

Impacto da qualidade da madeira de eucalipto no desempenho financeiro de um modelo de fábrica brasileira de celulose

Influence of eucalyptus wood properties on the financial performance of a modeled Brazilian pulp mill

Autores/Authors*: Juan Lopez¹
José Lívio Gomide²
Richard Phillips³

Palavras-chave: celulose de mercado, clones, economia, *Eucalyptus*, plantações

Keywords: Clones, economics, eucalyptus, market pulp, plantations

RESUMO

Um vasto conjunto de informações sobre propriedades das madeiras e de polpação de dez clones de *Eucalyptus*, desenvolvidos e caracterizados no Brasil (GOMIDE, 2005), serviu de base para desenvolver um modelo técnico e econômico de uma “Floresta e Fábrica de Celulose Hipotéticas de *Eucalyptus* no Ano 2000”, com capacidade de produção de 1 milhão de toneladas de celulose por ano. Além do modelo simulado de uma fábrica de celulose, foi construído um modelo de uma floresta adjacente, de maneira que se pôde estabelecer um “preço de transferência” apropriado da madeira para a fábrica, com base no conceito de taxa de desconto de 12% para os investimentos feitos na floresta e na fábrica.

O Valor Presente Líquido (VPL) do complexo integrado pela floresta e fábrica foi significativamente influenciado pelo Incremento Médio Anual da floresta (IMA: m³/ha/ano), teor de lignina na madeira e densidade básica da madeira (tonelada seca/m³). Foi detectada uma diferença de VPL superior a 200 milhões de dólares entre o “melhor” e o “pior” dos dez clones, dependendo da restrição de produção (gargalo) da fábrica. Foram analisadas, para cada um dos dez clones, três situações de restrição da produção potencial da fábrica, a fim de determinar como os gargalos de produção da fábrica poderiam ser

ABSTRACT

Extensive literature information on wood and pulping properties of ten actual Eucalyptus clones developed and characterized in Brazil (GOMIDE, 2005) was used to prepare a technical and economic model of a hypothetical “Year 2000 Eucalyptus Plantation and Adjacent Pulp Mill” of nominal 1 million air dry metric tons per year capacity. In addition to the pulp mill simulation model, a plantation model of an adjacent forest was built, so that a proper “transfer price” of wood to the mill could be established, based on financial evaluation at equal 12% discount rate for both the forest and mill investments.

The Net Present Value (NPV) of the integrated forest–mill complex was significantly influenced by eucalyptus growth rate (cubic meters per hectare per year), lignin content in wood, and wood density (bone dry tonne of wood per cubic meter). Greater than US\$200 million of NPV difference was detected between the “best” and the “worst” of the ten clones, depending on the mill production bottleneck. Three mill potential production con-

*Referências dos Autores / Authors' references:

1. CAMCORE (Central American & Mexico Conifers Research), Universidade do Estado da Carolina do Norte, Raleigh, NC, USA
CAMCORE (Central American & Mexico Conifers Research), North Carolina State University, Raleigh, NC, USA
2. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, Brasil
Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, Brasil
3. Universidade do Estado da Carolina do Norte, Departamento da Madeira e Papel, Raleigh, NC, USA - E-mail: richard_phillips@ncsu.edu
North Carolina State University, Department of Wood and Paper, Raleigh, NC, USA – E-mail: richard_phillips@ncsu.edu

afetados pelas propriedades físicas ou químicas das madeiras. Foi verificado que: (1) limitações de capacidade da caldeira de recuperação favoreceram clones com baixo teor de lignina; (2) limitações da capacidade de alimentação volumétrica do digestor favoreceram clones com alta densidade da madeira; (3) limitações da capacidade da máquina de secagem da celulose favoreceram clones de alta produtividade florestal. Nos últimos anos, fornecedores de fábricas de celulose ampliaram a capacidade de projetos mais antigos, indicando que a pesquisa de melhoramento clonal de *Eucalyptus* deveria focalizar primeiramente a produtividade florestal, em segundo plano a densidade da madeira e, por último, o teor de lignina.

INTRODUÇÃO

Gomide *et al.* (2005) caracterizaram as propriedades das madeiras e das celuloses não-branqueadas de dez clones de eucalipto, provenientes das maiores fábricas brasileiras de celulose, e considerados como um dos melhores clones de cada empresa. Foi fornecido pelos produtores de celulose o Incremento Médio Anual da floresta clonal, expresso em metros cúbicos de madeira por hectare por ano (IMA: m³/ha/ano). A caracterização foi ampla, proporcionando informações detalhadas sobre a composição química das madeiras e das polpas kraft, rendimentos em celulose não-branqueada e densidades básicas das madeiras.

O presente estudo foi fortemente baseado nessa publicação de Gomide para obtenção de dados que foram utilizados como informações para uma fábrica hipotética de celulose, integrada à floresta, com o objetivo de analisar como a constituição química da madeira, o rendimento de polpação e o crescimento da floresta influenciam no retorno do investimento financeiro, em diferentes condições de restrições (gargalos) da fábrica.

Propriedades dos clones

Na Tabela 1 são apresentados os dados básicos das madeiras e dos rendimentos em celulose e nas Figuras 1 a 3 os dez clones foram classificados em ordem de “melhor” a “pior” em relação aos desenvolvimentos volumétricos das florestas, teores de lignina e densidades básicas das madeiras.

straints were analyzed for each of the ten clones to determine how mill bottlenecks might be impacted by the woods physical or chemical properties: (1) recovery boiler capacity limitations favored clones with low lignin; (2) volumetric feed capacity limitations favored clones with high wood density; (3) pulp drying capacity limitations favored clones with high forest productivity. In recent years, pulp mill suppliers have developed capability to overcome older design limitations, which means that eucalyptus clonal research should focus principally on forest productivity, secondarily on wood density, and lastly on lignin content.

INTRODUCTION

Gomide *et al.* (2005) characterized the wood and unbleached pulp properties of ten eucalyptus clones which had been submitted for testing by Brazilian pulp mills as being one of their best clones. In addition, growth rate expressed as cubic meters per hectare per year (Mean Annual Increment, MAI, m³/ha/year) was supplied by the pulp producers. The characterization was extensive, providing a wealth of data on compositional analysis of woods and pulps, unbleached pulp yields and wood density.

This study relied extensively on the Gomide publication for data to input to an integrated forest-pulp manufacturing facility and determine how the wood composition and growth rate influence the financial investment return under a variety of mill constraints.

Clones properties

Table 1 displays the basic wood and pulp yield data, while Figures 1-3 array each of the ten clones in order of “best” to “worst” with respect to forest growth, chemical composition, and physical density.

Tabela 1. Características tecnológicas dos clones A-J de *Eucalyptus (fonte: Gomide *et al.*, 2005)**

Table 1. Properties of *Eucalyptus* clones A-J* (source: Gomide *et al.*, 2005)

Clones / Clones	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	Média Average
IMA, m ³ /ha/ano MAI, m ³ /ha/yr	52.90	46.00	47.00	45.40	33.90	40.00	43.90	39.50	46.10	50.00	44.47
Lignina, % % Lignin	30.5	27.5	30.6	28.2	30.1	27.5	29.2	31.7	27.8	29.9	29.3
Densidade, ton/m ³ Density, ton/m ³	0.510	0.465	0.482	0.472	0.486	0.505	0.503	0.482	0.490	0.501	0.490
Rendimento, % Pulp yield, %	47.5	54.7	50.7	52.6	48.1	51.7	49.5	46.6	51.5	48.5	50.1

*Rendimentos calculados para polpa branqueada. Dados em cinza representam valores que foram melhores que a média para o conjunto / *Pulp yields were calculated by standard pulping models. Cells shaded gray have values that are better with respect to financial value than the average for the set

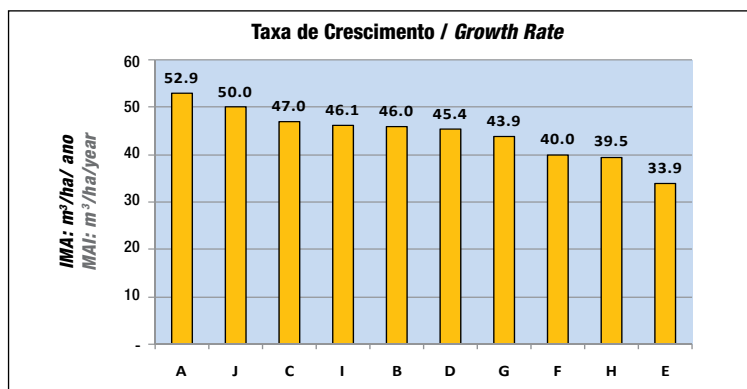


Figura 1. Incremento médio anual (IMA: m³/ha/ ano) dos dez clones de *Eucalyptus* (fonte: Gomide) / **Figure 1.** Volumetric growth rate (MAI: m³/ha/year) of the ten *Eucalyptus* clones (source: Gomide)

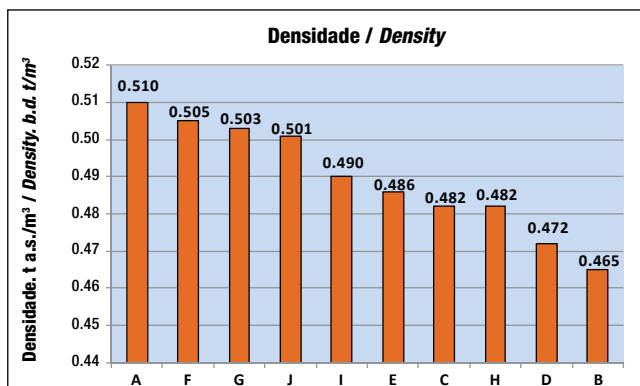


Figura 2. Densidades básicas das madeiras de *Eucalyptus* (fonte: Gomide) / **Figure 2.** Basic density of *Eucalyptus* wood (source: Gomide)

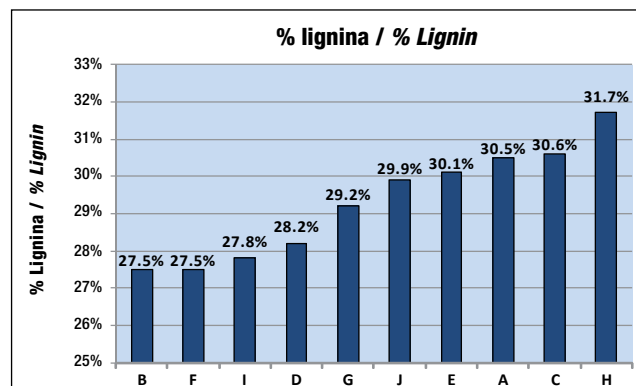


Figura 3. Teores de lignina dos clones de *Eucalyptus* (fonte: Gomide) / **Figure 3.** Lignin content in *Eucalyptus* clones (source: Gomide)

Na Figura 1 pode ser observado que os clones A e J caracterizaram-se pelas melhores taxas de crescimento, enquanto o clone E apresentou uma taxa de crescimento 30% inferior. Na Figura 2 é mostrada a densidade básica de cada madeira que, ao ser multiplicada pelo crescimento florestal (m³/ha/ano), determina a produtividade em madeira seca, que é a característica econômica mais importante. Novamente, o clone A foi o “melhor”, juntamente com o clone F. O clone B foi o de menor densidade da madeira, mas apresentou o rendimento em celulose mais elevado, como mostrado na Tabela 1. Como o produto final é a celulose totalmente branqueada, é de grande importância considerar o teor de lignina apresentado na Figura 3. Nessa Figura pode ser observado que os clones B e F (clones de crescimento mais lento) foram melhores, enquanto o clone H (também de crescimento lento) apresentou o teor mais elevado de lignina. O clone I foi o único que apresentou as três importantes características acima da média de todos os clones (Tabela 1). De um modo geral, os clones apresentaram uma mistura de características “melhores” e “piores”, tornando inviável a predição de superioridade financeira sem que seja realizada uma análise financeira do complexo floresta-fábrica de celulose totalmente integrado, tal como proporciona o presente estudo.

Clones A and J featured superior volumetric growth rate (Figure 1), while E had 30% lower growth rate. Figure 2 takes into account the wood density, which, when multiplied by growth (m³/ha/year), determines dry matter growth rate, the more important economic characteristic. Once again clone A was the “best”, along with clone F. Clone B was least dense, but had the highest pulp yield (Table 1). Since the final product is fully bleached pulp, wood lignin content (Figure 3) is critical to consider. Clones B and F (slow growth rate clones) were superior, while H (also slow-growing) contained the highest lignin content. Clone I was the single variety where all three of the main characteristics were actually above the average for all clones (Table 1). Overall, each clone had some mixture of characteristic, making prediction of financial superiority impossible without undertaking a totally integrated forest-pulp mill financial analysis as provided in the present study.

Forças propulsoras financeiras para a rentabilidade da fábrica de celulose

O custo da madeira é uma vantagem econômica primordial para os produtores brasileiros de celulose, respondendo por cerca de 50% do custo de fabricação da celulose, como mostrado na Tabela 2 para o clone F. Nessa Tabela, o custo de produção inclui custos diretos (menos frete) e custos indiretos (menos depreciação). O custo da fibra foi baseado no preço da madeira transferida da floresta, de modo a proporcionar uma Taxa Interna de Retorno (TIR) de 12% sobre o investimento na floresta. O rápido crescimento das florestas brasileiras de eucaliptos, proporcionado pelo solo e clima favoráveis, permite que sejam estabelecidas plantações da ordem de 100.000 a 200.000 hectares e, ainda, a uma distância econômica de transporte de 150 a 200 km em relação à fábrica.

As tecnologias para a preparação da madeira, polpação, branqueamento, recuperação de produtos químicos e acabamento do produto final atingiram uma escala em que fábricas da ordem de 1 milhão de toneladas por ano já eram disponíveis no ano 2000. Esta elevada escala de produção resultou em alta eficiência do capital, normalmente expressa como custo do capital por tonelada anual de produção. A combinação desses fatores e, em menor grau, as vantagens em termos de custo de mão de obra e de energia proporcionaram o rápido crescimento da indústria brasileira de celulose de eucalipto.

Financial driving forces for pulp mill profitability

Wood cost is a major economic advantage for Brazilian pulp producers but still it accounts for close to 50% of the cash manufacturing cost, as can be seen in Table 2, which applies only to clone F. In Table 2, cash cost at the mill includes indirect cost (less depreciation), and fiber cost is based on the price of wood transferred from the forest that allows a 12% Internal Rate of Return (IRR) on the forest investment. The advantageous growth rates due to Brazilian soil and climate allows plantations on the order of 100,000 to 200,000 hectares to be established to supply 1million ton/year pulp mill, yet remaining within an economical 150-200 kilometers delivery distance.

Finally, technology for wood preparation, pulping, bleaching, chemical recovery and pulp product finishing has reached a scale where mills on the order of 1 million admt/year were available in the year 2000 timeframe. This leads to highly proficient capital efficiency, frequently expressed as capital cost per annual ton of production. The above combination of factors, and, to a lesser extent, labor and energy cost advantages, has led to the rapid growth of the Brazilian Eucalyptus pulp industry.

Tabela 2. Custos de produção modelados para o clone F baseados nas propriedades da madeira e no crescimento florestal
Table 2. Clone F modeled manufacturing cost analysis based on wood properties and forest growth

Produção anual, em toneladas / Finished tons per year	1.000.000
Custo final por tonelada, US\$ / Cost per finished ton, US\$	388
Custo direto, US\$ / Direct cost, US\$	264
Frete, US\$ / Freight, US\$	106
Fibra, US\$ / Fiber, US\$	116
Produtos químicos, US\$ / Chemicals, US\$	26
Energia, US\$ / Energy, US\$	13
Materiais de acabamento, US\$ / Finishing materials, US\$	4
Custo indireto, US\$ / Indirect cost, US\$	124
Manutenção, US\$ / Maintenance, US\$	14
Mão de Obra (excluindo reparos), US\$ / Labor (excluding repair), US\$	7
Materiais de operação, US\$ / Operating materials, US\$	8
Outros custos fixos da fábrica, US\$ / Other mill fixed cost, US\$	13
Custo em espécie na fábrica, US\$ / Cash cost at the mill, US\$	201

OBJETIVO DO ESTUDO

O objetivo deste estudo foi determinar como as propriedades de dez clones de eucalipto influenciavam a atratividade financeira de investimento numa fábrica de celulose. Foi, ainda, analisado o valor econômico de melhorar as principais propriedades dos clones de eucalipto, uma vez que elas poderiam afetar as vantagens financeiras de um investimento integrado floresta-fábrica.

DESCRIÇÃO DO MODELO E METODOLOGIA

Neste estudo foram considerados três cenários de restrições de produção (gargalos) numa fábrica de celulose, a saber: (1) Capacidade da caldeira de recuperação, (2) Capacidade de alimentação dos cavacos no digestor e (3) Capacidade da secadora de celulose. Para cada um dos três diferentes cenários de restrição da produção, as propriedades de cada um dos dez clones foram incluídas num Modelo de Avaliação Técnica e Econômica derivado de um modelo genérico de fábrica de celulose e papel (TAEM) desenvolvido na North Carolina State University, USA. Foram determinados os resultados financeiros, expressos em Valor Presente Líquido, utilizando uma taxa de 12% para descontar todos os fluxos de caixa (inclusive investimento em terras) retroativos ao ano 2000, estabelecido como o ano do início de produção da fábrica. Uma vez que a taxa de desconto para investimentos pode ser uma questão de escolha foi, também, calculada a Taxa Interna de Retorno.

Modelo Técnico-Econômico de Simulação (TAEM) de uma fábrica de celulose e papel

Um modelo de simulação financeira e de operação de uma fábrica de celulose e papel (descrito mais detalhadamente na Tabela A1 do Apêndice) foi usado para determinar os impactos das propriedades das madeiras nos principais parâmetros de desempenho financeiro. Em resumo, o modelo foi baseado em amplo e criterioso exame de relatórios publicados sobre investimentos em fábricas de celulose durante vários anos, permitindo uma estimativa de custo do capital em cada setor da fábrica, em função da escala de produção e do ano de início de operação.

O modelo requer que o usuário estabeleça, ou calcule retroativamente, a taxa de produção para o ano de 2007. O usuário deve fazer a seleção do produto, das características tecnológica do processo, da pressão de vapor, da configuração da instalação geradora de energia e do quadro de pessoal e remuneração. A depreciação anual é rastreada ano a ano e outros custos indiretos são estimados com base nos dados alimentados pelo usuário sobre categoria de manutenção e complexidade da fábrica. Os custos unitários de mão de obra e matéria-prima, específicos da região, são alimentados com base nos custos reais do ano 2007 e indexados retroativamente até o ano de início de operação e para o futuro, por um período de até 20 anos.

Os resultados financeiros anuais incluem o custo por tonelada, a rentabilidade, o fluxo de caixa, o Valor Presente

OBJECTIVE OF THE STUDY

The aim of this paper was to determine how the variation in properties of ten hybrids of eucalyptus clones influences the financial attraction of a pulp mill investment. The objective was also to determine the economic value of improving the main properties of eucalyptus clones as they impact the financial attraction of an integrated forest-pulp mill investment.

MODEL AND METHODOLOGY DESCRIPTION

For each three production constraint scenarios, the experimental properties of each of the ten clones were input to a Technical and Economic Evaluation Model derived from a generic pulp and paper mill model developed at North Carolina State University. Financial results expressed as Net Present Value were determined using a 12% rate to discount all cash flows (including land investment) back to year 2000 considered as the year production commenced. Since discount rate for investments can be a matter of judgment, internal rate of return was also calculated.

Technical and Economic Simulation Model (TAEM) of a pulp and paper mill

The pulp and paper operating and financial simulation model (described in more detail in Appendix Table A1) was used to determine the major financial performance parameters as impacted by wood properties. In brief, the model is based on extensive review of published mill investment reports over many years, and allows estimation of the capital cost, by each mill department, as a function of scale and startup year.

The model requires the user to set, or alternatively back calculate, production rate for 2007. Selection is made by the user of the product, process technology features, power plant steam pressure and configuration, along with staffing levels and compensation. Annual depreciation is tracked year-by-year and other indirect costs are estimated based on the user input of class of maintenance and mill complexity. Region-specific labor and raw material unit costs are input based on 2007 actual costs, and indexed back to startup year and forward as many as 20 years.

Annual financial outputs include cost per ton, profitability, free cash flow, investment Net

Líquido do investimento (VPL) e a Taxa Interna de Retorno (TIR). Neste estudo, para calcular o VPL foi adotada uma taxa de desconto de 12%.

Cenários de restrições da produção

As propriedades das madeiras e das celuloses foram alimentadas no Modelo Técnico e Econômico (TAEM) para prever resultados de processo nas condições dos três cenários mais comuns de gargalos de produção de fábricas. No ano 2000, as fábricas de celulose brasileiras estavam pressionando os limites dos fornecedores no sentido de projetar grandes fábricas de celulose de uma única linha de produção em três áreas principais:

1- Cenário 1: Capacidade da Caldeira de Recuperação.

A capacidade da caldeira de recuperação, expressa em GJ/m², pode ser restringida pela liberação de calor da fornalha (capacidade de combustão de materiais orgânicos injetados com teor de sólidos do licor negro - SLN de 75%-80%), pelo teor total de sólidos secos (toneladas de SLN por hora) ou pelo fluxo de vapor proveniente do tambor de vapor que separa água na fase líquida da fase de vapor. Neste estudo, foi estabelecido que o fluxo de sólidos, por tonelada de celulose, fosse fator limitante para todos os clones.

Cenário 2: Capacidade Volumétrica de Alimentação de Cavacos no Digestor. Um alimentador contínuo do digestor é um dispositivo volumétrico e, portanto, a capacidade é estabelecida pelo número de rotações por minuto vezes o volume de cavacos alimentado por rotação. Isto, por sua vez, é determinado pela densidade da madeira. Neste estudo, foi estabelecido que a densidade básica da madeira (t seca/m³) fosse o gargalo da produção para todos os clones.

Cenário 3: Capacidade da Secadora de Celulose. Embora atualmente não seja um problema, os projetos do ano 2000 ampliaram o fluxo de massa de celulose, a drenagem da tela, a prensagem e a capacidade de secagem para que atingissem a produção anual de 1 milhão de toneladas seca ao ar (teor de umidade de 10%). Foi pressuposto, nesse cenário 3, que a produção fosse fixa nesse nível para todos os clones.

Modelo florestal

As principais pressuposições em que se baseia o Modelo Florestal estão apresentadas na Tabela A2 do Apêndice e são sucintamente discutidas a seguir. Os principais conceitos são que os produtores brasileiros de celulose tipicamente compram terra e iniciam o plantio de florestas 8 a 10 anos antes do início de operação da fábrica, e que a floresta não tem outro valor a não ser o de fornecer madeira para a fábrica que será construída posteriormente. A madeira é, então, transferida para a fábrica de celulose a um preço que restitui o preço da compra da terra e de todos os custos de implantação dos

Present Value (NPV) and Internal Rate of Return (IRR). A discount rate of 12% was used to calculate NPV.

Product constraints scenarios

The Gomide's wood and pulp compositional properties were input to the TAEM to drive process outputs under the three most common scenarios for mill production bottlenecks. In year 2000, Brazilian pulp mills were stretching the limits of suppliers to design single line pulp in three main areas:

1- Scenario 1: Recovery Boiler Capacity. Recovery boiler capacity can be constrained by hearth heat release, expressed as GJ per m² hearth cross-sectional area (ability to combust organic materials fired at 75%-80% black liquor solids (BLS) content, total dry solids content (tons BLS per hour), or steam flow (tons per hour) from steam drum that separates water from the liquid to the vapor phase. Scenario 1 assumes that black liquor solids flow per admt of production is the limiting factor for all clones.

2- Scenario 2: Digester Chip Feed Volumetric Capacity. A continuous digester feeder is a volumetric device and, therefore, the capacity is set by revolutions per minute x volume of chips fed per revolution. This in turn is dictated by the wood density. Scenario 2 assumes the wood density (dry t wood per m³) is a production bottleneck for all clones.

3- Scenario 3: Pulp Dryer Capacity. While not presently an issue, year 2000 designs were stretched to provide the pulp stock flow delivery, wire drainage, pressing, and drying capacity to achieve on the order of 1 million admt pulp at 10% moisture content. Scenario 3 assumes that production is fixed at that level for all clones.

Forest model

The main assumptions driving the Forest Model are presented in Appendix Table A2, and briefly discussed here. The main concept is that Brazilian pulp producers typically purchase land and begin development of plantations 8-10 years in advance of a planned mill startup, and in reality that forest has no economic value other than to supply wood for the mill that will be built later. Wood, then, must be transferred to the pulp mill at a price that pays back the land purchase and all

plantios a uma Taxa de Retorno idêntica à Taxa de Desconto estabelecida para o investimento da fábrica. Procedimento diferente resulta numa situação em que a floresta subsidia o investimento da fábrica. O investimento global do complexo floresta-fábrica poderia ser analisado como um empreendimento econômico integrado único. Entretanto, mantê-los separados possibilita estabelecer como as propriedades e taxas de crescimento dos clones impactam o preço de transferência da madeira da floresta para a fábrica.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Impacto das propriedades dos clones nos retornos dos investimentos

Nas Figuras 4 a 6 são apresentados os resultados obtidos a partir do modelo, correspondentes às propriedades do clone F, onde cada propriedade foi ampliada em +/-10% em relação ao valor real (ponto zero) determinado por Gomide *et al.* (2005). Nessas Figuras, os extremos de +/-10% dos teores de lignina correspondem aos resultados calculados para polpação. Os resultados +/-10% para densidade e IMA foram determinados em simulações do Modelo Florestal.

plantation development costs at an Internal Rate of Return that is identical to the Discount Rate set for the mill investment (to do otherwise results in a situation where the forest subsidizes the mill investment). The entire forest-mill investment could be analyzed as a single integrated economic enterprise, but the value of keeping them separate is gain understanding of how the clone properties and growth rates impact the transfer price.

RESULTS AND DISCUSSION

How clone properties impact investment returns

In Figures 4-6 are presented the modeled results using clone F properties input to the model, with each property changed to +/-10% around the actual Gomide's result, and illustrate the principal findings of this study as discussed below. In these Figures the zero point is based on the clone F properties from Gomide's, while +/- extremes for lignin contents are based on calculated pulping results. The +/-10% results for density and MAI are based on Forest Model simulations.

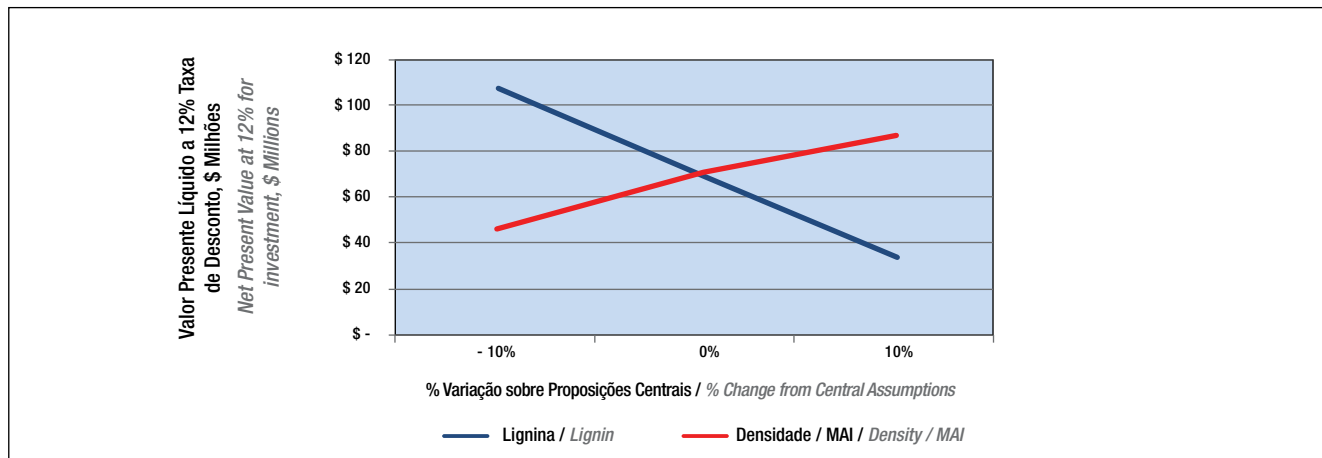


Figura 4. Valor presente líquido na taxa de desconto de 12% para o clone F (restrição da caldeira de recuperação) / **Figure 4.** Net present value at 12% discount rate of clone F (recovery boiler constraint)

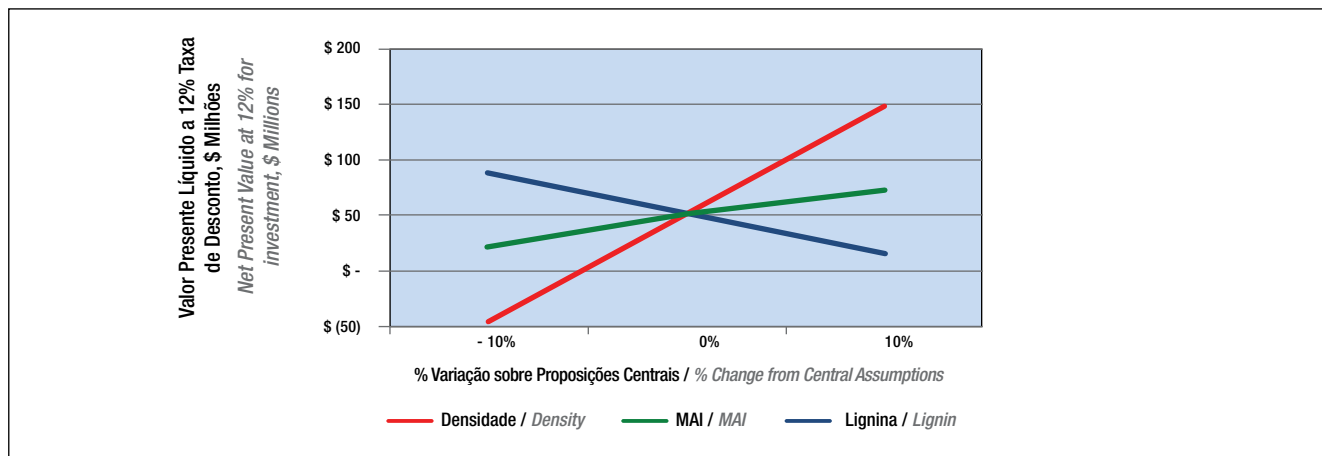


Figura 5. Valor presente líquido na taxa de desconto de 12% para o clone F (restrição da taxa de alimentação volumétrica) / **Figure 5.** Net present value for 12% discount rate of clone F (volumetric feed rate constraint)

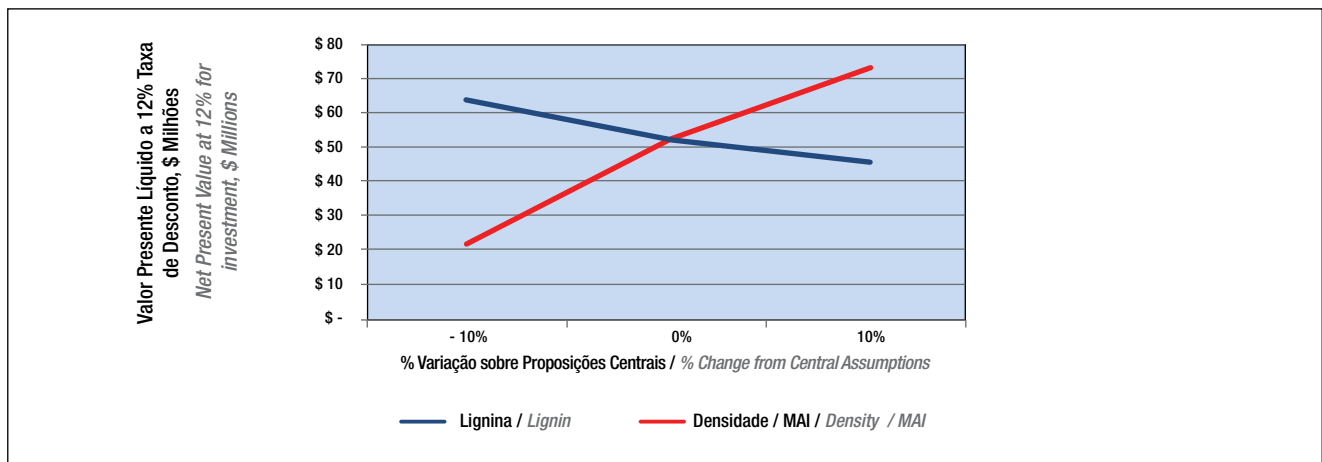


Figura 6. Valor presente líquido na taxa de desconto de 12% para o clone F (restrição da secadora de celulose para produzir 1 milhão t s.a./ano)
Figure 6. Net present value for 12% discount rate of clone F (pulp dryer constrained to produce 1 million admt pulp per year)

As Figuras 4 a 6 mostram claramente as principais observações deste estudo:

Em condições de restrição da caldeira de recuperação, o teor de lignina apresentou 1,7x o efeito da densidade da madeira ou do IMA, que foram iguais. Embora esta tendência não seja surpreendente, a magnitude relativamente pequena da influência da lignina demonstra a importância das outras propriedades da madeira.

Sob condições de estrangulamento da alimentação volumétrica de madeira, a densidade da madeira teve um efeito 2,5x o impacto do teor de lignina e 3,3x o impacto de IMA.

Sob condições de restrição da capacidade de secagem da celulose, em que foi estabelecido que todos os modelos produziam 1 milhão de toneladas de celulose/ano, o custo de fabricação foi o principal fator propulsor. O IMA e a densidade foram idênticos, exercendo 1,5 vezes o efeito do teor de lignina.

A compreensão destas influências num único clone facilita a interpretação do valor financeiro dos dez diferentes clones, que apresentaram uma ampla variação de propriedades com relação às três características principais, e de como essas características afetaram os resultados nos três cenários de restrição da produção.

Produção de celulose

Na Figura 7 são mostradas as taxas de produção anual para todos os clones nos três cenários de restrição de produção. Considerando os pressupostos para essas análises, bem como a importância da geração de receita para obter rentabilidade, a primeira consideração é para a taxa de produção anual. O cenário de produção constante de celulose é o mais fácil de analisar, uma vez que a produção foi fixada em 1 milhão de toneladas s.a./ano. Todos os clones atingiram esse nível ainda que, obviamente, com diferentes custos. No caso de alimentação constante, o clone F proporcionou o nível mais elevado de produção de celulose. Embora o clone F apresentasse uma densidade ligeiramente inferior à do

Figures 4-6 clearly show the main outcomes of this study:

Under recovery boiler constraint, lignin content had 1.7x the impact of either wood density or MAI (which were equal). While the trend is not surprising, the relatively small magnitude of the lignin influence is, thus, indicating the importance of the other wood properties.

Under volumetric wood feed constraint, wood density had 2.5x the impact of lignin content and 3.3x the impact of MAI.

Under pulp dryer capacity constraint, where all models were constrained to produce 1 million admt of pulp, manufacturing cost was the main driver. Here, MAI and wood density were identical and had 1.5x the influence of lignin content.

Understanding these influences on a single clone will facilitate interpretation of the financial value of the ten different clones, all of which presented a wide distribution of properties with respect to the three main characteristics, and how those characteristics drive results under the three scenarios of production constraint.

Pulp production

Figure 7 shows the annual production rates for all clones under the three production rate scenarios. Given the assumptions that drive this analysis and the importance of revenue generation to profitability, first consideration was given to annual production rate. The constant pulp scenario was easiest to interpret: Since pulp production was set at 1 million admt pulp, all clones could achieve this level, although, obviously, with different input costs. In the case of constant feed, clone F produced the highest pulp level. Although clone F was slightly lower in wood density than clone A, the

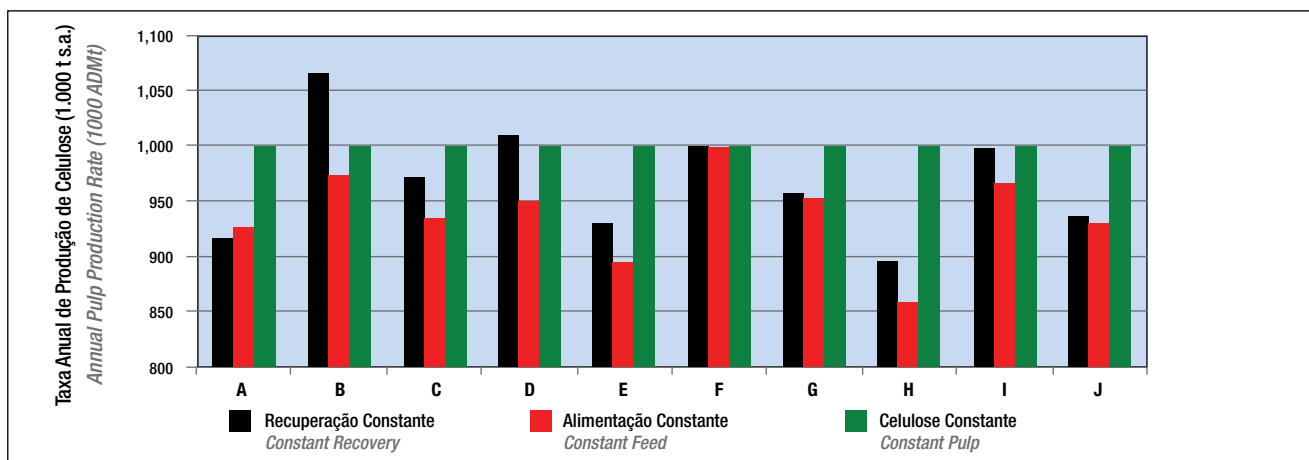


Figura 7. Taxa de produção anual para cada clone nas condições dos três cenários de produção
Figure 7. Annual production rate achieved for each clone under the three production rate scenarios

clone A, o seu nível de lignina era significativamente mais baixo, de modo que o rendimento em celulose por unidade de madeira alimentada foi significativamente mais elevado. Os resultados com recuperação constante foram superiores para o clone B, o que não foi surpreendente, uma vez que esse clone apresentava dentre todos os outros o mais baixo teor de lignina e o mais alto teor de carboidratos.

Rendimento em celulose

A celulose de mercado de eucalipto é um produto de elevada alvura, quase completamente livre de lignina. A madeira, além de carboidratos e lignina, contém pequenas quantidades de outros constituintes, tais como extrativos e cinza, que são dissolvidos em larga escala nos processos de polpação e branqueamento. Portanto, pode-se prever que baixos teores de lignina proporcionem rendimentos mais altos de celulose branqueada (celulose a.s. / madeira a.s.). A Figura 8 mostra que essa relação é positiva ($R^2 = 0,75$), mas que outros constituintes também afetam a equação. O impacto econômico da lignina foi mais pronunciado nas condições de

lignin level was significantly lower and thus pulp yield per unit wood fed was significantly higher. The results with constant recovery were superior for clone B, which, not surprisingly, had the lowest lignin and highest carbohydrate content among all the clones.

Pulp yield

Eucalyptus market pulp is a high brightness product almost completely lignin-free. Wood contains small amounts of other constituents, such as extractives and ash that are largely dissolved in the pulping/bleaching process. It would be reasonable to expect lowest lignin content in wood to give the highest bleached pulp yield (bone dry pulp / bone dry wood). Figure 8 shows this relationship ($R^2=0.75$) was good, but clearly other constituents also enter the equation. The economic impact of lignin will be shown most profound under

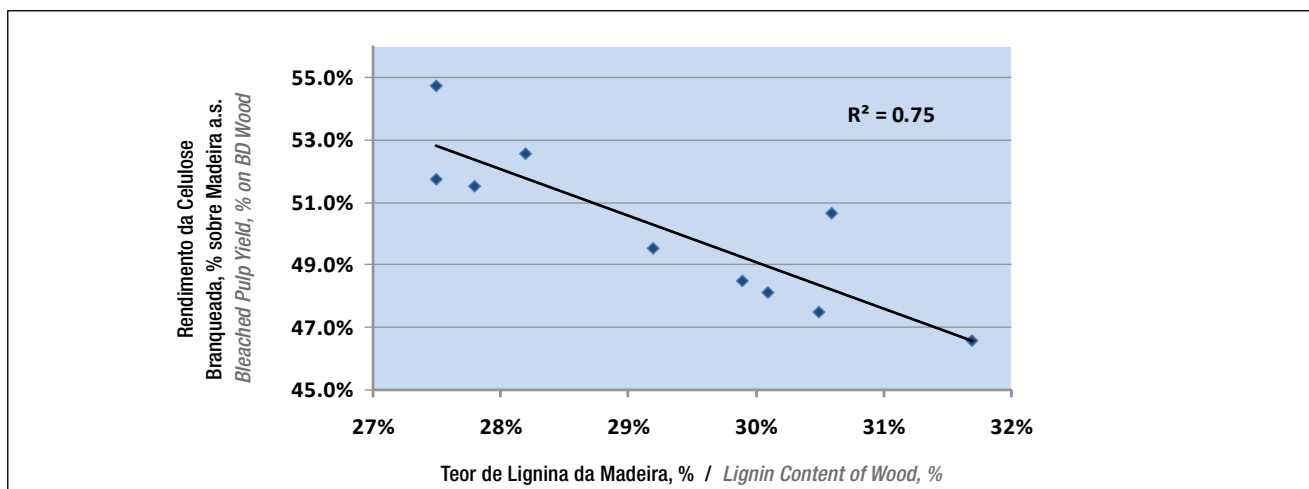


Figura 8. Rendimentos em celulose branqueada dos dez clones de eucalipto com base em modelos de polpação e branqueamento
Figure 8. Bleached pulp yields calculated for the 10 clones based on pulping and bleaching models

restrição da caldeira de recuperação, como apresentado na seção abaixo, uma vez que influencia o custo da madeira em dois aspectos diferentes: (1) mais lignina significa que mais madeira precisa ser comprada; (2) uma quantidade maior de madeira comprada resulta em madeira proveniente de maiores distâncias, elevando o custo de transporte da madeira.

Custo da madeira

Internacionalmente, é prática comum expressar o custo da madeira fornecida em dólares por metro cúbico, principalmente por motivos históricos. Entretanto, é mais apropriado expressar o custo em dólares por tonelada de madeira absolutamente seca (US\$/t a.s.), como apresentado na Figura 9. Esta medição já inclui a densidade da madeira e também considera que o eucalipto colhido e descascado na floresta tende a apresentar teor de umidade mais baixo que o descascado na fábrica. As diferenças para um mesmo clone nos três cenários de produção devem ser ocasionadas inteiramente por diferenças na produção de celulose, uma vez que produção mais alta requer mais madeira, o que implica em custo de transporte mais alto da floresta até a fábrica, e em maiores custos de plantações florestais mais extensas.

As diferenças do custo da madeira nos três cenários de restrição foram ocasionadas não somente por diferenças da taxa de produção, mas, também, pela taxa de crescimento da floresta e pela densidade da madeira. O clone E apresentou o custo de madeira mais elevado, acima de US\$70/t a.s. em todos os três cenários, principalmente porque ele se localizava abaixo do ponto médio em relação a todas as propriedades principais que determinam o custo da madeira, como mostrado na Tabela 1. O clone A apresentou o menor custo de madeira fornecida, caracterizado por uma alta taxa de crescimento da floresta e alta densidade da madeira, embora apresentasse teor de lignina mais alto.

the recovery boiler product constraint scenario 1, but it influences wood cost from two different perspectives: (1) more lignin, more wood must be purchased; (2) more wood purchased means wood must come from further distance, driving the transportation component of wood cost up.

Wood cost

Internationally, it is common to compare delivered wood cost in dollars per m³ basis, largely for historical reasons. In fact, dollars per bone dry ton (Figure 9) is more appropriate, since this measure removes the impact of wood density, and also considers that harvested eucalyptus debarked in the forest tends to be lower moisture content than commonly wood pulp logs. Differences for a given clone within the three production scenarios were entirely due to differences in pulp production, since higher production requires more wood and thus higher transportation cost from the forest to the mill, as well as greater plantation costs as they impact annual volume requirement.

The costs differences among the 10 clones were due, not only to production rate differences, but also growth rate and density. Clone E appeared anomalously high (over US\$70 per b.d. t in all three scenarios), largely because it was below midpoint in Table 1 in all major properties that determine wood cost. Clone A presented the lowest delivered wood cost, featuring high growth as well as high density, though lignin was on the high side.

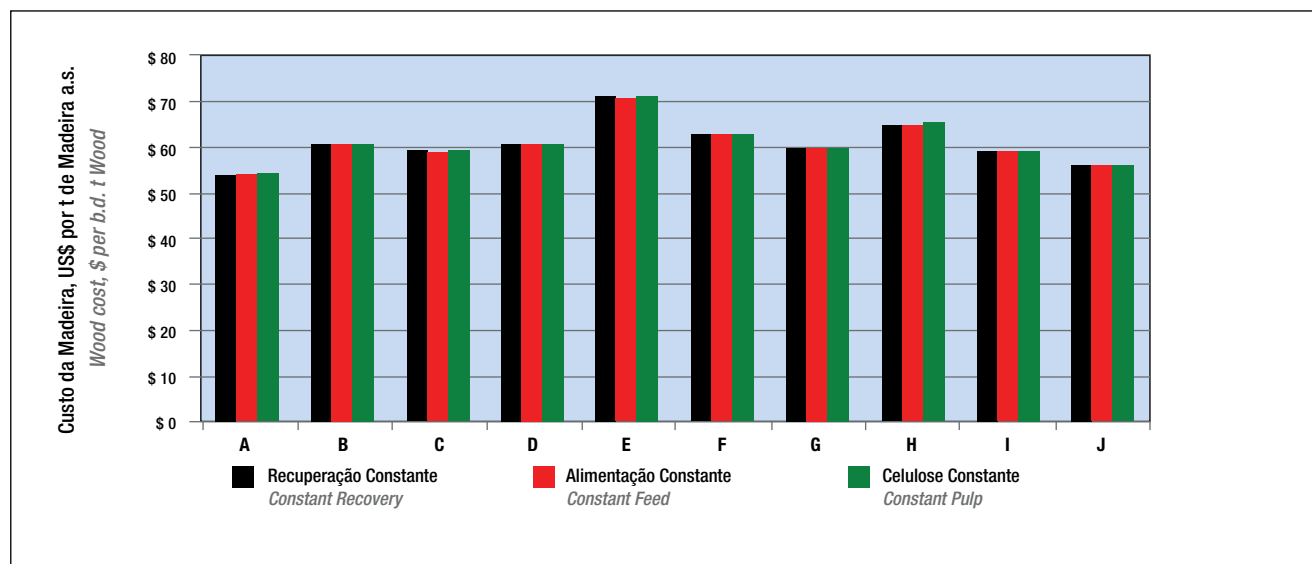


Figura 9. Custo da madeira (US\$/tonelada a.s.) / **Figure 9.** Wood cost (US\$ per b.d. metric tonne)

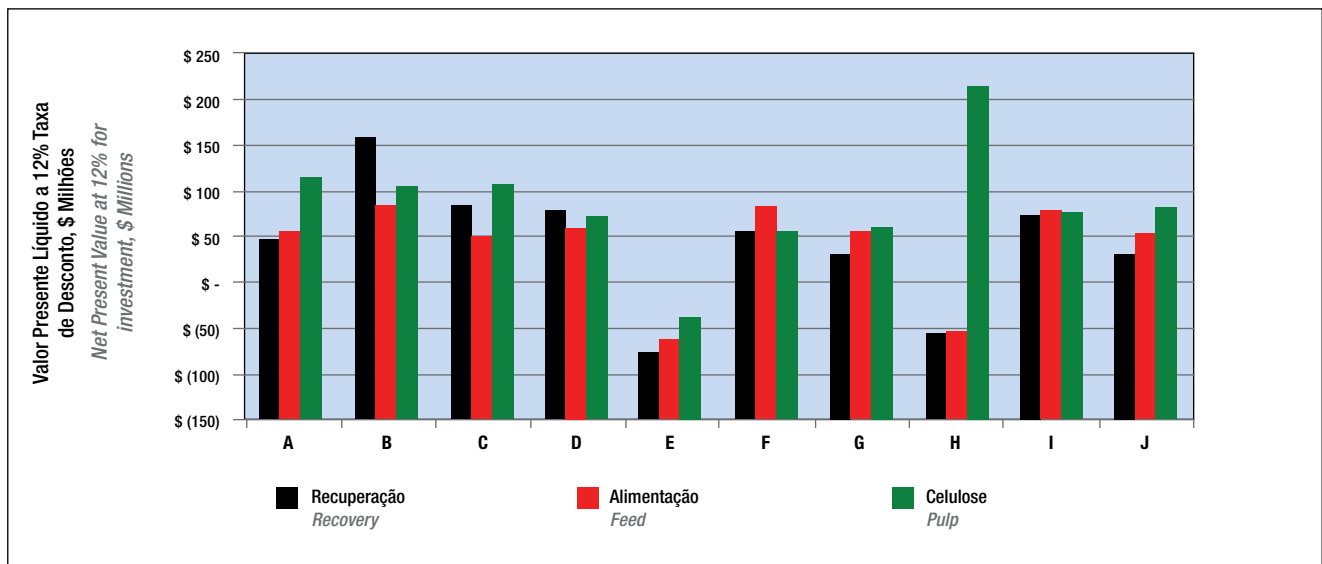


Figura 10. Valor Líquido Presente dos clones nos cenários de restrição da produção / **Figure 10.** Net Present Value of clones as a function of the production constraint scenarios

Comparações financeiras

As comparações quantitativas e qualitativas acima estabelecidas são tecnicamente importantes, mas na Figura 10 é apresentado, de uma maneira global, o desempenho financeiro de cada clone nos três cenários de produção. O clone F foi constante para os três cenários de produção, uma vez que ele foi selecionado como referência para a capacidade de recuperação, para o volume de madeira e para a produção de celulose. Cada cenário será discutido, a seguir, separadamente.

1- Capacidade Constante da Caldeira de Recuperação.

Alto rendimento em celulose deve resultar em baixa carga para a caldeira de recuperação e, portanto, os clones B, D, I e F foram favorecidos, sem considerar nenhum outro fator nos cálculos. De fato, o clone B foi muito superior a qualquer outro. O clone F foi somente o quinto melhor, prejudicado por um crescimento florestal relativamente lento. O clone I, com apenas 27,8% de lignina e com IMA e densidade relativamente competitivos, ocupou a segunda posição em relação a alto VPL (Valor Presente Líquido) no Cenário 1. Os clones E e H (ambos com mais de 30% de lignina e densidade abaixo de 0,49 t/m³) foram os clones de mais baixos desempenhos nas condições de restrição da capacidade da caldeira de recuperação.

2 - Taxa de Alimentação Volumétrica Constante do Digestor.

Alta densidade básica da madeira favorece a alimentação do digestor em condições de restrição e, portanto, poder-se-ia esperar que os clones A (0,510 de densidade) e F (0,505 de densidade) fossem os clones de melhor desempenho. Entretanto, esses clones ocuparam o segundo e terceiro níveis mais altos em termos de VLP (Valor Presente Líquido). O clone B, que possuía a densidade mais baixa (0,465), proporcionou o mais alto VPL por causa do seu baixo teor de lignina (27,5%) e alto rendimento em celulose (51,5%), em comparação com o clone A que possuía teor mais

Financial comparisons

The above quantitative and qualitative comparisons are technically interesting, but the financial performance of each clone under the three production scenarios rolls all the factors together in Figure 10. Each scenario will be separately discussed. Clone F was constant for all three production scenarios as it was selected to be the base for recovery capacity, wood volume, and pulp production in all cases.

1 - Constant Recovery Boiler Capacity. High pulp yield per bone dry ton of wood should result in the lowest load on the recovery boiler, and would favor clones B, D, I and F if no other factor entered the calculation. In fact, clone B was far superior to any other. Clone F was only fifth best, suffering from relatively slow growth. Clone I, with only 27.8% lignin and relatively competitive MAI and density, took second rank for high NPV in scenario 1. Clones E and H, both with more than 30% lignin and below 0.49 density, were the lowest performing clones under constraints of constant recovery boiler capacity.

2 - Constant Digester Volumetric Feed Rate. High wood density should be favored under this constraint, so clone A (0.510 density) and F (0.505 density) should be expected to be among the best performing clones. While these clones were second and third highest in NPV, clone B (0.465 density), the lowest density clone in the set, produced the highest net present value, due to its low lignin level and high pulp yield

elevado de lignina (30,5%) e rendimento mais baixo (47,5%). O clone F apresentou alto custo da madeira, ocasionado pela sua baixa taxa de crescimento florestal. O clone E, cujo custo da madeira foi o mais alto de todos, apresentou o pior desempenho.

3 - Produção Constante de Celulose. Os clones A e I foram os que apresentaram os melhores desempenhos nas condições de restrição de produção da secadora de celulose e, mais uma vez, o clone E apresentou o pior desempenho. Neste cenário, a ordem do desempenho financeiro parece seguir rigorosamente o custo da madeira por tonelada e o rendimento em celulose que, conjuntamente, constituem o custo da madeira por tonelada de celulose.

O investimento de capital inicial é um fator propulsor primordial do Valor Presente Líquido (VPL). Como anteriormente mencionado, a estrutura de capital pressuposta para esta análise foi a de uma fábrica genérica, construída para atingir 1 milhão de toneladas de celulose por ano, com base nas propriedades do clone F. Iniciada a operação da fábrica, as propriedades dos clones determinaram a evolução da produção e do custo ao longo do período de tempo desta análise. A Eficiência do Capital, medida pelo Custo de Capital por Tonelada Anual, foi diferente para cada clone nas condições de cada cenário, conforme mostrado na Figura 11. O clone B, nas condições de restrição da capacidade de recuperação constante, apresentou o uso mais eficiente do capital (e também apresentou o maior valor líquido atual, conforme mostrado na Figura 10). Os clones E e H, em geral, apresentaram a menor eficiência do capital e os menores valores VPL dentre as 30 comparações, tendo sido os únicos clones em que todas as características principais da madeira estavam abaixo da média.

(54.7%) versus clone A (47.5%). Clone F suffered high wood cost due to its low growth rate. Clone E, the highest wood cost, was the poorest performer.

3 - Constant Pulp Production. Clones A and I were the top performers under this production constraint, and once again clone E was the poorest. In this scenario, the order of financial performance appears to strictly follow wood cost per ton wood and pulp yield, which together comprise wood cost per ton of pulp.

Initial capital investment is a major driver of Net Present Value (NPV). As discussed earlier, the capital framework assumed for this analysis was a single, generic mill that was built with the expectation of achieving 1 million admt of product per year, based on clone F properties. Upon startup, the clonal properties determined how production and cost evolved over the time period under analysis. It follows that Capital Efficiency, as measured by Capital Cost per Annual Ton was different for each clone under each scenario, which was the case as shown in Figure 11. Clone B, under the constraint of constant recovery capacity, was the most efficient use of capital (and also had the highest single net present value as shown in Figure 10). Clones E and H generally had the lowest capital efficiency and lowest NPV values among the 30 comparisons, and were the only clones where all major wood characteristics were below average.

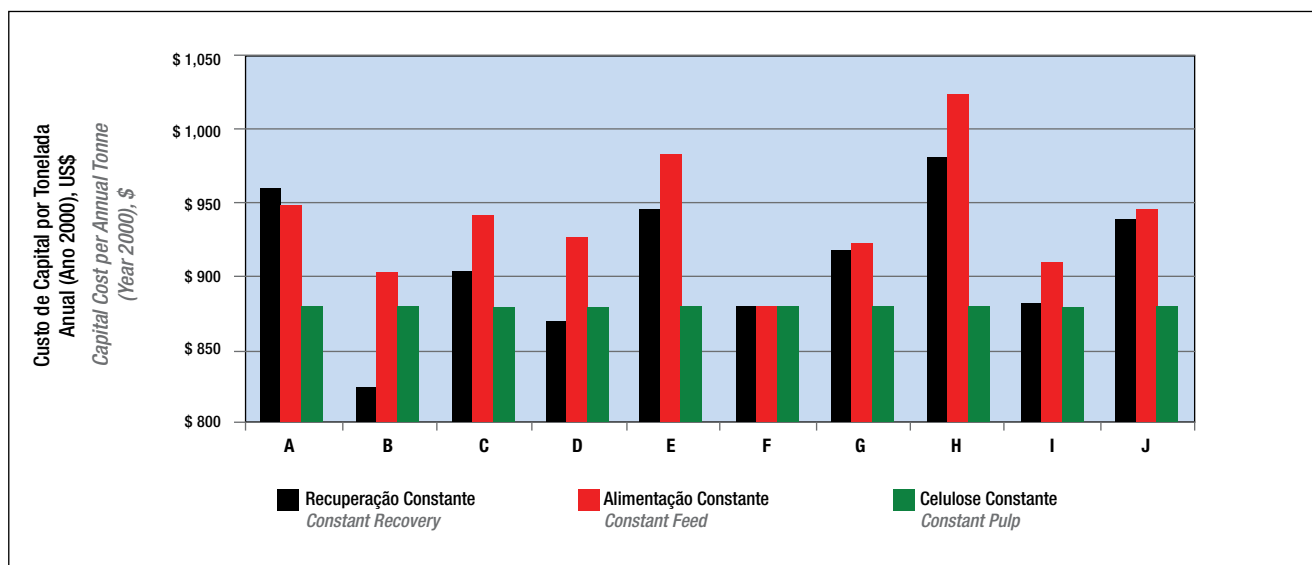


Figura 11. Custo do capital por tonelada anual de produção de celulose para cada clone
Figure 11. Capital cost per annual ton of pulp production for each clone

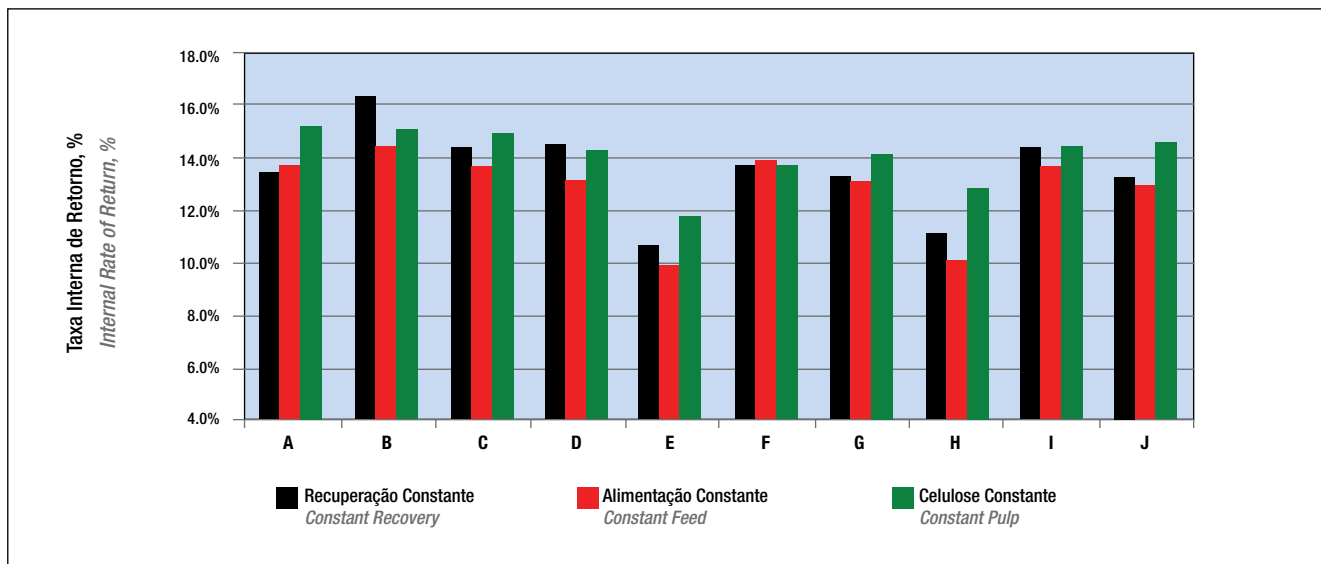


Figura 12. Taxa interna de retorno do investimento no complexo integrado floresta-fábrica
Figure 12. Internal rate of return on the integrated forest-pulp mill investment

Os melhores clones

Um dos objetivos deste estudo foi proporcionar orientação para cientistas florestais no desenvolvimento futuro de clones de eucaliptos. Para essa finalidade, deve-se considerar a Taxa Interna de Retorno (TIR) dos diferentes clones nas condições dos cenários de restrição da produção (Figura 12) e, então, tentar identificar os “melhores” e os “piores” clones. Na Figura 12, os clones que renderam mais de 12% da taxa interna de retorno, nas condições dos três cenários de restrição da taxa de produção, foram considerados “melhores” e os que rendem menos de 11% foram os “piores”.

Ouve-se, com frequência, que o sucesso das fábricas brasileiras de celulose de eucalipto baseia-se em madeira e mão de obra de baixo custo, mas essa afirmação deixa de considerar importantes fatores. Embora o eucalipto brasileiro seja de baixo custo em comparação com madeiras de vários países, são as elevadas taxas de crescimento das florestas de eucalipto, aliadas ao custo relativamente baixo da terra e da mão de obra, que tornam a relação entre volume e custo de madeira muito atrativa. No Brasil, fábricas de celulose de elevada produção podem ser construídas sem que seja necessário transportar a madeira a grandes distâncias, o que poderia tornar o empreendimento financeiro pouco atraente. Intuitivamente, pode-se esperar que o custo unitário da madeira fornecida seja determinado pela taxa de crescimento, uma vez que alto IMA possibilita aquisição de menores áreas de terra e proporciona custos de transporte mais baixos. Contudo, a variabilidade da densidade da madeira, por menor que seja, também é um fator que deve ser considerado.

Pode-se esperar que as características de composição química da madeira, principalmente o teor de lignina, determinem o rendimento em celulose e, conseqüentemente, afetem tanto o custo de fabricação quanto o de investimento

The best clones

One objective of this analysis was to provide direction to forest scientists to guide future development of eucalyptus clones. To that end, one shall look at the Internal Rate of Return of the different clones under the production constraint scenarios (Figure 12), and then try to identify the “best” and the “worst” clones. All clones which yield >12% under all three production rate constraint scenarios were considered “best” and those less than 11% were “worst”.

One frequently hears that the success of the Brazilian eucalyptus mills is based on low cost wood and labor, but this observation misses the main point. While Brazilian eucalyptus wood is low cost compared to many parts of the world, it is the prolific growth rates and relatively low cost land and labor that serve to make the volume/cost relationship attractive. In Brazil the massive production facilities can be built without the producer have to haul wood over such long distances that the financial proposition would be unattractive. Intuitively, one should expect that unit delivered wood cost will be driven by growth rate, since a high MAI would lead to lower land purchase requirements and lower transportation costs. However, wood density variability, however small, is also a factor.

One should expect that wood composition properties, especially lignin content, drives pulp yield and thus both manufacturing and investment costs to produce a finished ton of product.

para produzir uma tonelada do produto acabado. Embora as diferenças tenham sido significantes nas comparações com restrição da caldeira de recuperação, mais de US\$200 milhões de diferença do VPL entre o melhor e o pior caso, elas se intensificaram nas comparações referentes à alimentação constante do digestor.

Na Tabela 3 é apresentada uma classificação dos clones, de “melhor” para “pior”, somando-se a taxa interna de retorno dos três cenários de restrição de produção e comparando a classificação com as classificações relativas das três principais propriedades dos clones (% lignina, densidade e IMA).

As análises realizadas demonstraram claramente que os clones H e E foram inferiores aos demais. O clone B foi, de modo geral, o “melhor”, quando se somou a Taxa Interna de Retorno (TIR) para os três cenários. A ordem geral de classificação se correlacionou melhor com o teor de lignina, embora o clone A (o melhor em IMA e densidade) contrarie tal afirmação. A correlação com a densidade foi a mais fraca, mas a faixa de variação da densidade (CV = 0,03) foi bem pequena.

Este estudo indicou que, embora as propriedades do eucalipto impactem significativamente os retornos do investimento numa fábrica de celulose de mercado de eucalipto, o gargalo de produção da fábrica determina exatamente qual propriedade do clone é a mais importante. Toda fábrica de celulose possui um gargalo de produção. Tipicamente esse gargalo pode ser a taxa de alimentação de cavacos (nesse caso a maior densidade será a melhor), ou a taxa de queima de sólidos orgânicos na caldeira de recuperação (nesse caso o menor teor de lignina será o melhor) ou, ainda, a taxa de secagem da máquina secadora de celulose (nesse caso a taxa de crescimento da floresta é a mais significativa). Não considerar a floresta como um empreendimento financeiro autônomo, com expectativa de obter o mesmo retorno financeiro minimamente aceitável (Taxa de Desconto) que o da fábrica de celulose, poderá conduzir os investidores na direção errada.

While the differences were significant in the recovery limited comparisons, more than US\$200 million NPV difference between the best and worst case, they were accelerated in the constant feed comparisons.

Table 3 shows the ranking of the 10 clones, classified from “best” to “worst” by summing the internal rate of return of the three production scenarios and comparing the ranking with the relative rankings in the three main clonal properties.

Overall, it is clear that clones H and E were inferior to the others. Clone B was overall the “best” when summing the % IRR for the three scenarios. The general order correlates best to lignin content, though clone A (best in MAI and density) violates that conclusion. The correlation with density was the weakest, but the range of density variation (CV = 0.03) was quite small.

This study shows that, while Eucalyptus properties significantly impact the investment returns on a eucalyptus market pulp mill, the mill production bottleneck will dictate exactly which clonal property is most important. All mills have a production bottleneck. Typically that bottleneck will be either chip feed rate (in which case highest density is best) or recovery boiler organic solids burning rate (where lowest lignin is best) or pulp machine drying rate (in which case the forest growth rate is most significant). Without insisting that the forest be treated as a stand-alone financial enterprise with expectation for the same minimum acceptable financial return (the Discount Rate) as the pulp mill, investors may be led in the wrong direction.

Tabela 3. Classificação dos 10 clones (de “melhor” para “pior”) / Table 3. Ranking of the 10 clones (“best” to “worst”)

Clones / Clones	Total / Total	Recuperação constante Constant recovery	Alimentação constante Constant feed	Produção constante Constant pulp
B	46%	1	1	3
C	43%	2	7	2
I	43%	4	2	5
D	42%	3	2	6
A	42%	6	6	1
F	42%	5	4	8
J	41%	8	8	4
G	41%	7	5	7
H	35%	9	9	9
E	33%	10	10	10

Modelo técnico da fábrica

TAEM é um modelo de simulação de processo configurável pelo usuário que permite especificar até cinco diferentes tipos de fábricas, abrangendo quatro máquinas de papel, duas máquinas de celulose, quatro cortadeiras de folhas e até oito diferentes tipos de fibra (inclusive fibra comprada). As máquinas podem ter iniciado a operação entre 1986 e 2007, e o modelo calculará automaticamente o custo do capital e a depreciação anual a partir de um programa selecionado pelo usuário. A tecnologia do processo é selecionada pelo usuário a partir de um menu de configurações do digestor e do branqueamento. O rendimento em celulose e o número kappa podem ser especificados. O usuário também pode selecionar o desenho e a configuração da instalação de força motriz, e o programa calculará a produção de vapor e energia. O TAEM possui um modelo florestal configurável ou pode ser conectado, como no presente estudo, a um modelo de plantação externo mais detalhado. O modelo está disponível, sem custos, mediante solicitação ao Dr. Richard Phillips (autor).

Como muitos investimentos, o Rendimento por Unidade Produzida (custo do capital por tonelada anual de celulose) é o principal determinante da rentabilidade. No presente estudo, os preços reais de celulose de mercado de eucalipto, publicados entre 2000 e 2007, foram adotados para calcular os ganhos por tonelada, descontados em 14% para clientes localizados na Ásia, tendo sido idênticos para cada clone e cada cenário.

Para as celulosas de mercado, o frete é normalmente pago pelo produtor até um armazém localizado no país do cliente, sendo os custos de distribuição local negociados separadamente. Um custo do frete de US\$106 por tonelada s.a., para o ano de 2007, foi incluído como um custo direto. O frete é, normalmente, o componente de maior peso do custo e foi estabelecido o mesmo valor para todos os clones e cenários.

Os preços dos produtos se baseiam em preços reais publicados e são estimados descontos para clientes nos anos anteriores a 2007, bem como tendências de preços futuros. O usuário seleciona a localização da fábrica e dos clientes, por região, o que possibilita estabelecer o custo do frete.

Os preços das matérias-primas são os reais para o ano de 2007 e podem ser ajustados pela inflação e índices para todos os anos no passado e futuro. São disponíveis duas categorias de manutenção e produtividade da fábrica, juntamente com estratégias de re-investimento da fábrica. O quadro de pessoal é estabelecido pela configuração da fábrica e os salários e custos de benefícios podem ser padronizados ou, então, serem ajustados para diferentes regiões. Todos os custos diretos e indiretos são selecionados pelo usuário e são alocados às unidades de produção ou estabelecidos em sua totalidade.

Um demonstrativo de receita rastreia todos os rendimentos e custos anuais, bem como a depreciação e investimentos anuais,

Mill technical model

TAEM is a user-configurable process simulation model that allows the user to specify up to five different types of mill, four paper machines, two pulp machines, four sheeters, and up to eight different types of fiber (including purchased fiber). Machines may start up from 1986 to 2007 and the model will automatically calculate capital cost and annual depreciation (from a user-selected schedule). Technology is user-selected from a menu of digester and bleach plant configurations. Pulp yield and/or kappa number are selected. The user may also select power plant design and configuration, and the program will calculate steam and power production. TAEM has a configurable forest model or can be connected, as in this study, to a more detailed external plantation model. Model available at no cost upon request from Dr. Richard Phillips (author).

Like many investments, Revenue per Unit Produced (capital cost per annual ton of pulp) is the main determinant of profitability. In this study, actual published 2000-2007 eucalyptus market pulp list prices were used for revenue per ton, discounted by 14% to customers located in Asia, and was identical for each clone and each scenario.

For market pulp, freight is normally paid by the producer to a warehouse in the customer country, and local distribution costs are negotiated separately. A 2007 freight cost of US\$106 per admt was included as a direct cost. Freight was the largest component of cost, and was the same for each clone and scenario.

Product prices are based on actual list prices and estimated customer discounts for all years prior to 2007, and trend line models for future pricing. The user selects the mill location as well as location of customers by region, which serves to set freight cost.

Raw material prices are fact for 2007, and adjusted by inflation and indices for all years in the past and future. Two classes of mill maintenance and productivity are available, along with mill re-investment strategies. Staffing level is driven by the mill configuration, default salaries and benefit costs are provided, and may be adjusted for different regions. All direct and indirect costs are driven by the user selections, costs are allocated to production units as well as collected in total.

An income statement tracks all annual revenues and costs, as well as annual depreciation and in-

e calcula o desempenho financeiro anual desde o início de operação até 20 anos além do ano-base (ano 2007). São calculados Fluxos de Caixa Pós-Impostos que são usados para determinar o Valor Presente Líquido e a Taxa Interna de Retorno. Um resumo dessas informações está apresentado na Tabela A1.

Relação das características da madeira com o TAEM

A metodologia usada para relacionar o Modelo Florestal específico dos cenários e clones com o TAEM está descrita a seguir:

Cenário 1 – Carga de Recuperação Constante. O clone F foi selecionado como um clone acima da média, mas não o melhor, e foi utilizado para estabelecer a carga de recuperação da fábrica de 1 milhão de toneladas s.a. por ano. Todos os outros clones foram ajustados para a mesma carga de recuperação, ajustando do nível de produção para o ano 2007. A quantidade de madeira necessária para cada clone (que depende da composição da madeira, principalmente teor

vestments, and calculates annual financial performance from startup to 20 years past the base year (currently 2007). After Tax Cash Flows are calculated and used to determine Net Present Value and Internal Rate of Return.

Linking wood characteristics to TAEM

Following describes the methodology used to link the scenario, and clone-specific Forest Model to TAEM:

Scenario 1: Constant Recovery Loading. Clone F was selected as an above-average but not best clone available to set mill recovery load for 1 million admt pulp production. All other clone cases were set to the same recovery load by adjusting the 2007 production level. The wood requirements for each case (which in turn are based on wood composition, mainly lignin content and

Tabela A1. Resumo dos pressupostos financeiros para o modelo da fábrica / **Table A1.** Summary of financial assumptions for mill model

Fator / Factor	Discussão / Discussion
Investimento de capital <i>Capital investment</i>	Estimado pelo TAEM com base na capacidade da fábrica e na tecnologia selecionada. Embora cada variação tenha diferido em demanda da área de processo, TAEM foi ajustado manualmente para proporcionar um Custo Instalado Total (CIT) idêntico para cada uma das 30 variações. <i>Estimated by TAEM based on the mill capacity and technology selected. Although each variation differed in process area demand, TAEM was manually adjusted to give identical Total Installed Cost (TIC) for each of the 30 variations.</i>
Programação do projeto <i>Project schedule</i>	O numerário foi distribuído por um período de 4 anos, com término em 1º de janeiro de 2000. O programa de despesas tomou por base 5%-15%-30%-50%. <i>Cash was dispersed over a 4-year period ending on January 1, 2000. Spending schedule was 5%-15%-30%-50% basis.</i>
Início da produção <i>Product startup</i>	O início de operações foi estabelecido como 1º/1/2000. A taxa de produção anual para os primeiros quatro anos de operação foi acoplada a uma produtividade anual (0,4%/ano, seguindo quatro anos de ascensão) para resultar na taxa de produção de celulose objetivada para 2007. <i>Startup commenced January 1, 2000. Annual production rate for the first four years of operation were coupled with an annual productivity (selected as 0.4% per year, following four years of ramp up) to give the target pulp production rate for 2007.</i>
Tecnologia <i>Technology</i>	Os parâmetros da tecnologia foram selecionados de modo a refletir uma fábrica de celulose totalmente nova, incluindo digestor, deslignificação por oxigênio em 2 estágios e branqueamento em 5 estágios (D_0E_{0+P} DED). <i>Technology parameters were selected to reflect a vintage-2000 greenfield pulp mill, including digester system, 2-stage oxygen delignification, 5-stage D_0E_{0+P}DED bleaching process.</i>
Recuperação e energia <i>Recovery and power</i>	Licor negro e serragem da operação dos picadores foram os únicos combustíveis usados, além do forno de cal que queimou gás natural. O vapor da queima do licor negro foi suficiente para prover todo o vapor de processo e o excesso foi condensado para geração de energia adicional. Pressupôs-se madeira descascada na floresta e a serragem dos picadores foi queimada para prover energia adicional. Em todos os casos, foi instalada na fábrica uma geração de energia de 120 MW e o excesso de demanda de energia foi suprido com energia comprada. <i>Black liquor and sawdust from chipper operation were the only fuels used outside the lime kiln (which burned natural gas). Steam from black liquor was sufficient to provide all process steam and provide excess that was condensed for additional power generation. Wood was assumed debarked in the forest and the chipper sawdust was burned to provide additional power. In all cases, 120 MW power generation was installed at the mill and excess power demand was met from a purchased power tie.</i>

Custo da madeira <i>Wood cost</i>	Calculado para cada clone e cenário como custo de Madeira Fornecida, estimado pelo Modelo Florestal e transferido para a fábrica. <i>Calculated for each clone and scenario as the Delivered Wood Cost estimated by the Forest Model and transferred to the mill.</i>
Re-investimento de capital <i>Capital re-investment</i>	Re-investimento anual de 0,5% do Valor do Ativo de Reposição que se supôs gerar a base para a melhoria da produtividade mencionada acima mais a redução de custos de 3 anos de recuperação do investimento (antes de imposto). Essas pressuposições foram arbitrárias, mas consistentes com a Melhor Prática. <i>Annual re-investment of 0.5% of Replacement Asset Value was made and assumed to generate the basis for the productivity improvement cited above plus cost reduction of 3-year payback (before tax). These assumptions are arbitrary but consistent with Best Practice.</i>
Depreciação <i>Depreciation</i>	A depreciação em todos os investimentos de capital, com exceção da terra, foi calculada iniciando-se no ano em que o ativo foi utilizado. Um sistema de 7 anos de Recuperação de Custo Acelerado Modificado (RCAM) foi adotado em todos os investimentos depreciáveis, com exceção da infra-estrutura (sequência de 20 anos). <i>Depreciation on all capital investments (except land) was calculated starting with the year the asset was placed in service. A 7-year Modified Accelerated Cost Recovery System (MACRS) was used on all depreciable investments except infrastructure (20-year straight line).</i>
Taxa do imposto <i>Tax rate</i>	O imposto foi computado em 35% da Receita Antes dos Juros e Impostos (RAJI). Quando a RAJI era negativa, a perda do imposto foi acumulada e transportada. <i>Tax was computed at 35% of Earnings Before Interest and Taxes (EBIT). When EBIT was negative, tax loss was accumulated and carried forward.</i>
RAJIDA <i>EBITDA</i>	Receita Antes dos Juros, Imposto, Depreciação e Amortização (RAJIDA) é frequentemente usada como indicação do desempenho financeiro do ativo, porque representa a receita operacional fundamental da fábrica, livre de impostos e ajustes financeiros feitos externamente à área de operações. <i>Earnings Before Interest, Tax and Depreciation and Amortization. Frequently used as a barometer of asset financial performance because it represents fundamental mill operational earnings, free of taxes and financial adjustments made outside the operations area.</i>
Fluxo de caixa <i>Cash flow</i>	Soma da renda pós-imposto (renda líquida) + depreciação anual. <i>Sum of after-tax income (net income) + annual depreciation.</i>
Fluxo de caixa livre <i>Free cash flow</i>	Soma do fluxo de caixa (inclusive investimentos feitos antes do início das operações) menos investimento anual em novo capital fixo. <i>Sum of cash flow (including investments made before startup) less annual investment in new fixed capital.</i>
Valor presente líquido com taxa de desconto de 12% <i>Net present value at 12% discount rate</i>	Todos os Fluxos de Caixa Livres, antes, durante e após o início de operações são descontados para o Ano 2000, adotando-se a taxa de desconto de 12%. A seleção da taxa de desconto é feita de maneira a refletir uma expectativa de retorno financeiro ajustada ao risco. <i>All Free Cash Flows before, during, and after startup are discounted to Year 2000 by using 12% discount rate. The selection of discount rate is made to reflect a risk-adjusted expectation of financial return.</i>
Vida do projeto <i>Project life</i>	Apenas para fins de avaliação financeira, a vida do projeto é estabelecida em 10 anos após o início de operações no Ano 2000 (isto é, até e inclusive 2009). <i>For financial evaluation purposes only, the project life is set at 10 years following Year 2000 startup (i.e. up to and including 2009).</i>
Valor terminal <i>Terminal value</i>	Para fins de avaliação financeira, um Valor Terminal do Projeto no Ano de 2009 é calculado como sendo 5 x RAJIDA no ano de 2009. O Valor Terminal representa, teoricamente, um Valor de Venda que poderia ser aplicado à fábrica. <i>For financial evaluation purposes, a Project Terminal Value in Year 2009 is calculated as 5 x EBITDA in year 2009. The Terminal Value theoretically represents a Sales Value that could be placed on the mill.</i>
Taxa interna de retorno <i>Internal rate of return</i>	Taxa de Desconto com a qual o Valor Presente Líquido seria igual a zero. <i>Discount Rate at which Net Present Value would be zero.</i>

de lignina, e da composição da polpa) foi relacionada com modelo florestal específico dos clones ao nível de demanda do ano 2007. Com estas informações, o Modelo Florestal utiliza a densidade da madeira e a taxa de crescimento da floresta para estimar a área anual de terra necessária e a distância de transporte para suprir a demanda de madeira para cada ano de produção. Cada clone tem um custo específico de madeira fornecida, determinado pelo valor da madeira em pé, custo fixo da colheita e custo de transporte baseado na distância média. O custo calculado da madeira é realimentado no TAEM e usado como parte do cálculo dos custos de produção.

Cenário 2 – Alimentação Constante de Cavacos no Digestor. A taxa de alimentação volumétrica (metro cúbico por unidade de tempo) do clone F serviu de base para todos os cálculos referentes aos outros clones. No modelo florestal de cada clone usou-se a densidade da madeira específica do clone para estabelecer o volume anual de madeira equivalente ao clone F. Assim, foi determinada a massa real de madeira para a fábrica de celulose, que foi alimentada no TAEM específico do clone. A taxa de produção foi ajustada para combinar com o fluxo volumétrico de madeira para o clone F.

Cenário 3 – Produção Constante de Celulose. Todos os modelos TAEM foram ajustados para uma produção de celulose de 1 milhão de t/ano, tendo como resultado a massa de madeira. A massa de madeira de cada clone foi alimentada no modelo florestal, obtendo-se as características econômicas específicas de cada clone.

Modelo florestal

Foi construído um modelo florestal genérico para cada clone, utilizando a área de terra necessária que foi determinada com base na quantidade de madeira necessária, na taxa de crescimento da floresta e na densidade da madeira. Foi estabelecida uma rotação da floresta de sete anos, com a primeira aquisição de terra e o início dos plantios sete anos antes da data de início de operação da fábrica, fixada para 1º de janeiro de 2000. Áreas adicionais de terra para plantações futuras foram adquiridas na medida da necessidade. Os custos da terra foram baseados no custo médio de 2007, publicados no Brasil, tendo sido ajustados pelas taxas de inflação brasileiras e taxas de câmbio (reais para dólares americanos). Não foi feita qualquer alteração, dentro do modelo de clone, da taxa de crescimento ano a ano. Todos os custos de depreciação foram estimados com base em custos publicados, também ajustados pela inflação e taxa de câmbio. Os custos de colheita foram constantes em todos os casos e os custos de transporte foram calculados com base na distância média entre a plantação e a fábrica, adotando-se US\$0,15 por tonelada de madeira úmida por quilômetro. Não se pressupôs qualquer processo de replantio após a primeira colheita, dependendo-se da brotação natural para obtenção do segundo e terceiro ciclos de rotação.

O custo da madeira foi baseado no preço de transferência da floresta para a fábrica, estabelecido para se obter uma Taxa Interna de Retorno (TIR) de 12% sobre o investimento

pulp compositional analysis) are linked back to the clone-specific forest model as a 2007 demand level. From this, the Forest Model uses wood density and wood growth rate to estimate the land requirements, by year, and hauling distance required to supply the demand level of wood for each year of production. Each clone case has a specific delivered wood cost based on stumpage, fixed harvesting cost, and a transportation cost based on average distance. The calculated wood cost is fed back to TAEM and used as part of calculating production costs.

Scenario 2: Constant Chips Feed to Digester. Clone F volumetric feed rate (m^3 per unit time) was used as the basis for all other clone calculations. Each clone forest model used clone-specific wood density to establish annual wood volume equivalent to clone F. This establishes actual wood mass to the pulp mill, which was fed to the clone-specific TAEM. Production rate was adjusted to match the volume wood flow to clone F.

Scenario 3 – Constant Pulp Production. In these cases, all TAEM models were set to 1 million admt of pulp production, with wood mass as an output. The wood mass output was linked to the forest model, and thus drove the model output to reflect the economics of the clone-specific wood supply.

Forest model

A generic forest model was constructed for each clone by calculating land requirements, based on wood requirements, and as influenced by the clone-specific growth rate and density. A seven-year planting rotation was assumed, with the first land acquisition and planting begun 7 years before the startup date of January 1, 2000. Additional land was purchased as needed for future planting. Land costs were based on the average 2007 published cost in Brazil, with all years adjusted for actual Brazilian inflation rates and Brazilian reais per U.S. dollar exchange rates. No change was made within a clone model in the growth rate year to year. All depletion costs were estimated based on published costs, also adjusted for inflation and exchange rate. Harvesting costs were constant in all cases and transportation costs were calculated based on the average distance from the plantation to the mill site, using US\$0.15 per green ton per kilometer. No replanting was assumed following harvest, depending on natural regeneration from coppice to provide the second and third rotation cycles.

The cost of wood to the mill in each case was based on the transfer price from the forest required to achieve a 12% Internal Rate of Return on the

Tabela 2. Resumo dos pressupostos financeiros para o modelo florestal / **Table 2A.** Summary of financial assumptions for forest model

Fator / Factor	Discussão / Discussion
IMA / MAI	Os valores para cada clone foram obtidos de: Gomide (2005) / Values for each clone, taken from Gomide (2005)
Densidade da madeira Wood density	As densidades para cada clone foram obtidas de: Gomide (2005) / Values for each clone, taken from Gomide (2005)
Terra Land	Comprada pelo preço de US\$2.500 por hectare (base de 2007), valor representativo da média das regiões Sul e Sudeste do Brasil. Tratada como um investimento para o cálculo do fluxo de caixa. A área de terra necessária foi estimada para cada cenário dos dez clones, pressupondo-se uma cobertura florestal de 80% e o IMA específico dos clones. Pressupôs-se que a terra valorizasse à razão de 1% ao ano e pudesse ser vendida valorizada no ano 7. A venda da terra foi tratada como um valor terminal para o cálculo do fluxo de caixa no ano 7 a contar do início de operações da fábrica / Purchased at US\$2,500 per hectare (2007 basis), based on average from Brazil south and southeast areas. Treated as an investment for cash flow calculation. Land requirements are estimated for each scenario and all 10 clones, assuming 80% forest coverage and the clone-specific MAI. Assumed that land appreciates at 1% per year and can be sold in year 7 at the appreciated value. The land sale is treated as a terminal value for cash flow calculation in year 7 following the mill startup.
Custos de plantio Planting costs	US\$1.000 por hectare (base de 2007), com base na média dos custos brasileiros publicados. US\$1,000 per hectare (2007 basis) based on average Brazilian published costs.
Custos do consumo Depletion costs	O custo das mudas, a preparação do local, os produtos químicos, a mão de obra de plantação e os aluguéis foram mantidos como um custo do ano em que o trabalho foi realizado. Os custos de consumo associados a uma área plantada específica foram tratados como um investimento no ano em que se plantou e como uma despesa, antes de impostos, no ano de colheita. Cost of seedlings, site preparation, chemicals, and planting labor and rentals are carried as a cost in the year work was done. Depletion costs associated with a specific planted area are treated as an investment in the year planted and as a before-tax expense in the year harvested.
Valor da madeira em pé Stumpage	Custo de transferência da floresta para a fábrica, por ocasião da colheita, para proporcionar uma taxa interna de retorno de 12% para a floresta. The transfer cost required at the time of harvest to produce a 12% internal rate of return to the forest.
Custo da colheita Harvesting cost	Custo constante da madeira fornecida, à razão de US\$6 por tonelada verde. Treated as a constant cost of delivered wood, at US\$6 per green ton.
Custo de transporte Transportation cost	Tratado como um custo constante, no valor de US\$0,15/tonelada verde por quilômetro transportado, mais US\$6 de custo fixo para cada viagem. Treated as a constant cost on a US\$0.15 per green ton per kilometer hauled basis, plus US\$6 per green ton fixed cost for each trip.
Custo total da entrega, US\$/t verde Total delivery cost, US\$/ per green ton	Soma dos valores da madeira em pé, do custo da colheita e do custo de transporte. Sum of stumpage, harvesting and transportation cost.
Taxa de imposto Tax rate	A taxa de imposto do lucro da floresta foi de 25%. A taxa nominal de imposto brasileiro sobre o lucro é de 25%, mais um imposto social de 9%. Até 70% do imposto sobre o lucro pode ser perdoado pelo governo estadual brasileiro. As despesas em relação ao valor da madeira em pé foram calculadas de maneira a resultar na taxa interna de retorno pós-imposto de 12%. Tax rate of forest profit was 25%. Brazilian nominal tax rate on profit is 25% plus a 9% social tax. Up to 70% of the profit tax can be forgiven by the Brazilian state government. Stumpage charges for the wood were calculated to yield the 12% after tax internal rate of return.

florestal. Esta metodologia é a indicada para se avaliar um investimento num complexo integrado floresta-fábrica, mas difere de relatórios comumente publicados, que indicam valores muito mais baixos para os custos da madeira brasileira. A taxa de desconto de 12% é apropriada quando tanto a floresta quanto a fábrica constituírem parte da mesma empresa, mas poderia ser diferente se volumes significativos de madeira fossem comprados de terceiros, que poderiam aceitar um retorno menor. Por exemplo, fábricas norte-americanas adquirem madeira de empresas que não investem em fábricas e que poderiam ficar satisfeitos com uma taxa de 6%. ▲

forest investment. This methodology is the correct way to assess an integrated forest-mill investment, but differs from commonly published reports that show much lower values for Brazilian wood costs. The 12% discount rate is appropriate where both forest and mill are part of the same company, but could be different if significant volumes of wood are purchased from woodlot owners who may accept a lower return. For example, U.S. mills buying from entities which are not mill's investors, and might therefore be satisfied with a 6% IRR. ▲

REFERÊNCIAS / REFERENCES

- GOMIDE, J.L., COLODETTE, J.L, OLIVEIRA, R.C. & SILVA, C.M. Caracterização tecnológica para produção de celulose da nova geração de clones de *Eucalyptus* do Brasil. Revista *Árvore*, v.29, n.1, p.129-137. 2005.
- GOMIDE, J.L., COLODETTE, J.L, OLIVEIRA, R.C. & SILVA, C.M. Technological characterization of the new generation of Brazilian *Eucalyptus* clones for kraft pulp production. In: 2005 Tappi Pulping Conference, Philadelphia, PA, USA. Conference Proceedings, 2005.