

## APLICAÇÃO DE *GOAL PROGRAMMING* EM UM PROBLEMA FLORESTAL

### APPLICATION OF GOAL PROGRAMMING IN A FOREST PROBLEM

Fabiane de Oliveira<sup>1</sup> Neida Maria Patias Volpi<sup>2</sup> Carlos Roberto Sanquetta<sup>3</sup>

#### RESUMO

Este trabalho tem por objetivo aplicar uma das técnicas de programação multiobjetivo (*goal programming*) em um problema florestal brasileiro mediante de um estudo de caso realizado na Fazenda Santa Cândida, em General Carneiro, Paraná. As áreas dessa fazenda podem ser manejadas para corte de madeira (*Pinus* e de espécies nativas), corte de folhas de erva-mate para chá ou chimarrão, pastagens e turismo. A administração da fazenda também tem a preocupação de aumentar a diversidade da flora e da fauna de suas áreas, incrementar as áreas de proteção ambiental e manter os empregos no empreendimento. *Goal programming* foi utilizado para desenvolver um projeto de alocação de terra, no qual todas as metas da fazenda seriam atingidas o mais próximo possível do ideal, de forma a atender todas as restrições operacionais consideradas. Em *goal programming*, o conceito de solução ótima da Programação Linear é substituído por uma solução satisfatória (não-dominada). Várias soluções podem ser obtidas, e a melhor solução dependerá da prioridade associada a cada meta.

**Palavras-chave:** *goal programming*, múltiplos objetivos, planejamento florestal.

#### ABSTRACT

The objective of this paper is to apply one of the techniques of multi-objective programming (*goal programming*) in a Brazilian forest problem, through of a case study accomplished in the Santa Cândida Farm, in General Carneiro, Paraná, Brazil. The areas of this farm can be managed for timber (pine and native species), harvesting of erva-mate leaves, pasture, and tourism. There is also a concern of the farm managers with increasing the diversity of flora and fauna, increasing environmental protection conditions and maintaining employees in the farm. Goal programming was used to develop a project of land allocation, in which all the goals would be reached as closest as possible of the ideal, in a way to attend all the operational restrictions considered. In goal programming, the concept of optimum solution of LP problems is substituted by a satisfactory solution (nondominated). Several solutions can be obtained, and the best solution will depend on the priority associated to each goal.

**Key words:** goal programming, multiple objectives, forest planning.

#### INTRODUÇÃO

As florestas brasileiras são manejadas em razão das políticas definidas de acordo com as experiências dos responsáveis (empresas privadas ou governos) responsáveis pela tomada de decisão. Recentemente, técnicas matemáticas têm sido muito empregadas para auxiliar a definição das melhores opções de manejo nas florestas. A maioria dos trabalhos científicos sobre manejo otimizado das florestas, em geral, aborda um único objetivo, geralmente a produção econômica de madeira. Na literatura brasileira, podem-se citar os trabalhos recentes dessa natureza, como os reportados por Saravia *et al.* (1991), Carnieri *et al.* (1991) e Volpi *et al.* (2000).

Com mudanças recentes na legislação florestal, e mesmo em razão da certificação florestal, novos objetivos além dos econômicos, tais como ambientais e sociais têm merecido mais atenção por parte das empresas florestais e todos os envolvidos com o manejo sustentável das florestas. Para atingir os objetivos econômicos, por exemplo, são considerados o corte de madeira para venda ou industrialização e a obtenção

1. Licenciada em Matemática, M.Sc., Professora do Departamento de Matemática e Estatística, Universidade Estadual de Ponta Grossa, CEP: 84061-440, Ponta Grossa (PR). faboliveira@uepg.br
2. Licenciada em Matemática, M.Sc., Professora do Departamento de Matemática, Universidade Federal do Paraná, CEP 81530-990, Curitiba (PR). nmpv@mat.ufpr.br
3. Engenheiro Florestal, PhD., Professor do Departamento de Ciências Florestais, Universidade Federal do Paraná, Caixa Postal 19071, CEP 81531-991, Curitiba (PR). sanqueta@agrarias.ufpr.br

Recebido para publicação em 18/06/2001 e aceito em 5/07/2002.

de produtos não-madeireiros como a erva-mate e plantas medicinais. Os objetivos sociais, por outro lado, devem visar à manutenção de um certo número de empregos, necessários para atender a vigilância e o manejo da floresta, além de contribuir para a geração de riqueza e renda. Os objetivos ambientais, por sua vez, podem envolver outros valores da floresta, como o turismo e a manutenção ou aumento da diversidade biológica. Essa nova concepção de sustentabilidade, advogada pela sociedade moderna e pelos organismos internacionais, implicitamente implica na utilização de ferramentas matemáticas capazes de equacionar os três propósitos basilares da sustentabilidade: econômico, ecológico e social. A técnica denominada *goal programming* presta-se muito bem para o propósito, sobretudo quando se vislumbram múltiplos objetivos que precisam ser atendidos.

Problemas envolvendo múltiplos objetivos foram considerados nos trabalhos de Field (1973), Arp e Lavigne (1982), Rustagi e Bare (1978), Balteiro e Romero (1997), entre outros. Poucos desses estudos foram desenvolvidos no Brasil, o que gerou o principal objetivo deste trabalho que é o de aplicar *goal programming* em uma situação florestal brasileira.

### Goal programming

Segundo Field (1973), a característica que distingue a formulação de *goal programming* é que uma ou mais metas são incorporadas diretamente na função objetivo, via variáveis de desvio, isto é, os objetivos são escritos na forma de restrições metas, em que cada meta representa o valor que pretende ser atingido. As metas podem ou não ser atingidas completamente e, para permitir essa flexibilidade, são utilizadas variáveis de desvio  $d^+$  e  $d^-$ , indicando o quanto o objetivo foi ultrapassado ou o quanto faltou para que essa meta fosse atingida respectivamente. *Goal programming* procura uma forma de atingir todas as metas o mais próximo possível. Portanto, o objetivo da técnica é minimizar a soma dos desvios para todas as metas.

O modelo geral de *goal programming* pode ser escrito da seguinte forma:

Minimize  $z = w^- . d^- + w^+ . d^+$  sujeito a:

$$A . x - d^+ + d^- = M$$

$$B . x \approx b$$

$$x \geq 0, d^+ \geq 0, d^- \geq 0$$

Em que  $\approx$  pode ser  $\leq$  ou  $\geq$ ;  $z$  = função objetivo;  $w^+$  e  $w^-$  = vetores (1 x m) de pesos das metas e expressam a importância de cada meta;  $A$  = matriz (m x n) de coeficientes tecnológicos referentes às restrições meta;  $B$  = matriz (p x n) de outras restrições não-metas;  $M$  = vetor (m x 1) que representa as metas a serem atingidas;  $b$  = vetor de recursos (p x 1) para as restrições não-metas;  $d^+$  = vetor (m x 1) representando os desvios positivos das “m” metas;  $d^-$  = vetor (m x 1) representando os desvios negativos das “m” metas;  $x$  = vetor (n x 1) das variáveis de decisão.

Field (1973) sugere os seguintes passos para a resolução de um modelo de *goal programming*:

- (1) Formule o problema sem pesos ou prioridades e resolva-o. Se todas as metas são encontradas, pare. Se uma ou mais metas não são encontradas, vá para o passo (2);
- (2) Defina prioridades e estabeleça pesos diferentes para as variáveis de desvios. Esses pesos expressam a importância das metas;
- (3) Incorpore a estrutura de importância definida em (2) no modelo.

As soluções obtidas em um problema de *goal programming* podem ser dominadas ou não-dominadas. Uma solução é não-dominada quando não existe uma outra solução factível que melhore um dos objetivos sem haver um decréscimo em pelo menos um outro objetivo.

Quando se resolve um modelo de *goal programming*, o interesse está em soluções não-dominadas, já que uma única solução ótima atendendo todas as metas em geral é impossível de ser obtida, em razão do caráter conflitante dos objetivos.

## Modelo de planejamento florestal

### Um estudo de caso

O estudo de caso foi executado em uma área de aproximadamente 2.000 ha, referente a uma das fazendas das Indústrias Pizzatto, Fazenda Santa Cândida, localizada em General Carneiro no estado do Paraná, para um período de planejamento de cinco anos. Essa fazenda possui áreas de reflorestamento, nativas, preservação permanente, campos e banhados que foram divididas em regiões menores com características homogêneas de idade, de localização e espécies ocorridas, chamadas talhões. Ao todo, foram considerados 14 talhões.

### Metas

Foram utilizadas técnicas de *goal programming*, visando a atingir as seguintes metas:

- (1) Corte de madeira (*Pinus*): realizado nas áreas de reflorestamento com o objetivo de atender à demanda de madeira para a fábrica da indústria da empresa.
- (2) Corte de madeira (araucária): feito nas áreas nativas e nos campos, com o objetivo de atender a demanda de madeira para a fábrica da indústria.
- (3) Corte de folhas de erva-mate: existe uma demanda de erva-mate ao ano para venda ao mercado, e seu corte pode ser realizado em áreas nativas e em campos;
- (4) Turismo: é objetivo da fazenda maximizar o número de turistas que visitam a fazenda, levando em conta que nela existe um hotel com capacidade diária para 200 pessoas, explorando as áreas de belezas cênicas existentes na fazenda.
- (5) Pastagens: a empresa possui uma criação de búfalos que é explorada comercialmente.
- (6) Manutenção de emprego: deve ser o suficiente para atender tanto às necessidades da fazenda, como também às de turismo, no dia-a-dia do hotel, entre outros. A manutenção de empregos acarreta um desenvolvimento econômico para a região.
- (7) Aumento na diversidade da flora: é objetivo da fazenda alcançar maior diversidade (número) de cada espécie ocorrente na área, contribuindo para a preservação ambiental além de atrair mais turistas, incentivando assim o turismo rural;
- (8) Aumento na diversidade da fauna: pelos mesmos motivos expostos na diversidade da flora.

As metas propostas pela indústria para os cinco períodos de um ano estão apresentadas na Tabela 1.

TABELA 1: Metas propostas anuais.

TABLE 1: Annual proposed goals.

Ano de Planejamento Anos →	Simbologia	1	2	3	4	5
		2000	2001	2002	2003	2004
1. Corte de madeira <i>Pinus</i> (estéreos)	PIN	35300	35300	35300	35300	35300
2. Corte de madeira Nativa (m <sup>3</sup> )	ARAU	170	170	170	170	170
3. Corte de erva-mate (arrobas)	EM	700	700	700	700	700
4. Turismo (n. de visitantes dia)	TUR	200	200	200	200	200
5. Pastagens (kg de carne)	PAST	2800	2800	2800	2800	2800
6. Empregos (n. de trabalhadores)	EMP	50	50	50	50	50
7. Aumento da diversidade da flora	$\Delta DFLO$	0	7	14	21	28
8. Aumento da diversidade da fauna	$\Delta DFAU$	0	1	1	2	2

Em função das políticas de uso consideradas e a descrição de cada talhão, foram definidos os regimes de manejo para serem utilizados em cada um. Foram propostos 18 regimes de manejo apresentados na Tabela 2. Por regime de manejo, entende-se o conjunto de ações que podem ser realizadas simultaneamente num mesmo talhão. Por exemplo, o corte de araucária e o corte de erva-mate no mesmo talhão constituem o regime de manejo chamado de M3.

O manejo M1 é exclusivo para o corte de *Pinus*. São considerados duas variações de manejo em relação ao corte de erva-mate, os manejos M3, M5, M7, M11 e M13 que cortam erva-mate nos 1º, 3º e 5º períodos e os manejos M4, M6, M8, M10, M12 e M14 os quais cortam erva-mate nos 2º e 4º períodos. Os regimes de manejo M16 e M18 são manejos que representam mudança de uso da terra, isto é, convertem o talhão para uma área de preservação.

TABELA 2: Regimes de manejo em função das políticas de uso.

TABLE 2: Management regimes in function of the use policies.

Ações	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16	M17	M18
1	x																	
2		x	x	x	x	x												
3			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x				
4											x	x	x	x	x	x		
5					x	x			x	x			x	x				x
6																x		x

Em que: 1 = corte de madeira (*Pinus*); 2 = corte de madeira (araucária); 3 = corte de erva-mate; 4 = turismo; 5 = criação de búfalos; 6 = proteção ambiental.

O modelo de *goal programming* proposto a seguir procura o melhor regime de manejo para ser aplicado em cada talhão, de forma a atender às metas de produção, às metas sociais e às metas ambientais da empresa citada.

### Modelo de *goal programming*

#### Função objetivo

A função objetivo visa a minimizar a soma dos desvios para todas as metas. A função objetivo do modelo de *goal programming* considerado tem a forma geral:

$$\text{Min } z = \sum_{k=1}^K \sum_{\text{META}_i \in M} (w_{\text{META}_i^-}^k \cdot d_{\text{META}_i^-}^k + w_{\text{META}_i^+}^k \cdot d_{\text{META}_i^+}^k)$$

Em que:

$M = \{ \text{PIN, ARAU, EM, TUR, PAST, EMP, } \Delta \text{DFLO, } \Delta \text{DFAU} \}$  representam as metas;

$k \in \{1, \dots, K\}$  representam os períodos;  $k = 1, \dots, 5$ ;

$d_{\text{META}_i^-}^k$  e  $d_{\text{META}_i^+}^k$  = variáveis de desvio da meta, ambas maiores ou iguais a zero, em que;

$d_{\text{META}_i^-}^k$  = representa o desvio inferior a meta e  $d_{\text{META}_i^+}^k$  = representa o desvio superior a meta;

$w_{\text{META}_i^-}^k$  e  $w_{\text{META}_i^+}^k$  = pesos atribuídos as variáveis de desvios;

$z$  = função objetivo.

#### Coefficientes da matriz tecnológica

A matriz tecnológica do modelo geral apresentado no item 2 necessita de informações de produção em cada conjunto de equações de metas.

Se  $i \in \{1, \dots, I\}$  representam os talhões;  $i = 1, \dots, 14$ ;  $j \in \{1, \dots, J\}$  representam os manejos;  $j = 1, \dots, 18$ , considerou-se que:

$ap_{ij}^k$  = coeficiente de produção de madeira de *Pinus* no talhão  $i$  segundo o manejo  $j$ , no período  $k$ ,

medido em estéreos/ha;

$a_{ij}^k$  = coeficiente de produção de araucária no talhão  $i$  segundo o manejo  $j$ , no período  $k$  medido em m<sup>3</sup>/ha;

$aem_{ij}^k$  = coeficiente de produção de erva-mate no talhão  $i$  segundo o manejo  $j$ , no período  $k$  medido em arrobas/ha;

$at_{ij}^k$  = coeficiente que representa o número de turistas-dia que visitam o talhão  $i$  em que está sendo efetuado o manejo  $j$ , no período  $k$ , medido em número de visitantes-dia/ha;

$aps_{ij}^k$  = coeficiente referente à produção de carne dos animais do talhão  $i$  em que está sendo efetuado o manejo  $j$ , no período  $k$ , medido em kg/ha ;

$ae_{ij}^k$  = coeficiente referente ao número de empregados-dia necessários para executar as tarefas do talhão  $i$  em que está sendo efetuado o manejo  $j$  medido em empregados-dia/ha;

$dfl_{ij}^k$  = índice de aumento na diversidade da flora no talhão  $i$  segundo o manejo  $j$ , no período  $k$ , medido em número de espécies diferentes de flora/ha;

$dfa_{ij}^k$  = índice de aumento na diversidade da fauna no talhão  $i$  segundo o manejo  $j$ , no período  $k$ , medido em números de espécies diferentes de fauna/ha;

$x_{ij}$  = representa o número de hectares do talhão  $i$  no qual será aplicado o manejo  $j$ .

As restrições foram escritas como se segue, levando em conta que no modelo de *goal programming* foram considerados dois grupos de restrições: restrições de meta e restrições de área.

#### **Restrições de meta**

$$\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J ap_{ij}^k x_{ij} + d_{PIN-}^k - d_{PIN+}^k = PIN_k, \quad \forall k = 1, 2, \dots, K \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J a_{ij}^k x_{ij} + d_{ARAU-}^k - d_{ARAU+}^k = ARAU_k, \quad \forall k=1,2, \dots, K \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J aem_{ij}^k x_{ij} + d_{EM-}^k - d_{EM+}^k = EM_k, \quad \forall k = 1, 2, \dots, K \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J at_{ij}^k x_{ij} + d_{TUR-}^k - d_{TUR+}^k = TUR_k, \quad \forall k = 1, 2, \dots, K \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J aps_{ij}^k x_{ij} + d_{PAST-}^k - d_{PAST+}^k = PAST_k, \quad \forall k = 1, 2, \dots, K \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J e_{ij}^k x_{ij} + d_{EMP-}^k - d_{EMP+}^k = EMP_k, \quad \forall k = 1, 2, \dots, K \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J dfl_{ij}^k x_{ij} + d_{DFLO-}^k - d_{DFLO+}^k = \Delta DFLO_k, \quad \forall k 1, 2, \dots, K \quad (7)$$

$$\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J dfa_{ij}^k x_{ij} + d_{DFAU-}^k - d_{DFAU+}^k = \Delta DFAU_k, \quad \forall k=1,2,\dots,K \quad (8)$$

Em que:

$PIN_k$  : meta para a produção de *Pinus* no período  $k$  em estéreos;

$ARAU_k$  : meta para a produção de araucária no período  $k$  em m<sup>3</sup>;

$EM_k$  : meta de produção de erva-mate no período  $k$  em arrobas;

$TUR_k$  : meta de turistas-dia no período  $k$  ;

$PAST_k$  : meta de produção de carne no período  $k$  em kg ;

$EMP_k$  : meta de quantidade de empregados-dia para o período  $k$ ;

$\Delta DFLO_k$  : meta de aumento na diversidade da flora no período  $k$ , em função da mudança de uso nos talhões, medido em número de espécies diferentes de flora;

$\Delta DFAU_k$  : meta de aumento na diversidade da fauna no período  $k$ , em função da mudança de uso nos talhões, medido em número de animais diferentes de fauna;

Nas restrições (7) e (8) considerou-se:

$$\text{Para } i = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 \text{ e } 13 \Rightarrow dfl_{ij} \text{ e } dfa_{ij} = \begin{cases} c \neq 0 & \text{se } j = 16 \text{ e } 18 \\ 0 & \text{se } j \neq 16 \text{ ou } 18 \end{cases}$$

$$\text{Para } i = 12 \text{ e } 14 \Rightarrow dfl_{ij} \text{ e } dfa_{ij} = 0, \forall j$$

Todas as variáveis de decisão são maiores ou iguais a zero.

Dependendo dos valores de  $d_{META_i^-}^k$  e  $d_{META_i^+}^k$ , três casos podem ocorrer no período  $k$ :

- 1)  $d_{META_i^-}^k = 0$  e  $d_{META_i^+}^k > 0$ , significando que a meta foi ultrapassada;
- 2)  $d_{META_i^-}^k > 0$  e  $d_{META_i^+}^k = 0$ , significando que a meta não foi atingida;
- 3)  $d_{META_i^+}^k = 0$  e  $d_{META_i^-}^k = 0$ , significando que a meta foi exatamente atingida.

### Restrições de área

Além das restrições de meta foram consideradas restrições de área que garantem que a soma das áreas onde os manejos são aplicados não ultrapasse a área do talhão.

$$\sum_{j=1}^J x_{ij} \leq A_i, \quad i = 1, 2, \dots, I$$

Em que  $A_i$  é a área do talhão  $i$  medido em ha.

Todo o modelo foi desenvolvido para estes dados, em função das condições atuais da fazenda. O planejamento de 5 anos foi escolhido para efetivação de uma análise de curto prazo. O mesmo modelo pode ser aplicado para períodos maiores, sem perda de generalidade.

O modelo de *goal programming* pode ser visto como um modelo de programação linear e foi resolvido através do MATLAB, usando uma de suas funções de otimização lp. O manual de otimização do MATLAB de Grace (1994), "*Optimization Toolbox User's Guide*", descreve as funções de otimização do MATLAB entre elas a função lp.

## RESULTADOS E ANÁLISES DO PROBLEMA DE GOAL PROGRAMMING

Foram resolvidos problemas de programação linear, considerando-se apenas restrições de área e otimizando um único objetivo de cada vez, a fim de verificar a produção máxima, caso toda a área fosse utilizada com um único objetivo. Verificou-se o limite de produção de cada meta. Comparando estes resultados com as metas propostas pela indústria, verificou-se que em alguns períodos as metas de

suprimento de madeira de *Pinus* não puderam ser atingidas. Para estes períodos, foram utilizados, nos problemas de *goal programming*, a produção máxima obtida nos problemas de programação linear, exceto quando a produção máxima fosse maior que a meta proposta. Tais valores encontram-se na Tabela 3, na coluna identificada por Meta teórica. Os valores ótimos para os problemas de programação linear podem ser encontrados no trabalho de Oliveira (2000).

TABELA 3: Soluções considerando-se pesos diferenciados para a meta de diversidade de flora e fauna.

TABLE 3: Solutions considering different weights for the goals of diversity of flora and fauna.

Variáveis	K	Meta Teórica	Meta Atingida	Meta Atingida	Meta Atingida	Meta Atingida
			Peso 1	Peso 10	Peso 100	Peso 1000
<i>Pinus</i>	1	29300	29300	29300	13650	9192,39
	2	35300	35000	35000	35500	3984,36
	3	6750	6700	6700	0	0
	4	35300	35000	35000	0	0
	5	30000	30000	30000	0	0
Araucária	1	170	170	170	170	170
	2	170	170	170	170	170
	3	170	170	170	170	170
	4	170	170	170	170	170
	5	170	170	170	170	170
Erva-mate	1	700	700	700	674,52	0
	2	700	700	700	170	165,99
	3	700	700	700	674,52	0
	4	700	700	700	170	165,99
	5	700	700	700	674,52	0
Turismo	1	200	200	200	292,72	429,78
	2	200	200	200	281,1	429,78
	3	200	200	200	269,49	429,78
	4	200	200	200	257,88	429,78
	5	200	200	200	200	429,78
Pastagens	1	2800	2800	2800	0	0
	2	2800	2800	2800	0	0
	3	2800	2800	2800	0	0
	4	2800	2800	2800	0	0
	5	2800	2800	2800	0	0
Emprego	1	50	39,66	39,66	39,08	50
	2	50	43,14	43,14	50	50
	3	50	27,2	27,2	29,78	48,36
	4	50	43,14	43,14	27,97	49,39
	5	50	40,32	40,32	22,8	50
Aumento na Diversidade da Flora	2	7	1,61	1,61	4,69	5,9
	3	14	3,23	3,23	9,38	11,8
	4	21	4,84	4,84	14,06	17,7
	5	28	6,46	6,46	18,75	23,6
Aumento na Diversidade da Fauna	2	1	0,16	0,16	0,5	0,7
	3	1	0,33	0,33	1	1,3
	4	2	0,49	0,49	1,5	2
	5	2	0,66	0,66	2	2,6

O modelo de *goal programming* foi resolvido primeiramente utilizando pesos unitários, significando que todas as metas têm a mesma prioridade. Os resultados estão apresentados na Tabela 3. Verificou-se que as metas de araucária, erva-mate, turismo e pastagens foram exatamente atingidas. As metas de *Pinus* ficaram próximas da meta teórica, por outro lado o número de funcionários e a diversidade da flora e da

fauna foram inferiores à meta. Para atingir à meta de manutenção de funcionários é necessário que uma outra meta tenha um desvio superior, aumentando a mão de obra e conseqüentemente o valor da função objetivo, gerando uma solução não dominada.

Supondo que a principal prioridade da indústria seja o aumento da diversidade biológica, esta solução não é a melhor. Uma forma de resolver esse problema é atribuir pesos maiores para as metas de diversidade. Foram considerados três pesos: 1000, 100 e 10, cada um, representando a importância da meta diversidade em relação às outras. Os resultados para tais casos também estão apresentados na Tabela 3.

Os manejos que devem ser aplicados em cada talhão dependem da prioridade de cada meta. Ao atribuir pesos iguais para todas as metas, a solução encontrada dá prioridade ao corte de *Pinus*, sendo os manejos escolhidos nos talhões de reflorestamento, regimes que incluem o corte de *Pinus*.

Atribuindo peso 1000 para a diversidade, a maior parte dos manejos escolhidos referem-se à mudança de uso. As áreas de reflorestamento são convertidas para proteção ambiental, deixando de produzir *Pinus*, aumentando assim a diversidade. A relação dos manejos escolhidos encontra-se nas Tabelas 4 e 5.

TABELA 4: Designação dos manejos utilizando pesos 1 para todas as metas (ha).

TABLE 4: Designation of the prescriptions management using weight 1 for all goals (ha).

Metas	Talhões de Reflorestamento							
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
M1	-	39	10	100	85,8	62,89	140	13
M18	96,73	-	-	5	-	-	30,69	-
Metas	Nativas			Preservação	Campos	Banhados		
	T9	T10	T11	T12	T13	T14		
M3	-	-	85	-	-	-		
M7	26,33	163,66	85	-	119,87	-		
M8	-	-	310,2	-	61,67	-		
M10	-	-	-	-	37,84	-		
M11	-	-	27,06	-	-	-		
M18	-	-	-	432,82	111,52	126,78		

TABELA 5: Designação dos manejos utilizando pesos 1000 para as metas de diversidade de flora e de fauna e peso 1 para as demais metas (ha).

TABLE 5: Designation of the prescriptions management using weight 1000 for the goals of diversity of flora and fauna and weight 1 for the others (ha).

Metas	Talhões de Reflorestamento							
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
M1	-	26,26	-	-	-	-	15,94	-
M18	96,73	8,88	10	105	85,8	62,89	154,75	13
Metas	Nativas			Preservação	Campos	Banhados		
	T9	T10	T11	T12	T13	T14		
M4	-	56,67	-	-	-	-		
M8	26,33	-	-	-	-	-		
M16	-	-	-	-	-	126,78		
M18	-	106,99	422,26	-	190,23	-		

O gráfico exibido na Figura 1 mostra a influência dos pesos nas metas de diversidade da flora. No eixo *x*, foram representados os pesos: 1, 10, 100 e 1000. Para cada peso, tem-se 4 colunas, cada coluna representando um período. As quatro primeiras colunas representam o aumento na diversidade da flora para pesos unitários em todos os critérios.

Nos problemas investigados, verificou-se que algumas metas estão em conflito, isto é, à medida que



uma das metas aumenta, a outra diminui. As metas que estão em maior conflito são as de produção de *Pinus* e de aumento da diversidade da flora ou da fauna. Então, foi feita uma análise dessas metas por meio de uma variação nos valores de produção de *Pinus*, com a utilização de pesos unitários e metas propostas anuais, sendo alteradas apenas as metas de *Pinus*.

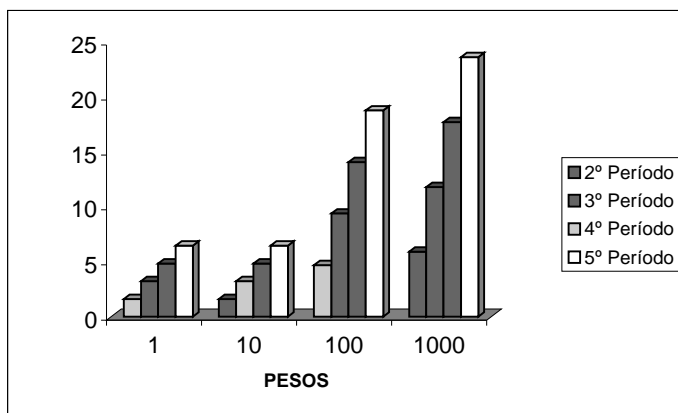


FIGURA 1: A influência dos pesos nas metas de diversidade da flora.

FIGURE 1: The influence of the weights in the goals of flora diversity.

A Figura 2 mostra a relação existente entre metas de *Pinus* e diversidade da flora no 5º período de planejamento. À medida que aumenta a meta de *Pinus*, a diversidade da flora diminui.

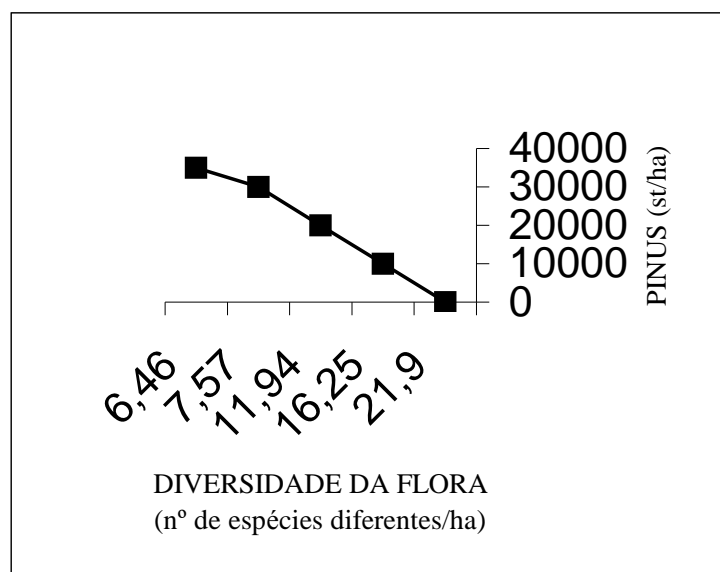


FIGURA 2: Objetivos conflitantes: *pinus* x diversidade da flora.

FIGURE 2: Conflicting objectives: *pine* x flora diversity.

Na Figura 2, observa-se que as metas de produção de *Pinus* e aumento na diversidade da flora são conflitantes. Se nenhuma meta de *Pinus* é atendida, o aumento na diversidade da flora é de aproximadamente 22 espécies. Quando as metas de produção de *Pinus* são maiores, observa-se que o número de espécies diferentes da flora decresce.

## CONCLUSÕES

### Conclusões inerentes à formulação de *goal programming*

Resolver problemas com múltiplos objetivos por meio de *goal programming* tem a vantagem de poder atingir todos os objetivos o mais próximo possível do ideal, sendo impossível uma solução ótima caso fossem considerados todos os objetivos simultaneamente, por meio da escolha de uma meta como objetivo principal e as demais sendo consideradas nas restrições.

Inicialmente, o problema foi resolvido com a utilização de pesos unitários. Como alguns objetivos estão em conflito, não é possível atingir completamente todas as metas. *Goal programming* procura uma forma de atingir todas as metas com o mínimo desvio possível.

Várias soluções foram obtidas, dependendo da prioridade e dos pesos considerados.

### Conclusões do estudo de caso

Vantagens:

- O modelo mostrou-se adequado para situações reais nos quais vários objetivos são almejados.
- Apesar de particularizado para um estudo de caso, o modelo apresenta uma metodologia útil e pouco utilizada, podendo ser ajustada para diversas situações e outras empresas.
- O estudo de caso mostrou que é possível encontrar soluções (manejos) atendendo o mais próximo possível de todos os objetivos, mesmo os conflitantes. Caso se deseje priorizar a produção de madeira, pesos adequados devem ser dados a estes objetivos. Por outro lado, se objetivos sociais e ambientais são mais importantes, a escolha dos manejos que levam a produção exclusivamente são menos utilizados, sendo escolhidos os que geram mais empregos e aumento de diversidade de flora e fauna.

Desvantagens:

Observaram-se também algumas desvantagens de ordem numérica tais como:

- Instabilidade da solução quando alterado o conjunto factível, mediante mudanças em coeficientes da matriz  $A$  de dados e mudanças de metas. Para algumas situações, foram constatados, nos testes, problemas de instabilidade.
- Geração de muitas restrições de igualdade.
- Requisição de certa experiência do decisor em relação aos pesos.

## AGRADECIMENTOS

Às Indústrias Pizzato, pelo fornecimento dos dados utilizados neste trabalho.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARP, A. P.; LAVIGNE R. D. Planning with goal programming: a case study for multiple-use of forested land. **The Forestry Chronicle**, v. 58, p. 225-232, Oct. 1982.
- BALTEIRO, D. L.; ROMERO, C. Modeling timber harvest scheduling problems with multiple criteria: an application in Spain. **Forest Science**, v. 44, n. 1, p. 47-56, 1998.
- CARNIERI, C; GAVINHO, L.; MAESTRI, R. Um sistema de planejamento florestal. In: ENCONTRO DE PLANEJAMENTO FLORESTAL, 2., 1991, Curitiba. **Anais...** Curitiba, 1991.
- FIELD, D. Goal programming for forest management. **Forest Science**, v. 19, n. 2, p. 125-135, 1973.
- GRACE, A. **Optimization Toolbox User's Guide MATLAB**. Massachusetts The math works Inc. p. 33 - 42, 1994.
- OLIVEIRA, F. **Aplicação de goal programming em um problema florestal**. 2000. Dissertação (Mestrado em Métodos Numéricos em Engenharia / Programação Matemática) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- RUSTAGI, P. K; BARE, B. B. Resolving multiples goal conflicts with interactive goal programming. **Can. J. For. Res.**, v. 17, n. 11, p. 1401-1407, 1987.
- SARAVIA, N.M.O.; SOUZA, L.A.; VALE, A.B. *et al.* Contribuição ao estudo da aplicação do uso múltiplo no planejamento de florestas nacionais. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 15, n. 3, p. 224-240, 1991.
- VOLPI, N. M. P., CARNIERI, C.; SANQUETTA, C. R., Uma análise da influência da estocasticidade das informações sobre um modelo de programação linear. **Pesquisa Operacional**, Rio de Janeiro, v. 20, n. 1, p. 101-116, 2000.