

# DETERMINAÇÃO DE CUSTOS MARGINAIS EM NÍVEIS ALTERNATIVOS DE PRODUÇÃO.

Julian Sessions<sup>1</sup>  
Luiz S. Filippetto<sup>2</sup>

## SUMMARY

*Linear Programming is used to determine marginal costs of pulwood production for alternative levels of harvest. Three types of harvesting equipment are allocated to eight production possibilities. Marginal costs of alternative levels of production are graphed and can be compared to acceptable pulwood costs for alternative market pulp prices.*

## 1. INTRODUÇÃO

A oscilação do preço de mercado do papel e celulose ocasiona a necessidade de análises e determinações dos custos de exploração da madeira a curto prazo. Na Companhia Florestal Monte Dourado — Jari, pesquisas operacionais são desenvolvidas através da Programação Linear. Minimização de custos, alocação de equipamentos, correlação entre sistemas e determinações de custos marginais a níveis alternativos de produção, são resultados destas pesquisas. Informações que quando usadas em conjunto com a tendência de mercado, custos de industrialização, níveis e custos de estocagem de madeira, papel e celulose permitem determinar níveis de produção a curto prazo. O presente trabalho é um simples modelo de aplicação à exploração florestal, onde equipamentos e sistemas são alocados para a determinação de custos marginais durante o período de época chuvosa (30 semanas), quando um volume máximo de 630.000 toneladas de madeira está disponível à exploração, estabelecido para nível de produção o intervalo de 14 a 21 mil toneladas semanais. Outras aplicações deste tipo de análise poderão ser usadas para a determinação simultânea de níveis de produção para inverno-verão, com a determinação do nível ótimo de estoque de madeira.

## 2. MATERIAL E MÉTODO

### 2.1 Equipamentos

**2.1.1 Big Stick** — Caminhão Mercedes Benz 1313, tração 4 x 4, dotado de

carroceria metálica com torre central, lança e guincho acionado pela tomada de força do veículo.

**2.1.2 Forwarder** — Trator florestal autocarregável com motor de 137 HP, tração 4 x 4, chassi articulado, transmissão automática e sistema hidráulico de levantamento com capacidade máxima de 6.000 kgfm.

**2.1.3 Skidder** — Trator florestal com motor de 98 HP, tração 4 x 4, chassi articulado, transmissão automática e guincho de arraste com capacidade máxima de 5 toneladas.

**2.1.4 Carreta** — Caminhão Mercedes Benz 2624, tração 6 x 6, quinta roda hidráulica, dotado de semi-reboques RANDOM de dois eixos com capacidade de 30 toneladas.

### 2.2 Sistemas de Exploração

**2.2.1 Big Stick** — Aplicável às áreas planas com preparação de madeira própria ao sistema, com trilhas equidistantes de 45 metros para o deslocamento do equipamento **Big Stick**. Empilhamento em toda a área, com pilhas de aproximadamente 0,6 toneladas, preparadas sobre tora suporte para facilitar a instalação do cabo de arraste.

**2.2.2 Big Stick Sidehill** — Aplicável às áreas inclinadas com preparação de madeira também próprio ao sistema. Deslocamento do equipamento **Big Stick** em estradas de encosta, com equidistância de 45 metros.

1 Superintendência de Exploração Florestal, Companhia Florestal Monte Dourado, Jari-PA.

2 Departamento de Exploração Cultivada, Companhia Florestal Monte Dourado, Jari-PA.

**2.2.3 Forwarder** — Aplicável a áreas de difícil acesso, alagadiças ou de topografia irregular com declividade inferior a 30%. Para o transporte aos terminais ferroviários, aplica-se o sistema de Set-out Trailer, ou seja, semi-reboques estacionários na área de operação com carregamento direto.

**2.2.4 Skidder** — Aplicável também às áreas de difícil acesso com volume por árvore superior a 0,2 toneladas. Arraste de madeira longa ao pátio de campo, com carregamento realizado por guias em carretas, transportada aos terminais ferroviários com posterior retalhamento na área industrial.

## 2.3 Alternativas de Aplicação dos Sistema

### 2.3.1 Big Stick

2.3.1.1. Em plantios de solo argiloso, área plana, com transporte aos terminais ferroviários.

### 2.3.2 Big Stick Sidehill

2.3.2.1 Em plantios de solo argiloso, área inclinada, com transporte aos terminais ferroviários.

### 2.3.3 Forwarder

2.3.3.1 Em plantios de solo arenoso, área de fácil operação.

2.3.3.2 Em plantios de solo argiloso, área de difícil operação.

2.3.3.3 Em plantios de solo arenoso, ao longo da ferrovia, com distância de arraste inferior a 1.000 metros e carregamento direto em vagões estacionários.

### 2.3.4 Skidder

2.3.4.1 Em plantios de solo argiloso com volume superior a 0,2 toneladas/árvore.

## 2.4 Disponibilidade de equipamentos, produtividade e custo operacional

Alternativa	Equipamentos	Produtividade ton/semana	Cr\$/ton	Variável
2.3.1.1	118	112	1.784,90	X <sub>5</sub>
2.3.1.1	118	168	1.973,40	X <sub>7</sub>
2.3.1.3	118	160	1.654,90	X <sub>4</sub>
2.3.2.1	118	100	1.914,90	X <sub>3</sub>
2.3.3.1	12	300	1.755,00	X <sub>1</sub>
2.3.3.2	12	165	2.061,80	X <sub>2</sub>
2.3.3.3	12	400	1.244,60	X <sub>6</sub>
2.3.4.1	10	150	1.981,20	X <sub>8</sub>

Nota: Na produtividade e nos custos operacionais apresentados no quadro acima são considerados todos os fatores intrínsecos às condições operacionais, como: clima adverso, disponibilidade mecânica, problemas logísticos e de pessoal.

## 2.5 Pesquisa Operacional

### 2.5.1 Método

Programação Linear.

### 2.5.2 Tipo

Variáveis envolvidas, sujeitas a restrições.

### 2.5.3 Restrições

— Volume localizado em solo arenoso para FW ou BS ..... 300.000 ton  
 — Volume localizado em solo argiloso para BSS ..... 26.000 ton  
 — Volume localizado em solo argiloso para FW ou BS ..... 200.000 ton  
 — Volume localizado em solo arenoso para FW direto trem .. 40.000 ton  
 — Big Stick ..... 118 unid.  
 — Forwarder ..... 12 unid.  
 — Skidder ..... 10 unid.  
 — Carretas ..... 15 unid.  
 — Capacidade de produção dos sistemas de exploração — Nível de Produção.

### 2.5.4 Formulação

Figura 1

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 Resultados

Figura 2

### 3.2 Discussão

No estudo da determinação dos custos marginais de exploração, em níveis alternativos de produção, verifica-se um menor grau de dificuldade na elaboração de equipamentos a custo mínimo nativos devem ser satisfeitos e restrições impostas proporcionam recursos capazes de absorver equipamentos de baixo custo relativo, o que não ocorre quando do aumento dos níveis alternativos as restrições impostas. A aplicação de novos equipamentos, em novos sistemas, para satisfazer níveis alternativos crescentes àquelas restrições, determina a interdependência entre os sistemas, onde os meios disponíveis não são suficientes para permitir que todas as atividades sejam desenvolvidas da maneira mais eficiente possível, condição em que a alocação de equipamentos a custos mínimos de produção somente é possível com o emprego do Método da Programação Linear.

No caso específico esta interdependência ocorre após o nível de 18.000 toneladas semanais, onde são necessários três tipos de equipamentos, aplicados em quatro sistemas e uma variação alternativa (**Forwarder** ao trem), determinando ao custo marginal o valor de Cr\$ ..... 1.921,20 por tonelada equivalente ao custo unitário de produção com **skidders**, último meio de produção introduzido, como em níveis anteriores o valor de Cr\$ .... 1.784,90 por tonelada corresponde ao custo unitário de exploração com **Big Stick** em solos arenosos. Ao nível de 20.000 toneladas semanais a interdependência entre os sistemas aplicados acarreta a transferência de seis unidades de **Forwarders** para área de difícil operação, deixando espaço para aplicação de um número maior de **Big Sticks** em solos argilosos, e ainda, o incremento de sete unidades de **Skidders**, determinando ao custo marginal o valor de Cr\$ 2.116,40 por tonelada superior a qualquer dos custos unitários de exploração dos sistemas adotados.

O nível de 21.000 toneladas semanais só é alcançado com a transferência de todas as unidades de **Forwarders** às áreas de difícil operação, que com o incremento de novas unidades de **Big-**

**Sticks** atuando no transporte a pátios rodoviários, proporcionam maior capacidade de produção. Entretanto, verifica-se um aumento vertical no custo marginal que atinge o valor de Cr\$ 4.061,10 por tonelada.

A determinação do custo marginal a níveis alternativos de produção, constitui-se em instrumento valioso na determinação de níveis de produção a curto prazo (Figura 3). Exemplificando: para um preço de Cr\$ 52.500,00 por tonelada de celulose, deduzindo-se os custos da madeira e de industrialização, resta à exploração da madeira por tonelada de celulose o valor máximo de Cr\$ 9.400,00 que, sem decréscimo no lucro, determina para nível de produção 17.000 toneladas semanais.

### 4. RESUMO

Os custos marginais de exploração da madeira para papel e celulose a níveis alternativos de produção são determinados pelo método da Programação Linear. Três tipos de equipamentos são alocados em oito aplicações alternativas de sistemas de exploração. Os custos marginais dos níveis alternativos de produção estão apresentados em gráficos, podendo ser igualados a custos aceitáveis de exploração da madeira, a preços alternativos do mercado de papel e celulose.

### 5. LITERATURA CITADA

1. ACKOFF, R.L. & SASIENI, M.W. **Pesquisa operacional** R.J., Livros técnicos e Científicos, 1975, 523 p.
2. DANTZIG, G.B. **Linear programming and extensions**. 2 ed. New Jersey Princeton Univ. Press, 1968.
3. HILLIER, F.S. & LIEBERMAN, G. J. **Operations Research**. San Francisco, Holden-Day, 2.<sup>a</sup> ed., 1974, 799 p.
4. MEREDITH, D.D.; WONG K.W., WOODHARD R.W. & WORTMAN, R.H. **Design and Planning of Engineering Systems**. Englewood Cliffs, Prentice-Hall, 1973, 393 p.
5. SIMMONNARD, M. **Programacion Lineal**. Madrid, Paraninfo, 1972.

# FORMULAÇÃO MATEMÁTICA

FUNÇÃO OBJETIVO:  $\text{Min } (300)(1755,00) x_1 + (165)(2.061,80) x_2 + (400)(1.224,60) x_3 + (160)(1.654,90) x_4 + (112)(1.784,90) x_5 + (100)(1.914,90) x_6$   
 $+ (168)(1.973,40) x_7 + (150)(1.981,20) x_8$

SUJEITO A :

RESTRIÇÕES :

(30)	(	$400x_3 + 160x_4$	)	$\leq 300.000$	ÁREA ARENOSA
(30)	(	$100x_6$	)	$\leq 26.000$	BIG-STICK SIDE HILL
(30)	(	$300x_1 + 112x_5 + 168x_7$	)	$\leq 200.000$	ÁREA ARGILOSA
(30)	(	$400x_3$	)	$\leq 40.000$	FRWDRc/CARREGAMENTO DIRETO AO TREM.
		$x_4 + x_5 + x_6 + x_7$		$\leq 118$	NO. BIG-STICK
		$x_1 + x_2 + x_3$		$\leq 12$	NO. FORWARDERS
		$\frac{300}{500}x_1 + \frac{165}{500}x_2 + \frac{160}{600}x_7 + \frac{150}{450}x_8$		$\leq 15$	MB-2624 TRUCKS
		$x_8$		$\leq 10$	NO. SKIDDERS
		$300x_1 + 165x_2 + 400x_3 + 160x_4 + 112x_5 + 100x_6 + 168x_7 + 150x_8$		$\geq$	NÍVEIS TONELADAS/SEMANA

Fig. 1

## ALTERNATIVAS DE PRODUÇÃO PARA O PERÍODO

TONELADAS POR SEMANA	GABIA DE GAINA Cr\$/SEMANA	CUSTO MÉDIO Cr\$/TONELADA	CUSTO MARGINAL Cr\$/TONELADA	CUSTO MARGINAL Cr\$/TONELADA POLPA	FORWARDERS EM ÁREAS DE FÁCIL OPERAÇÃO	FORWARDERS EM ÁREAS DE DIFÍCIL OPERAÇÃO	FORWARDERS DIRETO AO TREM	BIG-STICK EM ÁREAS ARGILOSAS	BIG-STICK EM ÁREAS ARENOSAS	BIG-STICK PARA TERMINAIS RESERVADOS	BIG-STICK SIDE HILL	GRIDDERS
14.000	23.037.040	1.645,80	1.784,90	8.924,50	9	0	3	13	54	0	0	0
16.000	26.606.970	1.662,70	1.784,90	8.924,50	9	0	3	30	54	0	0	0
18.000	30.381.000	1.687,40	1.981,20	9.906,00	9	0	3	36	54	0	9	3
20.000	34.473.920	1.723,80	2.116,40	10.582,00	3	6	3	52	54	0	9	10
21.000	37.911.640	1.805,70	4.065,10	20.325,50	0	12	0	22	62	25	9	10

Fig. 2

# CUSTOS DE MADEIRA POR TONELADA POLPA

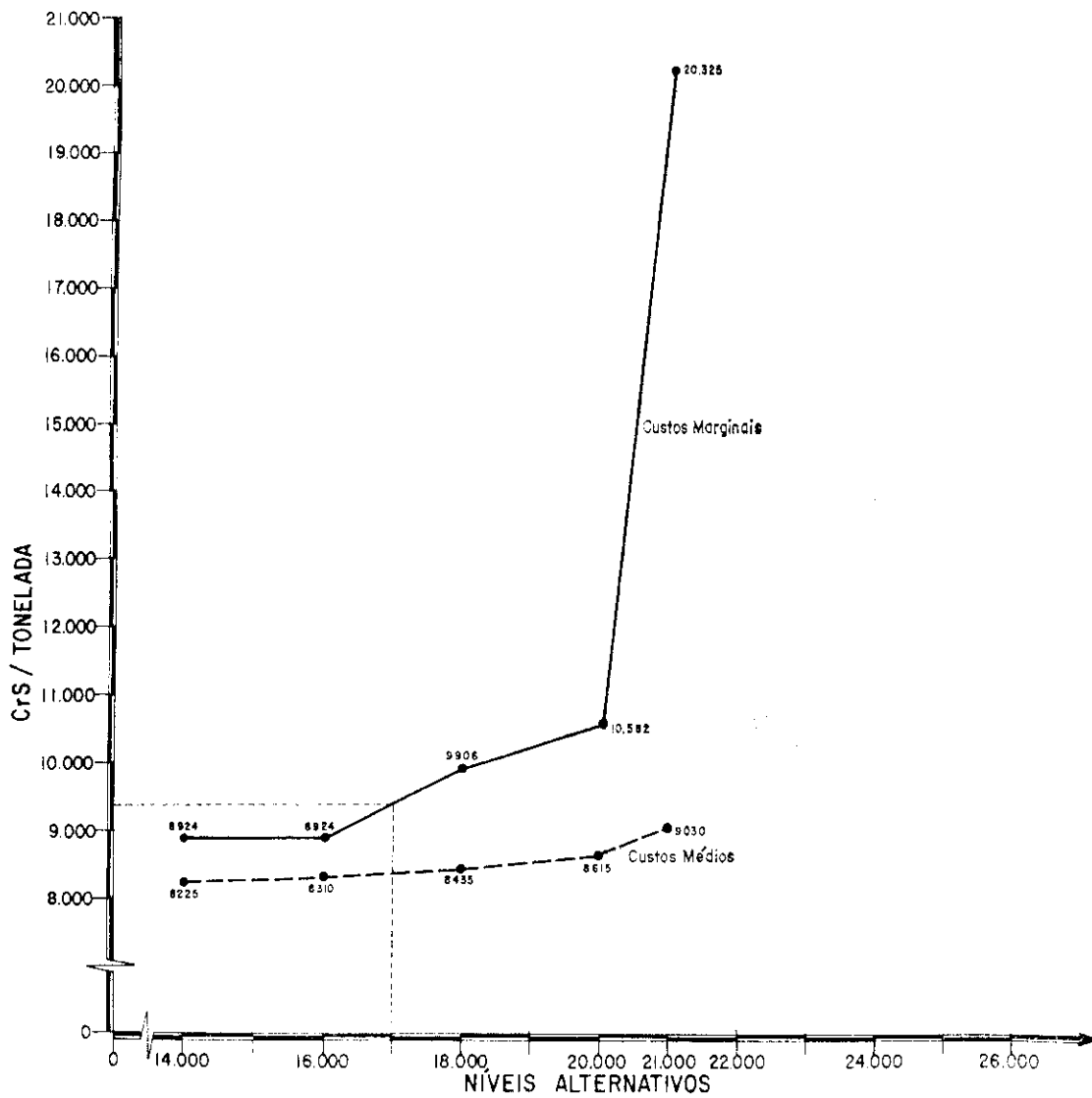


Fig. 3