Após os cozimentos, os parâmetros listados a seguir foram determinados nas polpas e nos licores. Os respectivos métodos utilizados, procedimentos adotados e cálculos também são citados:

- *rendimento depurado*: relação entre a massa seca de polpa celulósica depurada e a massa seca de madeira;
- *teor de rejeitos*: relação entre a massa seca de rejeitos (material retido em peneira com fenda de 0,15 mm de depurador laboratorial) e a massa seca de madeira;
- *rendimento bruto*: rendimento depurado + teor de rejeitos;
- *número kappa*: ISO 302:2015;
- *sólidos gerados*: calculados por balanço de massa.

Análise dos resultados

A análise dos dados considerou a variação dos resultados de rendimento depurado e sólidos gerados com a variação do número kappa. Assim, foi realizada uma análise de regressão, buscando estimar os valores desses parâmetros e do álcali efetivo aplicado para um número kappa fixo de 18 da polpa marrom a partir das equações estabelecidas, conforme é exemplificado na Figura 1. O método empregado baseia-se no trabalho de Gomide, Fantuzzi Neto e Leite (2004), que comprova que a avaliação tecnológica da qualidade de madeira de clones de *Eucalyptus* à frente do processo de polpação pode ser feita com apenas uma batelada de cozimentos com diferentes cargas de álcali.

Após as amostras terem seus resultados estimados para um mesmo número kappa (18), foi calculado o consumo específico de madeira. Tal cálculo considerou um rendimento de 93,85% nas etapas de deslignificação com oxigênio, branqueamento, lavagem e secagem, ou seja, determinou o volume necessário de cada amostra para a produção de uma tonelada de polpa celulósica branqueada (Equação 1).

$$CEm. = \frac{1}{Db \cdot RD \cdot 0,9385} \cdot 0,9 \quad (1)$$

Em que:

CEm: consumo específico de madeira médio no mês, em m³/tsa.

Db: densidade básica da madeira, em g/cm³;

RD: rendimento depurado, em %;

0,9385: rendimento de 93,85% considerado nas etapas de deslignificação com oxigênio, branqueamento, lavagem e secagem.

Para os materiais genéticos com mais de uma amostra, considerou-se como resultado a média aritmética dos resultados das diferentes amostras. Dessa forma, cada material genético passou a ter um único resultado de rendimento depurado, álcali aplicado e consumo específico de madeira.

Cálculo da produção mensal de celulose

A análise do impacto dos diferentes materiais genéticos na produção da Eldorado foi realizada considerando os volumes utilizados de cada madeira em cada mês do ano. Assim, utilizando os dados de densidade básica, os resultados das análises dos cozimentos e os volumes mensais dos materiais genéticos utilizados pela fábrica, foi possível calcular a produção máxima mensal de celulose, conforme a Equação 2.

$$P. M. = \frac{V. T.}{CEm} \quad (2)$$

Em que:

P.M.: produção mensal máxima da fábrica, em tsa/mês;

V.T.: volume total de madeira entregue no mês, em m³/mês;

CEm: consumo específico de madeira médio no mês, em m³/tsa.

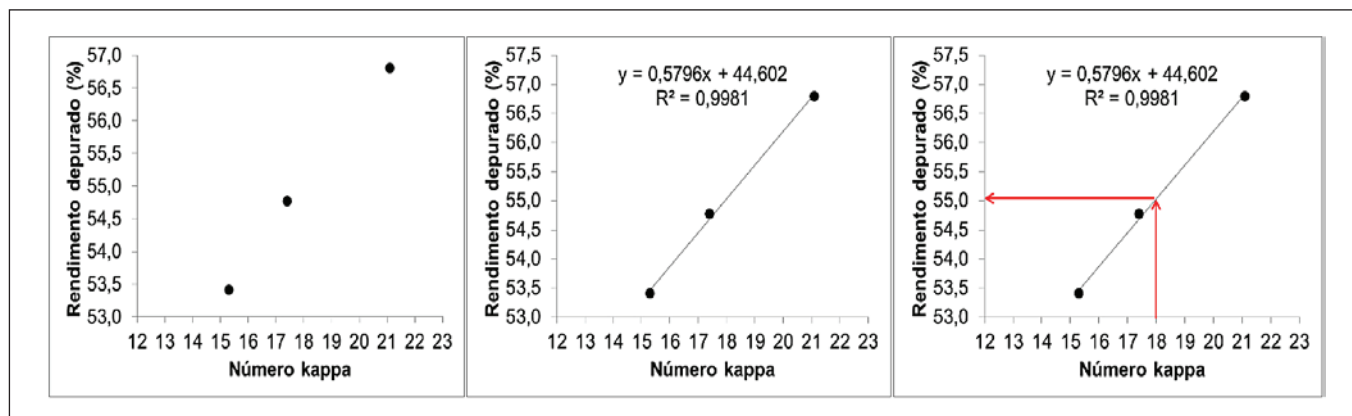


Figura 1: Exemplo de análise para a variação do rendimento com a variação do número kappa

A produção teórica mensal de celulose foi calculada individualmente para as áreas de Preparo de Cavacos + Sistema de Extração (capacidade de extração de cavacos da pilha de cavacos) e Recuperação Química (Caldeira de Recuperação e Caustificação), consideradas as mais impactadas pela variação da qualidade da madeira. O objetivo dessa etapa foi estimar a produção máxima de celulose em cada mês, bem como indicar qual área poderia ser um gargalo para a produção.

A produção mensal máxima de celulose para cada uma dessas áreas foi calculada de acordo com as Equações 3, 4 e 5.

Preparo de Cavacos + Sistema de Extração

$$P.M. = \frac{C.D. \cdot n^{\circ} \text{ dias}}{CEm} \quad (3)$$

Em que:

P.M.: produção mensal máxima pela área de Preparo de Cavacos + Sistema de Extração, já considerando sua disponibilidade operacional, em tsa/mês;

C.D.: capacidade média diária de extração de cavacos, em m³/dia;

n^odias: número de dias operacionais no mês, descontando dias de paradas programadas;

CEm: consumo específico de madeira, em m³/tsa.

Recuperação Química

$$P.M. = \frac{C.D. \cdot n^{\circ} \text{ dias}}{tss / ADtB} \quad (4)$$

Em que:

P.M.: produção mensal máxima pela caldeira de recuperação, já considerando sua disponibilidade operacional, em tsa/mês;

C.D.: capacidade média diária de queima de sólidos, em tss/dia;

n^odias: número de dias operacionais no mês, descontando dias de paradas programadas;

tss/tsa: sólidos gerados por tonelada de celulose branqueada produzida.

$$P.M. = \frac{C.D. \cdot n^{\circ} \text{ dias}}{CEm \cdot Db \cdot AA} \quad (5)$$

Em que:

P.M.: produção mensal máxima pela caustificação, já considerando sua disponibilidade operacional, em tsa/mês;

C.D.: capacidade média diária de produção de licor branco, em t AA/dia;

n^odias: número de dias operacionais no mês, descontando dias de paradas programadas;

CEm: consumo específico de madeira, em m³/tsa;

Db: densidade básica da madeira, em g/cm³;

AA: álcali ativo necessário para atingir número kappa 18 após o cozimento.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Caracterização da madeira

A variação da densidade básica dos 45 materiais genéticos analisados neste trabalho é apresentada na Figura 2. Os desvios padrão dos materiais genéticos amostrados mais de uma vez foram incluídos nas barras de erros.

Conforme pode ser observado na Figura 2 e na Tabela 2, a densidade básica das amostras foi variável entre 0,418 g/cm³ e 0,545 g/cm³, sendo o valor médio de 0,488 g/cm³.

Tabela 2. Variação da densidade básica da madeira dos 45 materiais genéticos

Parâmetro	Valor médio	Valor máximo	Valor mínimo	Desvio padrão	Coefficiente de variação
Densidade básica, g/cm ³	0,488	0,545	0,418	0,033	6,8 %

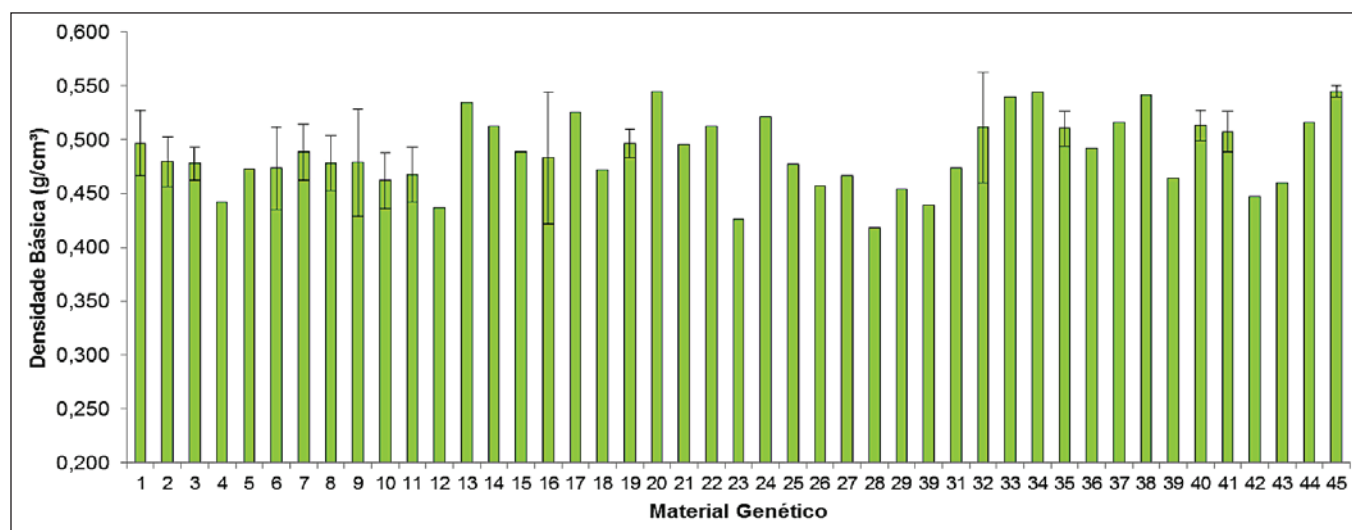


Figura 2: Densidade básica da madeira dos 45 materiais genéticos analisados

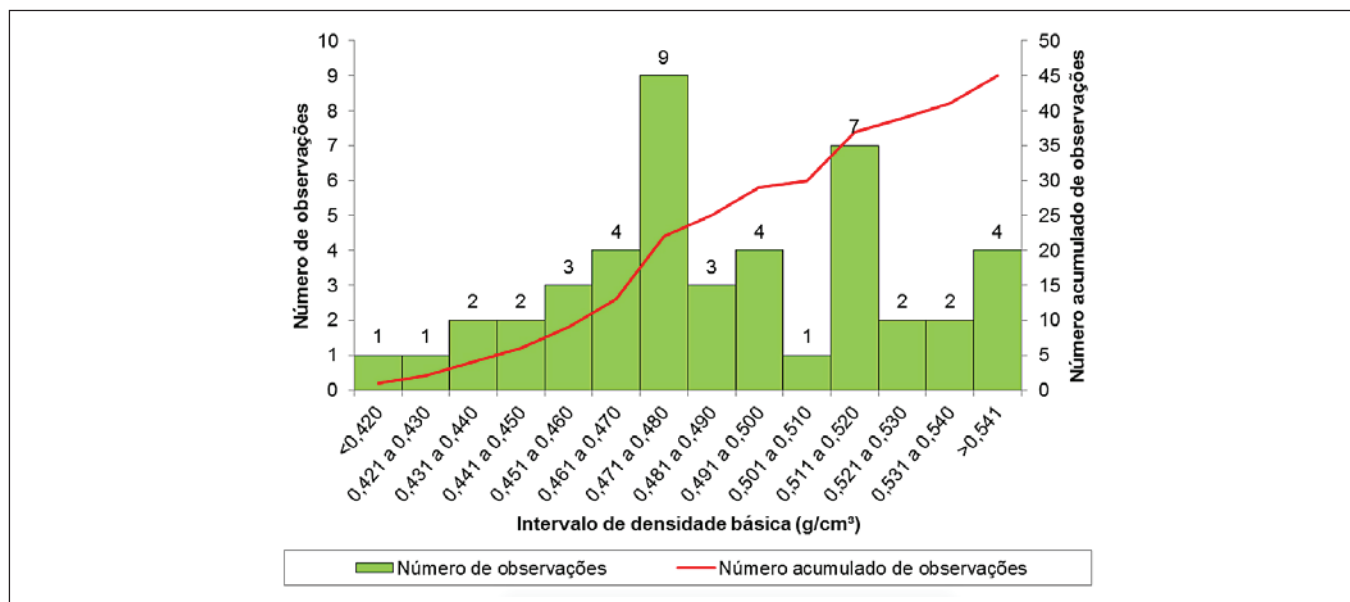


Figura 3: Número de observações em cada classe de densidade básica e número acumulado de observações

A Figura 3 apresenta um histograma com o número de observações para cada intervalo de densidade básica. Neste caso, foram considerados intervalos de 0,010 g/cm³.

Observa-se que o intervalo com maior número de observações é aquele entre as densidades básicas de 0,471 e 0,480 g/cm³, seguido pelo intervalo entre 0,511 e 0,520 g/cm³. Por outro lado, os intervalos <420 g/cm³, entre 0,421 e 0,430 g/cm³ e entre 0,501 e 0,510 g/cm³, apresentaram apenas uma observação.

A Tabela 3 mostra o número de observações nas classes de densidade básica consideradas na fábrica da Eldorado. Nesse caso, as classes de densidade são divididas em A (densidade básica <0,470 g/cm³), B (densidade básica entre 0,470 g/cm³ e 0,510 g/cm³) e C (densidade básica >0,510 g/cm³).

Conforme pode ser observado na Tabela 3, as densidades básicas dos 45 materiais genéticos analisados estão bem distribuídas entre

Tabela 3. Densidade básica de acordo com a classificação da Eldorado

Classes de densidade	Número de observações	Proporção de observações (%)
A (<0,470 g/cm³)	13	28,9
B (0,470 a 0,510 g/cm³)	17	37,8
C (>0,510 g/cm³)	15	33,3

as três classes de densidade básica utilizadas pela Eldorado. O maior número de observações ocorreu para a classe B (densidade básica entre 0,470 g/cm³ e 0,510 g/cm³), que é a classe intermediária, com 17 das 45 observações.

A Figura 4 e a Tabela 4 apresentam os resultados de composição química dos 45 materiais genéticos avaliados.

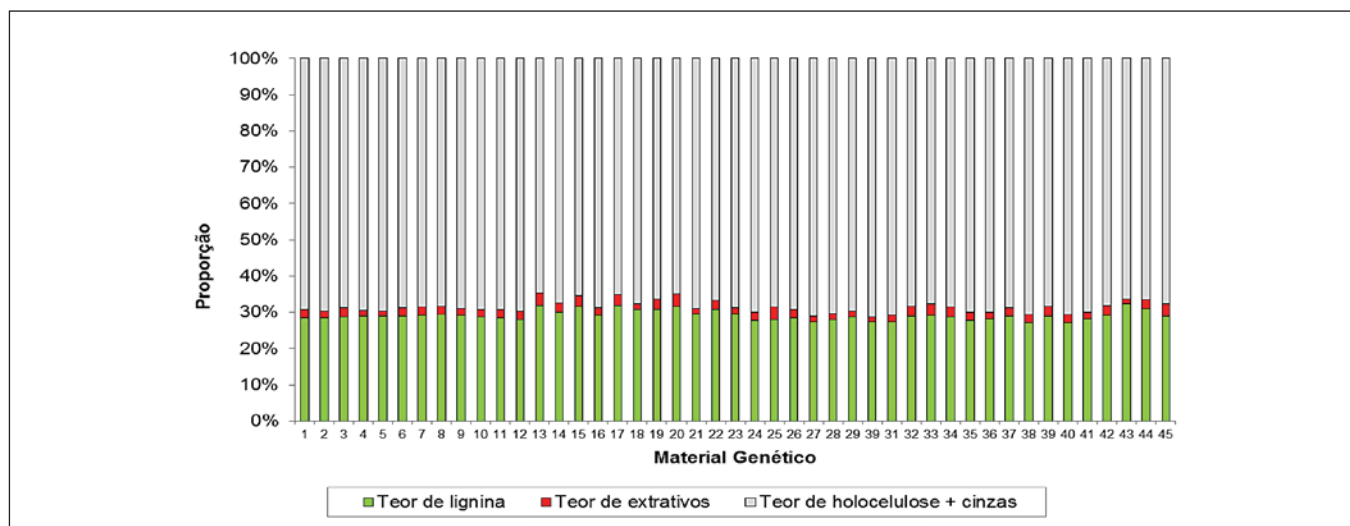


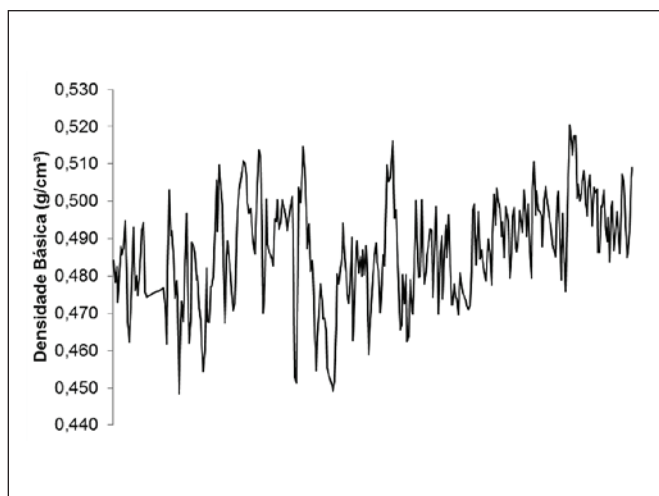
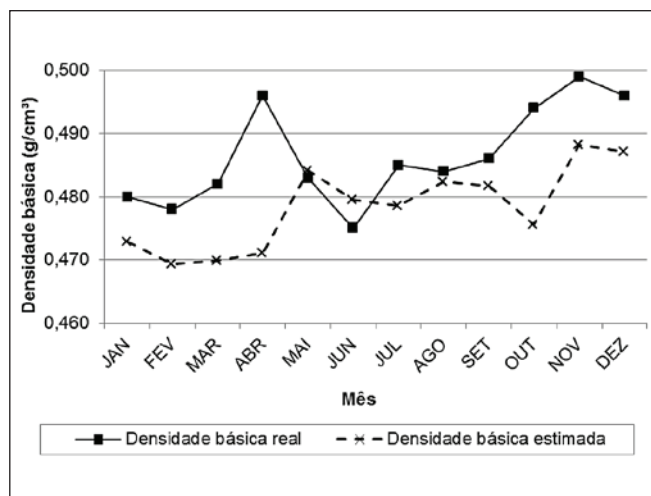
Figura 4: Composição química dos 45 materiais genéticos

Tabela 4. Variação da composição química da madeira dos 45 materiais genéticos

Parâmetro	Valor médio	Valor máximo	Valor mínimo	Desvio padrão	Coefficiente de variação
Teor de lignina, %	29,1	32,3	27,0	1,34	4,6%
Teor de extrativos, %	2,3	3,4	1,2	0,60	26,6%
Teor de holocelulose, %	68,7	71,2	64,8	1,64	2,4%

Tabela 5. Variação da densidade básica na fábrica da Eldorado em 2015 (com base nos valores diários)

Parâmetro	Valor médio	Valor máximo	Valor mínimo	Desvio padrão	Coefficiente de variação
Densidade básica, g/cm ³	0,487	0,520	0,448	0,014	2,9%

**Figura 5:** Variação diária da densidade básica da madeira na Eldorado em 2015**Figura 6:** Densidade básica média real x densidade básica estimada mensal

Os teores de lignina e extrativos observados estão dentro da variação normal encontrada em diferentes trabalhos sobre a composição química da madeira de *Eucalyptus* (Brito e Barrichelo, 1977; Santos, 2005; Silva, 2011; Segura, 2015).

Conforme já explicado, com base nas análises laboratoriais e na distribuição de entrega dos diferentes materiais genéticos ao longo do ano, foi possível estimar alguns dos principais parâmetros do processo de produção de celulose. A Figura 5 e a Tabela 5 apresentam a variação da densidade básica da madeira observada ao longo de todos os dias de produção de 2015.

A Figura 6 confronta os resultados médios reais de densidade básica observados mensalmente na fábrica da Eldorado com aqueles estimados a partir das análises laboratoriais.

Com exceção dos meses de maio e junho, a densidade básica real observada na fábrica da Eldorado foi maior em comparação à densidade básica estimada. Porém, a maior diferença observada

(mês de outubro, 3,7%) pode ser considerada baixa. Nesse sentido, é importante ressaltar que a análise laboratorial de densidade básica foi realizada alguns meses antes de os respectivos materiais genéticos serem utilizados na fábrica.

A partir dos resultados laboratoriais de cozimento e densidade básica, considerando a aplicação de álcali necessária para cada material genético, os rendimentos do processo de polpação e o teor de sólidos gerados para queima na caldeira de recuperação foi estimada a produção mensal de celulose na fábrica da Eldorado. Na Figura 7 essa estimativa mensal é apresentada, sendo que a barra verde corresponde à produção mensal de celulose, e a barra tachada em vermelho corresponde à produção que deixaria de ser realizada pelo diagnóstico de gargalos na fábrica. Assim, a somatória das duas barras seria a produção total sem considerar qualquer gargalo, ou seja, avaliando apenas os volumes de madeira entregues em cada mês e os respectivos consumos específicos de madeira estimados.

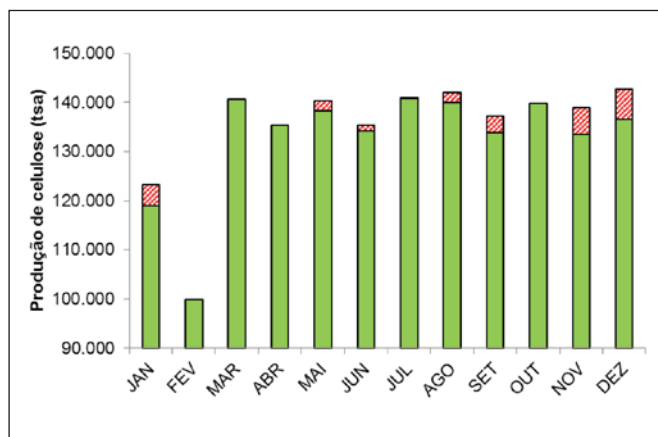


Figura 7: Produção mensal de celulose estimada

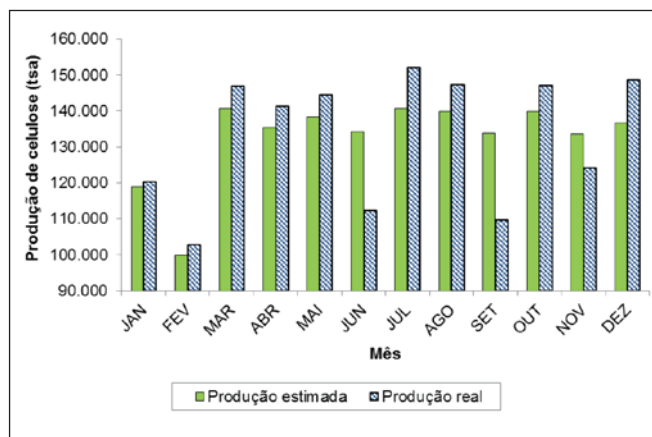


Figura 8: Produção mensal real x produção mensal estimada

Tabela 6. Consumo específico de madeira e produção anual de celulose: valores estimados x valores reais

Parâmetro	Valores estimados	Valores reais
Consumo específico de madeira, m ³ /tsa	3,37	3,37
Produção anual de celulose, tsa/ano	1.592.031	1.597.302

Este levantamento possibilitou que alguns gargalos fossem previamente identificados, concentrando assim os esforços e o planejamento do orçamento para as respectivas áreas e possibilitando reduzir o impacto de tais gargalos na produção. Neste caso específico, foram identificados os seguintes gargalos:

- **Preparo de Cavacos + Sistema de Extração:** janeiro;
- **Recuperação Química:** janeiro, maio, junho, julho, agosto, setembro, novembro e dezembro.

A produção mensal de celulose da Eldorado é comparada à produção estimada na Figura 8.

A melhor estimativa foi realizada para os meses de janeiro e fevereiro, em que o erro da estimativa foi inferior a 3,0%. Já no mês de setembro, a produção real foi cerca de 22% inferior à produção estimada. Em meses em que há imprevistos, a tendência é de que a disponibilidade média da fábrica diminua, fazendo a produção real daquele mês ser inferior à produção estimada. Nos meses em que a fábrica teve maior estabilidade de produção, a tendência é de que a disponibilidade cresça, aumentando também a produção do mês em relação à produção estimada. Assim, como ao longo do ano os meses de maior disponibilidade e consequente maior produção compensam aqueles de menor disponibilidade e menor produção, a análise do resultado anual de produção real e estimada tende a ser mais precisa. Esses resultados são apresentados na Tabela 6.

Observa-se que a estimativa de consumo específico acertou o consumo específico da fábrica da Eldorado em 2015 (3,37 m³/tsa), porém a produção estimada de celulose foi 0,33% inferior

à real. Esse erro pode ser considerado muito baixo, uma vez que a diferença de produção (5.271 tsa) equivale a pouco mais de um dia de produção considerando a média real de 2015.

CONCLUSÕES

É possível concluir que a caracterização dos materiais genéticos e as simulações de cozimento foram bastante eficientes na predição de gargalos e dos resultados industriais da Eldorado no ano de 2015. Assim, os métodos utilizados no presente trabalho mostram-se como ferramentas extremamente úteis no planejamento industrial de uma fábrica de celulose, permitindo prever a qualidade da madeira que abasteceria a fábrica e possíveis gargalos a serem encontrados. Além disso, o trabalho realizado foi preciso com relação à estimativa do consumo específico de madeira da fábrica.

Foram realizados projetos de melhorias com objetivo de minimizar o impacto dos gargalos previamente identificados, mas também ocorreram outros eventos de difícil previsão e com grande impacto na produção. Com isso as premissas adotadas nos cálculos de estimativa da produção foram atendidas levando a produção estimada ficar muito próxima da produção real (0,33% de erro). ■

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à equipe do Controle Técnico da Eldorado Brasil Celulose envolvida neste trabalho.

REFERENCES

1. ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 11941:2003 - Madeira - Determinação da densidade básica. 2003.
2. ALZATE, S. B. A. Caracterização da madeira de árvores de clones de *Eucalyptus grandis*, *E. saligna* e *E. grandis* x *urophylla*. 2004. 151 p. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.
3. ASSUMPÇÃO, R. M. V.; PINHO, M. R. R.; CAHEN, R.; PHILIPP, P. Polpação química. In: D'ALMEIDA, M. L. O. Celulose e papel: tecnologia de fabricação da pasta celulósica. São Paulo: SENAI; IPT, 1988. v. 1, cap. 6, p. 169-319.
4. BRITO, J. O.; BARRICHELO, L. E. G. Correlações entre características químicas da madeira para a produção de carvão vegetal: I. Densidade e teor de lignina da madeira de eucalipto. IPEF, Piracicaba, n. 14, p. 9-20, 1977.
5. FOELKEL C. E. B.; BRASIL, M. A. M.; BARRICHELO, L. E. G. Métodos para determinação da densidade básica de cavacos para coníferas e folhosas. IPEF, Piracicaba, n. 2/3, p. 65-74, 1971.
6. FOELKEL, C. E. B.; MORA, E.; MENOCELLI, S. Densidade básica: sua verdadeira utilidade como índice da qualidade da madeira de eucalipto para produção de celulose. *O Papel*, São Paulo, v. 53, n. 5, p. 35-40, 1992.
7. GOMIDE, J. L.; COLODETTE, J. L. Qualidade da madeira: biotecnologia florestal. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2007. 387 p.
8. GOMIDE, J. L.; FANTUZZI NETO, H. F.; LEITE, H. G. Estratégia de análise da qualidade de madeira de *Eucalyptus* sp. para produção de celulose. *Revista Árvore*, v. 28, n.3, p. 443-450, 2004.
9. ISO - International Organization for Standardization. ISO 302:2015 - Pulps - Determination of Kappa number. 2015.
10. OLIVETTINETO, A. Qualidade de cavacos de eucalipto para obtenção de celulose Kraft. In: CONGRESSO IBEROAMERICANO DE INVESTIGACION EM CELULOSA Y PAPEL, 3., 2002, Campinas, Brasil. Trabalhos... Campinas: 2002. 1 CD ROM.
11. RUY, O. F. Variação da qualidade da madeira em clones de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake da Ilha de Flores, Indonésia. 1998. 69 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1998.
12. SANTOS, S. R. Influência da qualidade da madeira de híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* e do processo kraft de polpação na qualidade da polpa. 2005. 178 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais), Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.
13. SEGURA, T. E. S. Avaliação das madeiras de *Corymbia citriodora*, *Corymbia torelliana* e seus híbridos visando à produção de celulose kraft branqueada. 198 p. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2015.
14. SILVA, M. G. Produtividade, idade e qualidade da madeira de *Eucalyptus* destinada à produção de polpa celulósica branqueada. 2011. 94 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.
15. SILVA JR., F.G. Efeito do ritmo de produção sobre a eficiência de processos modificados de polpação para *Eucalyptus grandis* e *Populus tremuloides*. 2005. 144 p. Tese (Livre Docência) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.
16. TECHNICAL ASSOCIATION OF PULP AND PAPER INDUSTRY. Test methods. Atlanta: TAPPI Press, 2007. v. 2.