

# PLANEJAMENTO DO SUPRIMENTO DE MATÉRIA-PRIMA EM UMA INDÚSTRIA FLORESTAL UTILIZANDO PROGRAMAÇÃO EM METAS E CONSIDERANDO O ESTOQUE DE CARBONO

Anabel Aparecida de Mello<sup>1</sup>, Celso Carnieri<sup>2</sup>, Julio Eduardo Arce<sup>3</sup>, Carlos Roberto Sanquetta<sup>4</sup>, Karla Simone Weber<sup>5</sup>

(recebido: 23 de abril de 2008; aceito: 26 de setembro de 2008)

**RESUMO:** Este estudo foi realizado na Indústria Pedro N. Pizzatto, município de General Carneiro, Paraná e objetivou-se modelar o planejamento florestal através da programação em metas (Goal Programming), considerando o estoque de carbono existente nas florestas. Utilizou-se o Software SISPINUS para prognosticar o volume, a altura e o diâmetro de 11 projetos submetidos a 5 diferentes regimes de manejo, considerando 21 anos e a quantidade de carbono remanescente e retirado. De posse dos resultados encontrados pelo SISPINUS estabeleceram-se metas para a variável carbono, metas econômicas (baseada no faturamento anual da empresa) e metas de demanda para cada sortimento. As metas de carbono e de demanda foram definidas a partir dos valores encontrados para o melhor resultado do horizonte de planejamento. As metas estabelecidas não foram atingidas, indicando que as mesmas foram muito ambiciosas para a situação encontrada nesse estudo e não que os modelos não sejam considerados indicados para o caso.

Palavras-chave: planejamento florestal, manejo florestal, *pinus taeda*, pesquisa operacional.

## PROGRAMMING THE SUPPLY OF RAW MATERIAL OF A FORESTRY INDUSTRY USING GOAL PROGRAMMING AND CONSIDERING CARBON STOCK

**ABSTRACT:** This study was carried out in the Pedro N. Pizzatto industry, located at General Carneiro county, in the State of Paraná. The objective was to develop a planning model using goal programming, taking into consideration carbon stock in the forests under different management regimes. The data were obtained from 11 stands and the SISPINUS growth and yield simulator was used to predict volume, mean tree height and dbh of these stands managed under five different options for a planning horizon of 21 years and the removed and remaining carbon stocks. From the results provided by SISPINUS, carbon stock goals, economic goals (based upon the annual income of the company) and demand goals for each log use (assortment) were established. The carbon and demand goals were defined for the best previously selected scenario. The established goals were not attained. This result indicated that the defined goals were too ambitious to be accomplished, however, the models are considered suitable to be used in such case.

Key words: Forest planning, forest management, *Pinus taeda*, operational research.

### 1 INTRODUÇÃO

Atualmente, nas empresas reflorestadoras, a qualidade final dos produtos e o correspondente valor agregado aos mesmos passaram a ser fatores fundamentais na tomada de decisões, assim como a preocupação com o meio ambiente, que passou a ser também uma exigência de consumidores externos. A busca do maior retorno econômico possível faz com que um planejamento coerente, visando à obtenção de múltiplos produtos e a maximização dos lucros seja necessária. A quantidade de fatores que devem ser considerados no planejamento das atividades florestais torna necessária a aplicação da Pesquisa

Operacional, termo associado à aplicação de técnicas matemáticas a problemas de decisão (ARCE, 1997).

Segundo Mendonza & Sprouse (1989), a utilização de modelos estatísticos e matemáticos no planejamento florestal fornece ao tomador de decisões informações pertinentes que ajudam a compreender melhor os efeitos da implantação de uma atividade proposta.

Outra grande preocupação das empresas de reflorestamento se refere à sustentabilidade, levando-se em conta fatores sociais, econômicos e ambientais. O estoque de carbono nas florestas tem sido um assunto bastante discutido nos últimos congressos e reuniões do setor florestal e além do aspecto ambiental, o carbono

<sup>1</sup>Universidade Federal de Sergipe – Av. Marechal Cândido Rondon, s/n – 49100-000 – São Cristóvão, SE anabel\_mello@yahoo.com.br

<sup>2</sup>Universidade Federal do Paraná – Setor de Ciências Exatas – Centro Politécnico – Jardim das Américas 81531-990 – Curitiba, PR – carnieri@mat.ufpr.br

<sup>3</sup>Universidade Federal do Paraná – Departamento de Ciências Florestais – Av. Lothário Meissner, 632 – Jardim Botânico – 80210-170 – jarce@ufpr.br

<sup>4</sup>Universidade Federal do Paraná – Departamento de Ciências Florestais – Av. Lothário Meissner, 632 – Jardim Botânico – 80210-170 – sanquetta@ufpr.br

<sup>5</sup>International Paper do Brasil Ltda. – Rod. Sp 340 – Mogi-Guaçu, SP – karlasimone@gmail.com

acumulado na biomassa florestal constitui-se em uma fonte de renda, conforme discutido na Conferência de Kyoto, realizada em 1997. Segundo Rochadelli (2001), o estabelecimento de florestas pode contribuir significativamente com os acréscimos nos estoques de carbono, por meio da sua capacidade de armazenar o mesmo durante o processo de produção de biomassa. Sendo assim, os reflorestamentos assumem grande importância nas discussões sobre mudanças climáticas globais, pois apresentam grande potencialidade como sequestradores de carbono.

Considerando os fatores acima mencionados, objetivou-se, nesse trabalho, modelar, a longo prazo, o planejamento florestal otimizado de uma empresa de reflorestamentos através da programação por metas.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Área de Estudo

A área do presente estudo é de propriedade das Indústrias Pedro N. Pizzatto e está localizada no Município de General Carneiro, região Centro-Sul do Paraná.

O estudo foi realizado em plantações de *Pinus taeda* pertencentes à empresa, situadas entre as coordenadas 26°20'35" e 26°26'13" Lat. S., e 51°19'49" e 51°25'29" Long. W. O clima da região, é caracterizado como subtropical úmido mesotérmico, de acordo com a classificação de Köppen. Possui temperatura média dos meses mais

quentes inferior a 22°C e superior a 18°C (PARANÁ, 1987). A região apresenta altitudes variando de 800 a 1100m. O relevo predominante é ondulado à forte ondulado. De acordo com IBGE (1992), a formação vegetal encontrada nas áreas corresponde ao bioma denominado Floresta Ombrófila Mista ou Floresta com Araucária.

### 2.2 Obtenção dos dados

Os dados utilizados neste estudo advêm de 11 projetos com plantios de *Pinus taeda* em diferentes idades, com diferentes índices de sítio e diferentes áreas. A Tabela 1 apresenta as informações de cada projeto, utilizadas para obtenção de valores dendrométricos futuros dessas florestas.

O índice de sítio dos projetos, para a idade índice de 15 anos, foi obtido através das fórmulas abaixo, obtidas no Laboratório de Inventário Florestal da UFPR.

$$IS25 = \exp \{ \ln(hdom) + 9,32216638 + [(1/Id) - (1/25)] \}$$

$$IS15 = IS25 * 0,779898806$$

Onde:

hdom = altura dominante (m)

Id = idade (anos)

### 2.3 Análise dos dados

Para estimar a produção volumétrica dos plantios da empresa, utilizou-se o programa de simulação florestal SISPINUS desenvolvido pelo CNPF-EMBRAPA.

**Tabela 1** – Dados dos projetos utilizados para realização das prognoses.

*Table 1* – Data used for yield prediction.

Projeto	G/ha (m <sup>2</sup> /ha)	N/ha	Idade (anos)	IS15	Área
Santo Antônio	22,6	212	19,8	18,9	25,4
Santo Antônio 2	43,3	510	17,3	20,3	40,0
Santo Antônio 3	32,6	880	8,3	19,2	10,0
Projeto 14	12,1	124	19,2	18,9	11,0
Projeto 13	39,1	403	20,2	20,4	53,1
Projeto 12	19,8	200	19,2	21,5	30,2
Projeto 11	23,2	200	22,1	20,5	80,0
Imbuia	31,5	596	10,2	19,0	43,0
Reflora I	34,1	606	16,2	18,4	200,0
Reflora II	32,2	506	13,2	19,0	150,0
São João	34,4	508	12,1	18,7	48,0

G/ha: área basal (m<sup>2</sup>/ha); N/ha: número de árvores por hectare; IS15: índice de sítio aos 15 anos.

Neste estudo foi avaliado o regime de manejo adotado pela empresa (regime 0) e mais quatro simulações. As características de cada regime são apresentadas na Tabela 2.

Para a obtenção dos valores de volume foram considerados, além das informações descritas anteriormente, os sortimentos utilizados pela empresa. Esses sortimentos são denominados de torno grande, torno pequeno e serraria, com os diâmetros mínimos de 30, 25 e 10 cm, respectivamente.

A prognose foi realizada até o ano 2022, considerando-se que as informações disponíveis foram obtidas no ano de 2002. A condição atual de cada projeto foi considerada e logo após a data de corte raso desses estabeleceu-se um período de descanso de 1 ano para a terra, procedimento adotado pela empresa e um novo plantio foi simulado, considerando um espaçamento 3 x 3m, totalizando 1111 árvores por hectare.

Sendo assim, obtiveram-se os valores de volume total (m<sup>3</sup>), volume para laminação de torno grande (m<sup>3</sup>), volume para laminação de torno pequeno (m<sup>3</sup>) e volume para serraria (m<sup>3</sup>), para os diferentes regimes de manejo.

A partir das equações apresentadas na Tabela 3, estimou-se a quantidade de biomassa verde (Kg) e de carbono total (Mg/ha) existente em cada projeto, de acordo com os regimes de manejo adotados, para cada ano do horizonte de planejamento. Vale ressaltar que 1 Mg equivale a 1 tonelada e é a unidade normalmente utilizada em estudos quantitativos de carbono.

De posse dos custos e receitas, fornecidos pela empresa, calculou-se o Valor Presente Líquido (VPL) de cada projeto, que, segundo Rezende & Oliveira (2001), pode ser definido como a soma algébrica dos valores descontados do fluxo de caixa a ele associado. A fórmula para determinação do VPL é apresentada a seguir.

**Tabela 2** – Regimes de manejo adotados no estudo.

*Table 2* – Management regimes used in the study.

Regimes	1º Desbaste		2º Desbaste		3º Desbaste		4º Desbaste		Corte Raso	
	Ano	% Retirado	Ano	% Retirado	Ano	% Retirado	Ano	% Retirado	Ano	% Retirado
0	8	28	12	37	16	50	-	-	20	100
1	6	28	11	30	15	30	-	-	20	100
2	8	28	13	30	17	30	-	-	20	100
3	9	28	14	30	18	30	-	-	20	100
4	6	28	10	30	14	30	18	30	20	100

**Tabela 3** – Equações adotadas para estimar a biomassa verde com casca (kg) e o carbono (kg).

*Table 3* – Equations used to predict the fresh inbark biomass (kg) and carbon stock (kg).

Biomassa Verde	Equação	R <sup>2</sup> (%)	Syx (%)
Fuste	PVFcc = 0,0595 (DAP2*H) <sup>0,9279</sup>	95,07	13,46
Folhas	PVFol = 0,0012(DAP2*H) <sup>1,0480</sup>	78,37	18,67
Galho Vivo	PVGVcc = 0,0001(DAP2*H) <sup>1,3922</sup>	77,29	19,03
Quantidade de Carbono			
Fuste	PCF = 0,1737*PVF	94,21	13,46
Folhas	PCFol = 0,1422*PVFol	83,77	28,67
Galho Vivo	PCGV = 0,1595*PVGv	98,69	9,01

DAP = Diâmetro à Altura do Peito; H = Altura Total; R<sup>2</sup> = Coeficiente de Determinação; Syx(%) = Erro Padrão Residual Per-centual; . PVFcc = Peso Verde do Fuste com casca; PVFol = Peso Verde das Folhas; PVGVcc = Peso Verde dos Galhos Vivos com casca; PCF = Peso de Carbono no Fuste; PCF = Peso de Carbono nas Folhas; PCF = Peso de Carbono nos Galhos Vivos. Fonte: Sanquetta et al. (2003).

$$VPL = \sum_{j=0}^n R_j (1+i)^{-j} - \sum_{j=0}^n C_j (1+i)^{-j}$$

onde:

VPL = Valor Presente Líquido;  $C_j$  = custo no final do ano  $j$  ou do período de tempo considerado;  $R_j$  = receita no final do ano  $j$  ou do período de tempo considerado;  $i$  = taxa de desconto; e  $n$  = duração do projeto, em anos, ou em número de períodos de tempo.

Segundo os mesmos autores, é necessário que os horizontes de planejamento dos projetos sejam os mesmos para que possam ser comparados. Como nesse estudo isso não acontece e levando-se em consideração as situações iniciais de cada projeto estudado, ou seja, um novo plantio é realizado após o corte raso, utilizou-se o VPL infinito, ou seja:

$$VPL_{\infty} = \frac{VPL \cdot (1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$$

Os valores de VPL foram calculados para cada projeto submetido aos diferentes regimes de manejo, considerando sua situação no início do horizonte de planejamento até a execução do corte raso. Logo após calculou-se o VPL infinito para esses projetos. Os valores de VPL infinito foram descapitalizados para o ano 0, ou seja, ano de início do horizonte de planejamento e, logo após, somados aos valores de VPL encontrados para cada projeto nos diferentes regimes de manejo.

Realizou-se uma pequena simulação para variações na taxa de desconto. Adotaram-se as taxas anuais de juros de 8, 10, 12 (taxas mais utilizadas no mercado florestal) e 16,5% (taxa Selic na data das simulações).

#### 2.4 Modelo de Goal Programming

A utilização da programação por metas ou programação multiobjetivos (Goal Programming), teve o intuito de atingir metas préestabelecidas de manutenção da quantidade de carbono na área, de retorno econômico e também de demanda.

Sendo assim, adotou-se o melhor resultado obtido através do SISPINUS e estipulou-se uma meta (média aritmética), considerando-se a distribuição da variável carbono durante os anos do horizonte de planejamento. Para a variável econômica foi utilizada a média de faturamento anual da empresa. Para as demandas de torno grande, torno pequeno e serraria, usou-se a quantidade desses sortimentos utilizada anualmente pela fábrica.

A função objetivo foi desenvolvida com a adição de variáveis de desvios ( $d^+$  e  $d^-$ ), as quais permitem a

flexibilidade em se atingir ou não as metas préestabelecidas. O modelo de "Goal Programming" utilizado está descrito a seguir.

a) Função Objetivo:

$$\begin{aligned} \text{Min} Z = & \sum_k w_{ck} \cdot d_{ck}^+ + w_{ck} \cdot d_{ck}^- + w_{ek} \cdot d_{ek}^+ \\ & + w_{ek} \cdot d_{ek}^- + w_{sk} \cdot d_{sk}^+ + w_{sk} \cdot d_{sk}^- \\ & + w_{tpk} \cdot d_{tpk}^+ + w_{tpk} \cdot d_{tpk}^- + w_{tgk} \cdot \\ & d_{tgk}^+ + w_{tgk} \cdot d_{tgk}^- \end{aligned}$$

onde:

$w_{ck}$ ,  $w_{ek}$ ,  $w_{sk}$ ,  $w_{tpk}$ ,  $w_{tgk}$  = pesos para as variáveis quantidade de carbono, econômicas, demanda para serraria, demanda para torno pequeno e demanda para torno grande ( $w_k = 1/\text{meta de cada variável}$ );  $d_{ck}^+$ ,  $d_{ck}^-$ ,  $d_{ek}^+$ ,  $d_{ek}^-$ ,  $d_{sk}^+$ ,  $d_{sk}^-$ ,  $d_{tpk}^+$ ,  $d_{tpk}^-$ ,  $d_{tgk}^+$ ,  $d_{tgk}^-$  = desvios (positivos e negativos) para as variáveis quantidade de carbono, econômicas, demanda para serraria, demanda para torno grande e demanda para torno pequeno.

b) Restrições:

b.1) Restrições de Área:

$$\sum_j X_{ij} \leq A_i$$

onde:

$i = 1, 2, 3, \dots, 11$  (11 restrições).

b.2) Restrições de Demanda para Serraria:

$$\sum_i \sum_j V_{ijk} \cdot X_{ij} - ds^+ + ds^- = \text{MetaSerraria}_k$$

onde:

$V_{ijk}$  = Volume obtido para o projeto  $i$ , no regime de manejo  $j$ , ano  $k$  para serraria;

$\text{MetaSerraria}_k$  = Meta para serraria, no ano  $k$ .

$k = 1, 2, 3, \dots, 21$ , totalizando 21 restrições de demanda para serraria.

b.3) Restrições de Demanda para Torno Pequeno:

$$\sum_i \sum_j V_{ijk} \cdot X_{ij} - dtp^+ + dtp^- = \text{MetaTP}_k$$

onde:

$V_{ijk}$  = Volume obtido para o projeto  $i$ , no regime de manejo  $j$ , ano  $k$  para torno pequeno;

$\text{MetaTP}_k$  = Meta para torno pequeno, no ano  $k$ .

$k = 1, 2, 3, \dots, 21$ , totalizando 21 restrições de demanda para torno pequeno.

b.4) Restrições de Demanda para Torno Grande:

$$\sum_i \sum_j V_{ijk} \cdot X_{ij} - dtg^+ + dtg^- = \text{MetaTG}_k$$

onde:

$V_{ijk}$  = Volume obtido para o projeto  $i$ , no regime de manejo  $j$ , ano  $k$  para torno grande;

MetaTG $_k$  = Meta para torno grande, no ano  $k$ .

$k = 1, 2, 3, \dots, 21$ , totalizando 21 restrições de demanda para torno grande.

b.5) Restrições de Equilíbrio de Carbono Remanescente:

$$\sum_i \sum_j QCR_{ijk} \cdot X_{ij} - dc^+ + dc^- = MetaCarb_k$$

onde:

QCR $_{ijk}$  = quantidade de carbono remanescente no projeto  $i$ , submetido ao regime de manejo  $j$ , no ano  $k$ ;

MetaCarb $_k$  = Meta para quantidade de carbono remanescente, no ano  $k$ .

$k = 1, 2, 3, \dots, 21$ , totalizando 21 restrições de demanda para quantidade de carbono.

b.6) Restrições Econômicas:

$$\sum_i \sum_j VPL_{ij} \cdot X_{ij} - de^+ + de^- = MetaEcon_k$$

onde:

VPL $_{ij}$  = valor presente líquido, no projeto  $i$ , submetido ao regime de manejo  $j$ ;

MetaEcon $_k$  = Meta de retorno econômico, no ano  $k$ .

$k = 1, 2, 3, \dots, 21$ , totalizando 21 restrições de demanda para quantidade de carbono.

Com o intuito de fornecer uma maior gama de opções para viabilizar os resultados que foram obtidos através do modelo de programação linear, adotou-se simular um atraso em até nove anos, no regime de manejo adotado pela empresa, sendo que, após o corte raso, esses novos regimes continuam a seguir as opções anteriormente descritas. Esse procedimento foi adotado após a verificação das matrizes geradas para abastecer o modelo onde foi observado que em alguns anos não existia volume para nenhum dos três sortimentos especificados. Sendo assim, a Tabela 4 apresenta um resumo dos regimes de manejo adotados no estudo.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tabela 5 apresenta os resultados encontrados para os desvios, não-negativos e negativos, utilizando-se a programação em metas, modelada com dados médios

anuais de carbono (15.746,6 Mg/ha), obtidos através dos resultados obtidos com o SISPINUS. A taxa anual de desconto utilizada foi equivalente a 10% ao ano, a demanda foi a mesma exigida pela indústria (12.432,6 m<sup>3</sup> para serraria e 4.662,23 m<sup>3</sup>, tanto para laminação em torno grande como para torno pequeno) e a meta econômica baseada na previsão de lucro anual da empresa (R\$ 8.400.000,00/ano).

Como pôde ser observado ocorreram desvios não-negativos (quantidade de carbono acima da desejada) nos 3 primeiros anos e após, somente desvios negativos (quantidade de carbono abaixo da desejada). Sendo assim, a meta para quantidade de carbono não foi atingida. Já a meta econômica foi atingida em todos os anos, sem sobras nem falta. Com relação ao sortimento de serraria e torno pequeno, ocorre falta de madeira em todos os anos, exceto para os anos 2006 e 2008, no caso de torno pequeno. O sortimento torno grande apresentou excesso de madeira no ano de 2002, 2007 e 2008 e falta nos anos de 2021 e 2022. Mesmo se a empresa utilizasse o conceito do DownGrade para aproveitar a madeira que sobra no torno grande, para os outros sortimentos a produtividade gerada não seria suficiente.

A Figura 1 representa a distribuição gráfica dos desvios encontrados para a variável quantidade de carbono.

As Figuras 2 e 3 representam a distribuição gráfica dos desvios encontrados para a variáveis: econômica e madeira para serraria.

As Figuras 4 e 5 representam a distribuição gráfica dos desvios encontrados para as variáveis: madeira para torno grande e madeira para torno pequeno.

Pôde-se verificar, através das Figuras 1 a 5, que as metas estabelecidas para a variável quantidade de carbono, para a variável econômica e para variável volume de serraria, de torno grande e de torno pequeno não foram atingidas. Esse resultado não significa que o modelo de programação por metas não seja indicado, mas sim que as metas pré estabelecidas foram muito ambiciosas para situação encontrada no estudo.

A Tabela 6 apresenta o número de hectares a ser retirado em cada projeto, de maneira a atender os objetivos da programação por metas. Pôde-se verificar que alguns projetos não são utilizados e que outros são subdivididos com o intuito de minimizar os desvios das variáveis estabelecidas.

**Tabela 4** – Regimes de manejo adotados nos modelos de Goal Programming.**Table 4** – Management regimes used in the Goal Programming models.

Regimes	Condições	Regimes	Condições
1	SA - Reg. 0; PN - Reg. 0	36	SA - Reg. 0 com CR aos 23 anos; PN - Reg. 0
2	SA - Reg. 0; PN - Reg. 1	37	SA - Reg. 0 com CR aos 23 anos; PN - Reg. 1
3	SA - Reg. 0; PN - Reg. 2	38	SA - Reg. 0 com CR aos 23 anos; PN - Reg. 2
4	SA - Reg. 0; PN - Reg. 3	39	SA - Reg. 0 com CR aos 23 anos; PN - Reg. 3
5	SA - Reg. 0; PN - Reg. 4	40	SA - Reg. 0 com CR aos 23 anos; PN - Reg. 4
6	SA - Reg. 1; PN - Reg. 0	41	SA - Reg. 0 com CR aos 24 anos; PN - Reg. 0
7	SA - Reg. 1; PN - Reg. 1	42	SA - Reg. 0 com CR aos 24 anos; PN - Reg. 1
8	SA - Reg. 1; PN - Reg. 2	43	SA - Reg. 0 com CR aos 24 anos; PN - Reg. 2
9	SA - Reg. 1; PN - Reg. 3	44	SA - Reg. 0 com CR aos 24 anos; PN - Reg. 3
10	SA - Reg. 1; PN - Reg. 4	45	SA - Reg. 0 com CR aos 24 anos; PN - Reg. 4
11	SA - Reg. 2; PN - Reg. 0	46	SA - Reg. 0 com CR aos 25 anos; PN - Reg. 0
12	SA - Reg. 2; PN - Reg. 1	47	SA - Reg. 0 com CR aos 25 anos; PN - Reg. 1
13	SA - Reg. 2; PN - Reg. 2	48	SA - Reg. 0 com CR aos 25 anos; PN - Reg. 2
14	SA - Reg. 2; PN - Reg. 3	49	SA - Reg. 0 com CR aos 25 anos; PN - Reg. 3
15	SA - Reg. 2; PN - Reg. 4	50	SA - Reg. 0 com CR aos 25 anos; PN - Reg. 4
16	SA - Reg. 3; PN - Reg. 0	51	SA - Reg. 0 com CR aos 26 anos; PN - Reg. 0
17	SA - Reg. 3; PN - Reg. 1	52	SA - Reg. 0 com CR aos 26 anos; PN - Reg. 1
18	SA - Reg. 3; PN - Reg. 2	53	SA - Reg. 0 com CR aos 26 anos; PN - Reg. 2
19	SA - Reg. 3; PN - Reg. 3	54	SA - Reg. 0 com CR aos 26 anos; PN - Reg. 3
20	SA - Reg. 3; PN - Reg. 4	55	SA - Reg. 0 com CR aos 26 anos; PN - Reg. 4
21	SA - Reg. 4; PN - Reg. 0	56	SA - Reg. 0 com CR aos 27 anos; PN - Reg. 0
22	SA - Reg. 4; PN - Reg. 1	57	SA - Reg. 0 com CR aos 27 anos; PN - Reg. 1
23	SA - Reg. 4; PN - Reg. 2	58	SA - Reg. 0 com CR aos 27 anos; PN - Reg. 2
24	SA - Reg. 4; PN - Reg. 3	59	SA - Reg. 0 com CR aos 27 anos; PN - Reg. 3
25	SA - Reg. 4; PN - Reg. 4	60	SA - Reg. 0 com CR aos 27 anos; PN - Reg. 4
26	SA - Reg. 0 com CR aos 21 anos; PN - Reg. 0	61	SA - Reg. 0 com CR aos 28 anos; PN - Reg. 0
27	SA - Reg. 0 com CR aos 21 anos; PN - Reg. 1	62	SA - Reg. 0 com CR aos 28 anos; PN - Reg. 1
28	SA - Reg. 0 com CR aos 21 anos; PN - Reg. 2	63	SA - Reg. 0 com CR aos 28 anos; PN - Reg. 2
29	SA - Reg. 0 com CR aos 21 anos; PN - Reg. 3	64	SA - Reg. 0 com CR aos 28 anos; PN - Reg. 3
30	SA - Reg. 0 com CR aos 21 anos; PN - Reg. 4	65	SA - Reg. 0 com CR aos 28 anos; PN - Reg. 4
31	SA - Reg. 0 com CR aos 22 anos; PN - Reg. 0	66	SA - Reg. 0 com CR aos 29 anos; PN - Reg. 0
32	SA - Reg. 0 com CR aos 22 anos; PN - Reg. 1	67	SA - Reg. 0 com CR aos 29 anos; PN - Reg. 1
33	SA - Reg. 0 com CR aos 22 anos; PN - Reg. 2	68	SA - Reg. 0 com CR aos 29 anos; PN - Reg. 2
34	SA - Reg. 0 com CR aos 22 anos; PN - Reg. 3	69	SA - Reg. 0 com CR aos 29 anos; PN - Reg. 3
35	SA - Reg. 0 com CR aos 22 anos; PN - Reg. 4	70	SA - Reg. 0 com CR aos 29 anos; PN - Reg. 4

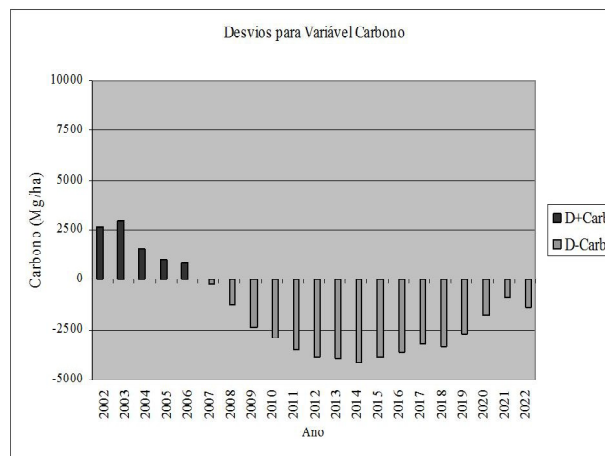
SA = Situação atual; Reg. = Regime (detalhado na Tabela 2); PN = Plantio novo.

**Tabela 5** – Desvios não-negativos e negativos do programa por metas, considerando-se a média anual de carbono otimizada.

*Table 5* – Negative and non-negative deviations of the goal programming model, taken into consideration the annual average optimization of carbon stock.

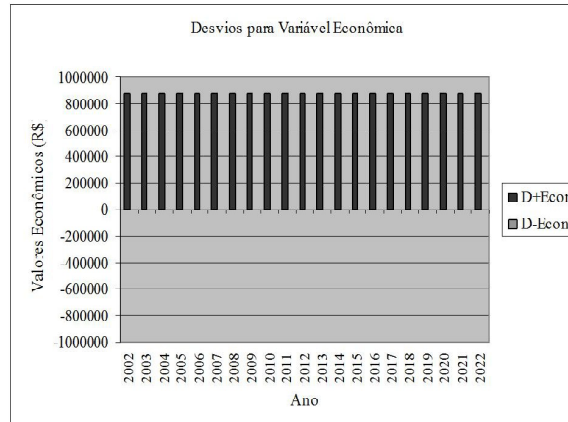
Ano	D <sup>+</sup> Carb	D <sup>-</sup> Carb	D <sup>+</sup> Econ	D <sup>-</sup> Econ	D <sup>+</sup> Serr	D <sup>-</sup> Serr	D <sup>+</sup> TG	D <sup>-</sup> TG	D <sup>+</sup> TP	D <sup>-</sup> TP
2002	2667,50	-	871308,64	-	-	-5460,16	-	-	-	-1529,1
2003	2941,92	-	871308,64	-	-	-6917,81	-	-	-	-1838,64
2004	1578,01	-	871308,64	-	-	-4429,07	-	-	-	-653,60
2005	1005,53	-	871308,64	-	-	-11238,80	-	-	-	-4058,86
2006	818,48	-	871308,64	-	-	-5228,92	-	-	-	-
2007	-	-256,87	871308,64	-	-	-7162,92	-	-	-	-928,33
2008	-	-1280,94	871308,64	-	-	-6777,74	-	-	-	-1145,35
2009	-	-2378,21	871308,64	-	-	-6757,17	-	-	-	-1221,67
2010	-	-2919,39	871308,64	-	-	-10149,66	-	-	-	-2050,57
2011	-	-3534,14	871308,64	-	-	-9750,38	-	-	-	-1916,69
2012	-	-3858,42	871308,64	-	-	-10555,11	-	-	-	-2574,84
2013	-	-3959,74	871308,64	-	-	-10664,10	-	-	-	-3112,19
2014	-	-4125,23	871308,64	-	-	-10302,51	-	-	-	-3267,15
2015	-	-3885,26	871308,64	-	-	-11138,82	-	-	-	-3277,46
2016	-	-3616,82	871308,64	-	-	-11494,25	-	-	-	-3622,90
2017	-	-3198,92	871308,64	-	-	-10140,53	-	-	-	-3659,20
2018	-	-3401,26	871308,64	-	-	-8522,67	-	-	-	-3495,36
2019	-	-2721,44	871308,64	-	-	-11742,67	-	-	-	-3916,53
2020	-	-1782,54	871308,64	-	-	-11806,51	-	-	-	-3906,76
2021	-	-920,93	871308,64	-	-	-10498,89	-	-4522,98	-	-4218,62
2022	-	-1416,60	871308,64	-	-	-1536,82	-	-1176,49	-	-2590,76

D<sup>+</sup>Carb; D<sup>-</sup>Carb = Desvios Não-Negativos e Negativos para Quantidade de Carbono (Mg); D<sup>+</sup>Econ; D<sup>-</sup>Econ = Desvios Não-Negativos e Negativos para Variáveis Econômicas (R\$); D<sup>+</sup>Serr; D<sup>-</sup>Serr = Desvios Não-Negativos e Negativos para Madeira de Serraria (m<sup>3</sup>); D<sup>+</sup>TG; D<sup>-</sup>TG = Desvios Não-Negativos e Negativos para Madeira de Torno Grande (m<sup>3</sup>); D<sup>+</sup>TP; D<sup>-</sup>TP = Desvios Não-Negativos e Negativos para Madeira de Torno Pequeno (m<sup>3</sup>).



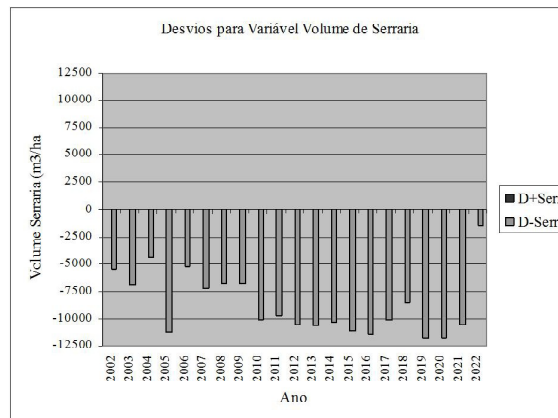
**Figura 1** – Desvios não-negativos e negativos do programa por metas, considerando-se a variável carbono (t/ha).

*Figure 1* – Negative and non-negative deviations of the goal programming model, taking into consideration the annual average optimization of carbon stock (t/ha).



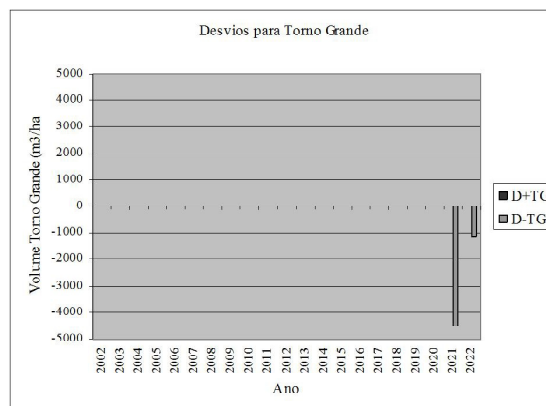
**Figura 2** – Desvios não-negativos do programa por metas, considerando-se a variável econômica (R\$/ano).

*Figure 2* – Negative and non-negative deviations of the goal programming model, taking into consideration economical aspects (R\$/ha).



**Figura 3** – Desvios negativos do programa por metas, considerando-se a variável volume de serraria (m³/ha).

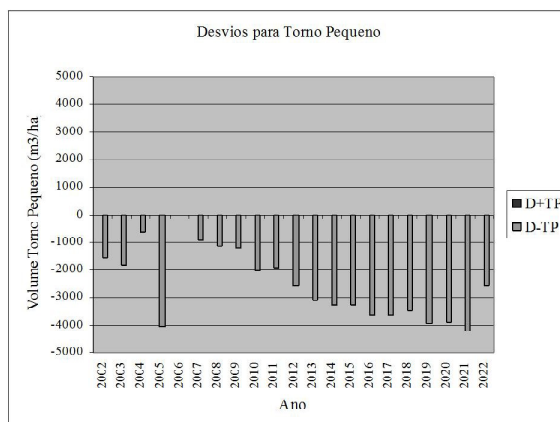
*Figure 3* – Negative and non-negative deviations of the goal programming model, taking into consideration the sawnlog volume (m³/ha).



**Figura 4** – Desvios negativos do programa por metas, considerando-se a variável volume para torno grande (m³/ha).

*Figure 4* – Negative and non-negative deviations of the goal programming model, taking into consideration the veneer long-log volume (m³/ha).





**Figura 5** – Desvios negativos do programa por metas, considerando-se a variável volume de torno pequeno ( $m^3/ha$ ).

*Figure 5* – Negative and non-negative deviations of the goal programming model, taking into consideration the veneer small-log volume ( $m^3/ha$ ).

**Tabela 6** – Área a ser cortada para que os objetivos da programação por metas sejam melhor atendidos.

*Table 6* – Area to be cut to reach the goal programming objectives.

Projeto	Regime	Área (ha)	Projeto	Regime	Área (ha)
Santo Antonio 2	6	36,03	Reflora I	37	0,79
Santo Antonio 2	70	3,97	Reflora I	49	20,45
Santo Antonio 3	70	10,00	Reflora I	51	23,32
Projeto 12	21	2,00	Reflora I	60	13,39
Projeto 12	32	11,55	Reflora I	65	17,87
Projeto 12	39	0,70	Reflora I	70	16,54
Projeto 13	20	30,23	Reflora II	6	44,92
Projeto 13	26	22,87	Reflora II	27	11,31
Imbuia	19	12,19	Reflora II	35	34,01
Imbuia	65	15,93	Reflora II	65	15,54
Imbuia	70	14,87	Reflora II	70	14,54
Reflora I	14	58,20	São João	7	33,00
Reflora I	28	49,43	São João	70	15,00

#### 4 CONCLUSÕES

A maioria das metas estabelecidas no modelo não foram atingidas. Isso significa que as metas foram muito ambiciosas, ou seja, a madeira existente nos projetos estudados não proporciona a quantidade desejada para o abastecimento da fábrica e também não atende à meta de quantidade de carbono. Uma alternativa para

solucionar esse problema seria a utilização de todos os projetos da empresa.

O modelo sugeriu a aplicação de diferentes regimes de manejo em um mesmo projeto, o que pode estar sugerindo a criação de novas unidades de manejo na área estudada. Essa subdivisão pode ser também resultado do número grande de restrições impostas aos modelos de programação em metas.

## 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARCE, J. E. **Um sistema de programação do transporte principal de multiprodutos florestais visando à minimização de custos**. 1997. 94 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1997.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual técnico da vegetação brasileira**. Rio de Janeiro, RJ, 1992. 92 p.

MAACK, R. **Geografia física do Estado do Paraná**. Curitiba: CODEPAR, 1968. 350 p.

MENDOZA, G.; SPROUSE, W. Forest planning and decision making under Fuzzy environments: an overview and illustration. **Forest Science**, Amsterdam, v. 35, n. 2, 1989.

PARANÁ. Secretaria de Estado de Agricultura e Abastecimento. Instituto de Terras, Cartografia e Florestas. **Atlas do Estado do Paraná**. Curitiba, 1987. 73 p.

REZENDE, J. L. P.; OLIVEIRA, A. D. **Análise econômica e social de projetos florestais**. Viçosa: UFV, 2001. 389 p.

ROCHADELLI, R. **A estrutura de fixação dos átomos de carbono em reflorestamentos (Estudo de caso: *Mimosa scabrella* Bentham, bracinga)**. 2001. 86 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2001.

SANQUETTA, C. R.; ZILLOTTO, M. A. B.; WATZLAWICK, L. F.; BALBINOT, R.; DALLA CORTE, A. P. **Estudo de viabilidade de projeto de implantação de florestas fixadoras de carbono: estudo de caso no sul do estado do Paraná: relatório final de atividades MMA/FNMA**. Curitiba, 2003. 92 p.