

FABIANE DE OLIVEIRA

APLICAÇÃO DE GOAL PROGRAMMING
EM UM PROBLEMA FLORESTAL

CURITIBA
2000

FABIANE DE OLIVEIRA

APLICAÇÃO DE GOAL PROGRAMMING EM UM PROBLEMA FLORESTAL

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Ciências.

Curso de Pós - Graduação em Métodos Numéricos em Engenharia – Programação Matemática,
Setor de Tecnologia e Ciências Exatas,
Universidade Federal do Paraná.

Orientadora: Prof^a. Dr.^a Neida Maria Patias Volpi.

Co-orientador: Prof. Dr. Carlos Roberto Sanquette.

CURITIBA

2000

FABIANE DE OLIVEIRA

APLICAÇÃO DE GOAL PROGRAMMING EM UM PROBLEMA FLORESTAL

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Curso de Pós - Graduação em Métodos Numéricos em Engenharia – Programação Matemática da Universidade Federal do Paraná, pela comissão formada pelos seguintes professores:

Prof^a. Dr^a. Neida Maria Patias Volpi
Departamento de Matemática – UFPR

Prof. Dr. Carlos Roberto Sanquette
Departamento de Silvicultura e Manejo – UFPR

Prof^a. Dr^a. Tamia Yamamoto
Departamento de Matemática – PUC

Curitiba, 21 de novembro de 2000

À minha família

AGRADECIMENTOS

À minha família, pelo apoio e incentivo durante a realização deste curso.

À professora Neida Maria Patias Volpi, pela presença sempre constante durante a realização deste trabalho e principalmente pelo companheirismo e amizade.

Ao professor Carlos Roberto Sanquetta, pela contribuição na área florestal.

Aos professores: Anselmo Chaves Neto, Beatriz Pierin Barros e Silva (in memoriam), Celso Carnieri, Luzia Vidal S. Zamboni, Maria Terezinha Arns Steiner, Neida Maria Patias Volpi e Rubens Robles Ortega Jr., pelos ensinamentos transmitidos.

Aos colegas, pela amizade formada durante o curso.

À coordenadora do curso, professora Maria Terezinha Arns Steiner, e aos funcionários do CESEC, pela disposição em sempre ajudar quando necessário.

Às Indústrias Pedro N. Pizzatto Ltda., pelo fornecimento dos dados utilizados neste trabalho.

A todos aqueles que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	viii
LISTA DE TABELAS.....	ix
LISTA DE ABREVIATURAS.....	xii
RESUMO.....	xiii
SUMMARY.....	xiv

CAPÍTULO 1

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA.....	1
1.2. OBJETIVOS.....	3
1.2.1 Objetivo geral.....	3
1.2.2 Objetivos específicos.....	3

CAPÍTULO II

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
-------------------------------	---

CAPÍTULO III

3. METODOLOGIA.....	9
3.1 MÉTODOS	9
3.1.1 Programação linear multi - objetivo.....	9
3.1.2. Programação linear.....	11
3.1.3. <i>Goal Programming</i>	12

CAPÍTULO IV

4. ESTUDO DE CASO.....	17
4.1. MODELO FLORESTAL.....	17
4.1.1 Introdução.....	17
4.1.2. Metas.....	22
4.1.3. Usos das áreas.....	24
4.1.4. Restrições.....	27

4.1.4.1. Restrições de meta.....	27
4.1.4.2. Restrições de área.....	30
4.1.5. As metas e o planejamento horizontal.....	31
4.1.6. Os coeficientes de capacidade do terreno.....	34
4.2. MODELOS DE PROGRAMAÇÃO LINEAR.....	52
4.2.1. 1.º Modelo de programação linear.....	52
4.2.2. 2.º Modelo de programação linear.....	53
4.2.3. 3.º Modelo de programação linear.....	53
4.2.4. 4.º Modelo de programação linear.....	54
4.2.5. Outros modelos de programação linear só com restrições de área.....	54
4.2.6. Outros modelos de programação linear com restrições de áreas e de metas....	55
4.3. MODELO DE <i>GOAL PROGRAMMING</i>	57
4.3.1. Modelo de <i>goal programming</i>	57
4.3.2. Execução do modelo de <i>goal programming</i>	60
4.4. RESULTADOS E ANÁLISE DOS PROBLEMAS DE PROGRAMAÇÃO LINEAR.....	65
4.5. RESULTADOS E ANÁLISE DOS PROBLEMAS DE <i>GOAL PROGRAMMING</i>	77
4.5.1. <i>Goal programming</i>	77
4.5.1.1. Resultados para o conjunto de Metas I	78
4.5.1.2. Resultados para o conjunto de Metas II	86
4.5.2. Gráficos com metas conflitantes	91

CAPÍTULO V

5. CONCLUSÕES.....	93
5.1. CONCLUSÕES GERAIS.....	93
5.2. PROBLEMAS NAS SOLUÇÕES.....	94
5.3. A INFLUÊNCIA DOS PESOS NA SOLUÇÃO.....	95
5.4. PROGRAMAÇÃO LINEAR VERSUS <i>GOAL PROGRAMMING</i>	95
5.5. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	97

6. ANEXOS

ANEXO1: DADOS DOS PROBLEMAS DE PROGRAMAÇÃO LINEAR	98
ANEXO 2. SOLUÇÕES DOS PROBLEMAS DE PROGRAMAÇÃO LINEAR.....	105
ANEXO 3: DADOS DOS PROBLEMAS DE <i>GOAL PROGRAMMING</i>	108
ANEXO 4: SOLUÇÕES DOS PROBLEMAS DE <i>GOAL PROGRAMMING</i>	113
ANEXO 5: MANEJOS ESCOLHIDOS PARA O CONJUNTO DE METAS I.....	115
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	116

LISTA DE FIGURAS

N.º		Página
01	Planta da área de propriedade das Indústrias Pedro N. Pizzatto Ltda. Local: Fazenda Santa Cândida	19
02	Legenda da planta da área de propriedade da firma Indústrias Pedro N. Pizzatto Ltda. Local: Fazenda Santa Cândida.....	20
03	Situação geográfica da Fazenda Santa Cândida	21
04	Aumento na diversidade da flora quando uma área de reflorestamento é convertida para área de preservação durante um período de 5 anos.....	47
05	Aumento na diversidade da flora quando uma área de nativas é convertida para área de preservação durante um período de 5 anos.....	48
06	Aumento na diversidade da flora quando uma área de campos é convertida para área de preservação durante um período de 5 anos.....	48
07	Representação do sistema $A X = b$ usado no modelo de <i>goal programming</i> ...	61
08	Representação do bloco A_4	62
09	A influência dos pesos nas metas de diversidade da flora.....	82
10	A influência dos pesos nas metas de diversidade da fauna.....	83
11	A influência dos pesos nas metas de manutenção de emprego.....	85
12	A influência dos pesos nas metas de diversidade da flora.....	88
13	A influência dos pesos nas metas de diversidade da fauna.....	88
14	A influência dos pesos nas metas de emprego.....	90
15	<i>Pinus</i> x diversidade da flora.....	91
16	<i>Pinus</i> x diversidade da fauna.....	92
17	Metas complementares.....	92

LISTA DE TABELAS

N.º		Página
01	Conversão de restrições de programação linear em restrições meta.....	14
02	Descrição dos talhões.....	25
03	Regimes de manejo em função das políticas de uso consideradas	26
04	Regimes de manejo para cada talhão.....	27
05	Área dos talhões em ha.....	31
06	Diversidade da flora.....	33
07	Diversidade da fauna	33
08	Metas anuais.....	34
09	Produção de <i>Pinus</i> /ha em diferentes idades	35
10	Coeficientes de produção de <i>Pinus</i> em st/ha/ano para cada talhão em diferentes idades (αp_{ij}^k).....	35
11	Coeficiente de produção de araucária (α_{ij}^k).....	36
12	Coeficiente de produção de erva-mate (aem_{ij}^k).....	36
13	Índices de visitação de turismo (at_{ij}^k).....	37
14	Índice de visitação de turismo para cada talhão (at_{ij}^k).....	37
15	Coeficiente de turismo (at_{ij}^k).....	38
16	Coeficiente de turismo para cada talhão i em função do manejo j , no período k , (α_{ij}^k).....	39
17	Coeficiente de turismo no manejo M16 para cada talhão i em todos os períodos k , (α_{ij}^k).....	39
18	Matriz de empregos (atividade) e (número de funcionários-dia)	40

19	Número de funcionários por hectare necessários no talhão i quando o manejo j for utilizado (e_{ij}^k).....	43
20	Número de funcionários por hectare necessários no talhão i quando o manejo j for utilizado (e_{ij}^k).....	46
21	Índice de diversidade da flora em função da mudança de uso ($nind_{ij}^k$).....	49
22	Índice de aumento na diversidade da flora (dfl_{ij}^k).....	50
23	Índice de diversidade da fauna em função da mudança de uso ($nind_{ij}^k$).....	51
24	Índice de aumento na diversidade da fauna (dfa_{ij}^k).....	51
25	Descrição dos problemas de programação linear com restrições de área	54
26	Descrição dos problemas de programação linear com restrições de área e de metas	56
27	Definição dos blocos da matriz A	63
28	Número de funcionários necessários para o corte de <i>Pinus</i>	65
29	Número de funcionários para atender o turismo nas áreas de reflorestamento..	66
30	Número de funcionários para as florestas nativas.....	66
31	Número de funcionários para as áreas preservadas.....	66
32	Número de funcionários para os campos.....	67
33	Número de funcionários para os banhados.....	67
34	Aumento na diversidade da flora.....	68
35	Aumento na diversidade da fauna.....	69
36	Resumo dos resultados de programação linear (só com restrições de área)....	70
37	Produção máxima e metas propostas pela indústria	70

38	Resultados dos problemas de programação linear com os manejos escolhidos para cada talhão.....	73
39	Resultados dos problemas de programação linear (com restrições de área e metas).....	76
40	Conjunto de metas I e II	77
41	Solução do problema de <i>goal programming</i> com o conjunto de metas I	78
42	Soluções considerando-se peso maior para a diversidade	80
43	Soluções considerando-se peso maior para a meta de emprego	84
44	Soluções dos problemas de <i>goal programming</i> com o conjunto de metas II...	86
45	Soluções considerando-se peso maior para a meta de emprego.....	89

LISTA DE ABREVIATURAS

BANH	Banhados
DFAU	Aumento na diversidade da fauna
DFLO	Aumento na diversidade da flora
EM	Corte de erva-mate
EMP	Emprego
GP	<i>Goal programming</i>
NAT	Áreas de nativas
ARAU	Corte de madeira (araucária)
PAST	Pastagens
PIN	Corte de madeira (<i>Pinus</i>)
PL	Programação linear
PRES	Áreas de preservação
PROT	Proteção ambiental
RFL	Áreas de reflorestamento
TUR	Turismo

RESUMO

Muitas das decisões a serem tomadas em problemas florestais envolvem múltiplos objetivos (financeiros, sociais, ambientais, entre outros), como também múltiplos usos, madeireiros e não-madeireiros. A resolução deste tipo de problema pode ser feita através de critérios de programação linear onde a solução ótima é encontrada otimizando apenas um dos objetivos e os demais são escritos na forma de restrições, podendo muitas vezes conduzir a problemas infactíveis. Além disso, a escolha de quais metas farão parte das restrições e qual será otimizada é muitas vezes difícil. Uma das formas de corrigir estas limitações da programação linear é utilizar técnicas de programação multi-objetivo. Neste caso, o conceito de solução ótima é substituído por uma solução satisfatória. Este trabalho tem como objetivo aplicar uma das técnicas de programação multi-objetivo em um problema florestal brasileiro através de um estudo de caso realizado na Fazenda Santa Cândida, em General Carneiro, Paraná. As áreas desta fazenda podem ser utilizadas para o corte de madeira (*Pinus* e de espécies nativas), corte de folhas de erva-mate, pastagens e turismo. Existe também uma preocupação com o aumento na diversidade da flora e da fauna, com a proteção ambiental e a manutenção dos empregos na fazenda. Um modelo florestal foi elaborado para verificar qual é a designação dos usos para cada área. Inicialmente o problema foi resolvido com base em critérios de programação linear, otimizando um único objetivo e considerando apenas as restrições de área, obtendo assim as produções máximas para um único objetivo. Em seguida, foram consideradas as restrições de áreas e de metas. Os objetivos foram otimizados individualmente e todas as soluções obtidas foram infactíveis. A seguir, foi aplicada uma das técnicas de programação multi-objetivo (*goal programming*) onde todos os objetivos são otimizados simultaneamente, permitindo uma flexibilidade entre as metas através de variáveis de desvio. Em *goal programming* várias soluções podem ser obtidas, e a melhor solução dependerá da prioridade de cada objetivo. Foi feita uma análise comparativa entre critérios de programação linear e critérios de *goal programming*, apontando as vantagens e desvantagens de cada algoritmo, através de um estudo de caso.

SUMMARY

Most decisions in forestry involve multiple objectives (financial, social, environmental, among others), as well as multiple uses, timber and non-timber forest products. The solution of this kind of problem can be made through linear programming approach where the optimum solution is just found optimizing one of the objectives and the others are written in the form of restrictions, usually leaving to infeasibility. Besides, the choice of which goals will be part of the restrictions and which will be optimized is sometimes difficult. One way of correcting these limitations of the linear programming is to use techniques of multi-objective programming. In this case, the concept of optimum solution is substituted by a satisfactory solution. This work has as objective to apply one of the techniques of multi-objective programming in a Brazilian forest problem through of a case study accomplished in the Santa Cândida Farm, in General Carneiro, Paraná. The areas of this farm can be used for the wood harvest (pine plantation and of native species), the harvest of erva-mate leaves, pasture and tourism. There is also a concern with the increase in the diversity of flora and fauna, with the environmental protection and the maintenance of the employees in the farm. A forest model was developed to indicate the designation of the uses at each area. Initially the problem was solved using linear programming approaches, optimizing only one objective and just considering the area restrictions, obtaining the maximum production for a single objective. After that, the restrictions of areas were also taken into account as well the goals. The objectives were individually optimized and all the obtained solutions were infeasible. Hence one of the techniques of multi-objective programming was applied (goal programming), where all the objectives were simultaneously optimized, allowing flexibility among the goals through deviation variables. In goal programming, several solutions can be obtained, and the best solution will depend on the priority of each objective. It was made a comparative analysis between the linear programming approach and the goal programming approach, pointing out the advantages and disadvantages of each algorithm, through the examination of a case study.

CAPÍTULO I

1. INTRODUÇÃO

1.1 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

As florestas públicas ou privadas são manejadas para atender vários objetivos, que podem ser econômicos, sociais e ambientais. Para atingir os objetivos econômicos, por exemplo, são considerados o corte de madeira para venda ou industrialização e a obtenção 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.

Os princípios de sustentabilidade advogam o alcance simultâneo desses objetivos. Entretanto, obter uma solução técnica ideal para acomodar esses três objetivos não é uma tarefa fácil. A Programação Matemática tem sido utilizada amplamente para a resolução de vários problemas na área florestal, podendo-se citar os trabalhos de FIELD (1973), ARP e LAVIGNE (1982), RUSTAGI e BARE (1987), BALTEIRO e ROMERO (1997), entre outros. Em particular, programação linear tem sido a técnica mais empregada na resolução de

problemas florestais; na literatura brasileira pode-se citar os trabalhos de SARAVIA et al. (1991), CARNIERI et. al. (1991) e VOLPI et al. (2000).

Infelizmente a resolução de problemas baseados nos princípios de sustentabilidade através de técnicas de programação linear pode facilmente conduzir a problemas infactíveis. A programação linear preocupa-se apenas com a otimização de um único objetivo sendo os demais representados através de restrições. Além disso, a escolha de quais metas farão parte das restrições e qual será otimizada é muitas vezes difícil, conforme BUONGIORNO e GILLES (1987). Uma das formas de corrigir estas limitações da programação linear é utilizar uma das técnicas de programação multi-objetivo (*goal programming*).

Considerando que:

- A programação multi-objetivo tem grande aplicabilidade na área de recursos naturais, devido às situações de múltiplo uso que freqüentemente implicam em múltiplos objetivos, (MENDOZA 1987);
- As técnicas de programação multi-objetivo são úteis quando são encontradas situações onde há necessidade de se tomar decisões com objetivos geralmente conflitantes. Ver por exemplo BRANS e MARESCHAL (1999);
- Muitas das decisões a serem tomadas em problemas florestais envolvem múltiplos objetivos (econômicos, sociais, ambientais, entre outros), como também múltiplos usos, madeireiros e não madeireiros. Algumas destas aplicações são encontradas nos trabalhos de FIELD (1973), DANE e WHITE (1977), ARP e LAVIGNE (1982) e BALTEIRO e ROMERO (1998), onde áreas florestais são designadas para diversos fins;

- A globalização da economia e as exigências de competição, principalmente no mercado externo, e a necessidade de se obter certificação do produto florestal exigem que outros objetivos além dos econômicos sejam alcançados;
- Técnicas para problemas com múltiplos objetivos são pouco difundidas no meio florestal brasileiro;
procurou-se desenvolver e aplicar uma das técnicas da programação multi-objetivo (*goal programming*) em um problema florestal brasileiro.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

- Aplicar *goal programming* num problema de planejamento florestal brasileiro.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Aplicar programação por metas (*goal programming*) em um problema florestal através de um estudo de caso, analisando sua performance e limitações;
- Decidir quais os regimes de manejos devam ser aplicados em talhões, de uma propriedade florestal de forma a atender as metas de produção, as metas sociais e as metas ambientais da empresa;
- Fazer uma análise comparativa entre técnicas de otimização de um critério (programação linear) e multi-critério (*goal programming*), através de um estudo de caso.

CAPÍTULO II

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A literatura florestal especializada apresenta vários trabalhos usando programação multi-objetivo. Um dos métodos utilizados na resolução de problemas com múltiplos objetivos é denominado programação por metas (*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, as funções objetivos são escritas na forma de metas, onde cada meta representa o valor que pretende ser atingido.

Os elementos básicos do método de *goal programming* foram introduzidos por CHARNES, COOPER e FERGUSON (1955) como uma alternativa do uso de programação linear. CHARNES e COOPER (1961) criaram o termo “*goal programming*” em seu livro texto *Management Models and Industrial Applications of Linear Programming*. Neste livro, *goal programming* foi sugerido como uma forma de solucionar problemas que são infactíveis através de programação linear.

Segundo SCHNIERDERJANS (1994), vários modelos de *goal programming* têm sido sugeridos na literatura. Um deles foi proposto por CHARNES e COOPER (1961) que sugeriram que cada restrição do modelo de programação linear fosse uma função separada, chamada de funcional. Estes funcionais são vistos como metas ou objetivos individuais e a melhor so-

lução para o problema é aquela que minimiza os desvios em relação às metas. CHARNES e COOPER (1977) apresentaram um modelo para a resolução de problemas de *goal programming*. IJIRI (1965) introduziu a idéia de combinar prioridades e pesos, CHARNES e COOPER (1977) sugeriram um modelo de *goal programming* que considerava a importância de cada objetivo através de pesos. Depois disto, vários modelos de *goal programming* têm sido sugeridos na literatura e muitos problemas são resolvidos através desta técnica.

Um dos primeiros trabalhos de impacto foi devido a FIELD (1973), que usou *goal programming* no manejo de um pequeno bosque com objetivos financeiros e recreativos.

LEUSCHNER et al. (1975) resolveram um problema de programação multi-objetivo em um problema florestal. O objetivo principal, produção de madeira, foi otimizado e os objetivos secundários foram escritos através de restrições.

DANE et al. (1977) descreveram como uma das técnicas de programação multi-objetivo (*goal programming*) foi utilizada no planejamento do manejo da terra da Floresta Nacional Mount Hood. As áreas desta floresta podiam ser usadas para o corte de madeira, recreação e caça. Estes usos estão associados a restrições de sedimentação, tráfego, consumo de água, esgoto, alojamento e unidades de acampamento.

SCHULER et al. (1977) realizaram um estudo piloto em uma área de 10.000 acres na Enseada Swan, uma área da Floresta Nacional Mark Twain em Missouri. As áreas desta floresta foram usadas para a recreação, caça, corte de madeira e pasto. *Goal programming* foi usado primeiramente para desenvolver um projeto básico para alocação de terra, no qual todas as metas seriam atingidas o mais próximo possível, sem violar as restrições. Depois várias outras combinações de níveis metas foram testadas com e sem restrições.

FIELD et al. (1980) ilustram o uso conjunto de programação linear e *goal programming* no manejo do corte de madeira, com os dados da Floresta Nacional Oconee na

Georgia. A floresta contém aproximadamente 35 mil hectares de terreno florestal comercial e possui plantações de *Pinus* de 40 a 60 anos de idade. O estudo de caso foi feito para um período de 150 anos e os objetivos foram: maximizar o volume de corte, maximizar o valor presente líquido da receita e minimizar o valor presente do custo.

ARP e LAVIGNE (1982) utilizaram *goal programming* em uma área florestal que foi dividida em vários compartimentos segundo restrições de uso do terreno. Quatro políticas de manejo foram envolvidas incluindo corte de madeira, caça, animais selvagens e recreação. As metas para cada tipo de área foram analisadas em termos dos coeficientes de uso do terreno variando o conjunto de prioridades das metas e o planejamento horizontal.

HOTVED et al. (1982) resolvem um problema com vários objetivos através do uso de programação linear e *goal programming*. O trabalho foi desenvolvido com os dados de uma companhia de polpa e papel localizada nos Estados Unidos. Esta companhia tinha como objetivos maximizar o volume do corte de madeira, maximizar o fluxo de caixa não descontados, maximizar o fluxo de caixa descontados e minimizar os custos descontados. A princípio, o problema foi resolvido através de programação linear onde cada objetivo foi otimizado individualmente e para cada problema uma solução ótima foi obtida. Em seguida, foram resolvidos vários problemas de *goal programming* considerando-se a prioridade de cada meta.

RUSTAGI e BARE (1987) descrevem um procedimento interativo de *goal programming* de duas fases para resolver os problemas de múltiplos usos e objetivos conflitantes existentes. Na primeira fase, são localizadas soluções eficientes que são proporcionalmente eqüidistantes da meta estabelecida, no sentido de encontrar o nível máximo que cada meta poderá ser atingida quando todos os objetivos forem considerados simultaneamente. Na fase de decisão, estes resultados são apresentados e uma solução compromisso é aceita.

SARAVIA et al. (1991) empregaram programação linear para encontrar a melhor distribuição de usos múltiplos, na FLONA de Passa Quatro, na região sul de Minas Gerais. As atividades desenvolvidas nesta floresta são pastagens, piscicultura, apicultura, hidrologia e recreação, e os principais objetivos são a maximização da produção de madeira, de forragem, da piscicultura e da apicultura em função de serem os produtos mais fáceis de se desenvolverem satisfatoriamente na área. A função objetivo do modelo de programação linear visa maximizar o volume de madeira a ser cortada no período de um ano, considerando restrições das atividades de uso múltiplo, restrições de orçamento – custo e restrições técnicas e de exploração.

KANGAS e KUUSIPALO (1993) incluem o objetivo de maximizar a diversidade como mais um dos objetivos de um problema de planejamento florestal. O estudo de caso foi realizado na floresta de Oijusluoma em Kuusamo, na Finlândia. São propostas seis estratégias de manejo em relação à biodiversidade: Na estratégia I, nenhum tratamento é considerado (não há corte de madeira); na estratégia II, são utilizados princípios normalmente aplicados ao manejo de florestas estaduais na Finlândia. A estratégia III tem como prioridade o manejo do alce e aves selvagens. As estratégias IV, V e VI preocupam-se com a regeneração da floresta, nos níveis de 48%, 81% ou 100% da floresta respectivamente.

BALTEIRO e ROMERO (1998) apresentam um procedimento multi-critério na programação do corte de madeira em uma floresta da Espanha utilizando os seguintes critérios: de proveito econômico, medido através da maximização do valor presente líquido da receita de um planejamento horizontal; político, requerendo que a produção de madeira seja a mesma para todos os períodos; de regularização da floresta, fazendo com que se assegure a perpetuação do corte de madeira na floresta.

Através do estudo das referências bibliográficas citadas, observou-se que a utilização de programação multi-objetivo é bastante indicada para resolver vários problemas florestais. Esta técnica pode ser aplicada tanto em florestas nacionais ou em empresas privadas, onde são encontrados vários objetivos entre eles, a preservação da fauna e flora, preservação dos recursos hídricos, incentivo ao turismo, corte de madeira e outros fins comerciais. Poucos destes estudos foram desenvolvidos no Brasil, o que gerou o principal objetivo deste projeto que é o de aplicar *goal programming* em uma situação florestal brasileira.

CAPÍTULO III

3. METODOLOGIA

3.1 MÉTODOS

Para desenvolver este projeto foram utilizadas técnicas de programação linear e programação por metas (*goal programming*). Inicialmente o problema de planejamento florestal foi resolvido utilizando programação linear. Os objetivos foram otimizados individualmente e uma solução ótima foi obtida. Em seguida foi aplicado *goal programming*, onde todos os objetivos foram otimizados simultaneamente, porém parcialmente, e um conjunto de soluções eficientes encontrado. Através da comparação dos resultados obtidos pelos dois métodos, foi feita uma análise estabelecendo as vantagens e desvantagens de um método em relação a outro.

3.1.1 Programação Linear Multi – Objetivo

Problemas envolvendo múltiplos objetivos podem ser resolvidos utilizando programação linear, onde um dos objetivos, o mais importante, é otimizado e os demais são considerados nas restrições. Este procedimento possui algumas desvantagens tais como:

- Representar as metas por meio de restrições de programação linear geralmente conduz a problemas infactíveis. Em problemas grandes é difícil encontrar a restrição que causa a infactibilidade.

- A escolha de qual objetivo deverá ser otimizado é muitas vezes difícil ou subjetiva.

A programação multi-objetivo apresenta uma forma de solucionar estes problemas, onde a solução ótima do problema de programação linear é substituída por um conjunto de soluções, não necessariamente ótimas no sentido da programação linear, mas soluções eficientes.

Um problema de programação multi-objetivo pode ser representado da forma:

$$\text{Max } \{ z_1(x), z_2(x), \dots, z_n(x) \}, \quad x \in \Omega$$

onde

x : variável de decisão;

Ω : conjunto de alternativas possíveis;

$\{z_1(x), z_2(x), \dots, z_n(x)\}$: conjunto de critérios avaliados.

As soluções obtidas poderão 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. Então dado um conjunto de soluções factíveis Ω , o conjunto de soluções não dominadas S , é definido como segue:

$S = \{ x : x \in \Omega, \text{ não existe outro } y \in \Omega \text{ tal que } z_h(y) > z_h(x) \text{ para qualquer } h \in \{1, 2, \dots, n\} \text{ e } z_j(y) \geq z_j(x) \text{ para todo } j \neq h \}$. Caso contrário, a solução é dita dominada e o conjunto das mesmas, conjunto das soluções dominadas.

Existem vários métodos para gerar um conjunto de soluções não dominadas. Alguns deles estão descritos em GOICOECHEA (1982): Método dos pesos, método da restrição ε , método multi-objetivo linear de Phillips, método multi-objetivo linear de Zeleny. Os dois primeiros podem ser utilizados quando as funções objetivos e as restrições não são lineares e os dois últimos são usados quando temos somente funções objetivos e restrições lineares.

Em geral, o decisor prefere um conjunto de alternativas não muito grande. Para reduzir o conjunto de soluções não dominadas, como também para considerar preferências nos critérios, facilitando em parte a tomada de decisões é que outros métodos foram propostos. O método que será utilizado neste trabalho é denominado programação por metas ou *goal programming*. Serão descritas a seguir as principais características de programação linear e *goal programming*.

3.1.2 Programação Linear

Segundo PUCCINI (1990), os modelos de programação linear têm as seguintes características:

- Um critério de escolha das variáveis de decisão constituído por uma função linear das variáveis. Esta função é denominada função objetivo;
- As relações de interdependência entre as variáveis de decisão são expressas por um conjunto de equações e/ou inequações lineares;
- As variáveis de decisão do modelo são não – negativas.

O modelo geral de programação linear está apresentado abaixo em notação matricial:

$$\max \quad z = cx$$

sujeito a:

$$\begin{aligned} Ax &\leq b \\ x &\geq 0 \end{aligned}$$

onde A ($m \times n$) é chamada matriz tecnológica;

x ($n \times 1$): vetor das variáveis de decisão;

b ($m \times 1$): vetor dos recursos;

c ($1 \times n$): vetor dos coeficientes da função objetivo z .

Modelos de programação linear são casos particulares de modelos de *goal programming* na situação em que um objetivo é considerado.

3.1.3 Goal Programming

Em programação linear, a limitação de recursos pode impedir a possibilidade de atingir todas as metas simultaneamente. A programação linear apresenta uma solução ótima somente quando o problema é factível, isto é, quando todas as restrições impostas pelo problema são consistentes (válidas simultaneamente). 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, as funções objetivo são escritas na forma de metas, onde cada meta representa o valor que pretende ser atingido. As metas podem ou não ser atingidas completamente e para permitir esta flexibilidade são utilizadas variáveis de desvio d^+ e d^- , indicando o quanto o objetivo foi atingido ultrapassando a meta e quanto faltou para que essa meta fosse atingida, respectivamente. *Goal programming* procura uma forma de atingir todas as metas o mais próximo possível sendo portanto o objetivo de *goal programming* minimizar a soma dos desvios para todas as metas. As variáveis de desvios d^+ e d^- tem a mesma interpretação que variáveis de folga e excesso de um modelo de programação linear.

A função objetivo de um problema de *goal programming* é composta por todas ou parte das variáveis de desvio da meta e seu objetivo geral é minimizar a soma destes desvios para as metas consideradas. A função objetivo é escrita da seguinte forma:

$$\min \quad z = \sum_{i=1}^G (d_i^+ + d_i^-), \text{ onde } G \text{ representa o número total de metas do problema.}$$

Segundo BUONGIORNO e GILLESS (1987), esta formulação da função objetivo pode causar problemas se as variáveis de desvios da meta estiverem em unidades muito diferentes. Neste caso pode-se minimizar a soma dos pesos dos desvios para todas as metas, podendo-se reescrever a função objetivo como segue:

$$\min \quad z = \sum_{i=1}^G (w_i^+ d_i^+ + w_i^- d_i^-)$$

onde w_i^+ e w_i^- são os pesos correspondentes aos desvios d_i^+ e d_i^- respectivamente.

Os pesos podem ser cardinais ou ordinais. Os pesos ordinais definem uma ordem de preferência entre as metas. Os pesos cardinais utilizam valores para identificar a importância de cada meta. Os pesos cardinais podem ser unitários ou relativos. Os pesos relativos além de expressar a importância relativa de cada meta fazem com que todos os desvios sejam adimensionais pela divisão do peso unitário pelo valor da meta. A nova expressão da função objetivo é:

$$\min \quad z = \sum_{i=1}^G \left(\frac{w_i^+ d_i^+ + w_i^- d_i^-}{g_i} \right)$$

onde g_i é o valor da meta i .

Neste caso, os valores relativos dos novos coeficientes de d_i^+ e d_i^- expressam a importância dos desvios em porcentagem para cada uma das metas.

Quando pesos são atribuídos para cada variável de desvio da meta tem-se uma solução; se esta não for eficiente os pesos são mudados e uma nova solução é calculada. Estas iterações continuam até que uma solução eficiente seja obtida. Talvez aí resida a maior fraqueza deste método que é a escolha adequada dos pesos para cada meta, de forma que ele realmente represente a importância que é dada à meta. Também pode ocorrer que a solução encontrada não seja uma solução não dominada. Para resolver esta situação, podem-se au-

mentar as metas (em problemas de maximizar um objetivo) que o conjunto de factibilidade altera e com isto pode alterar também a dominância da solução.

Dependendo do problema, a função objetivo pode ser modificada. SCHNIEDERJANS (1994) cita a Tabela 01 para a conversão de restrições de programação linear em restrições de programação em meta somente com as variáveis de desvios necessárias.

TABELA 01: CONVERSÃO DE RESTRIÇÕES DE PROGRAMAÇÃO LINEAR EM RESTRIÇÕES META

Restrições de programação linear	Restrições de meta	Variáveis de desvio a serem minimizadas na função objetivo
$f(x_j) \geq b_i$	$f(x_j) - d_i^+ + d_i^- = b_i$	d_i^-
$f(x_j) \leq b_i$	$f(x_j) - d_i^+ + d_i^- = b_i$	d_i^+
$f(x_j) = b_i$	$f(x_j) - d_i^+ + d_i^- = b_i$	d_i^- e d_i^+

Se a restrição meta for da forma maior igual somente d^- deve ser minimizado porque a preocupação é com o desvio inferior à meta, desvios superiores à meta serão aceitos. Se a restrição for da forma menor e igual, minimizam-se os desvios d^+ , desta forma serão aceitos apenas desvios inferiores à meta e os desvios superiores à meta serão minimizados. Se a restrição meta for uma igualdade, ambos os desvios devem ser minimizados para que a meta seja exatamente atingida.

Muitas vezes as metas não podem ser atingidas simultaneamente devido a limites de recursos. Neste caso há uma necessidade de estabelecer prioridades para as metas. Deste modo nenhuma meta será satisfeita antes que a meta de prioridade principal seja atingida. Se forem utilizados pesos cardinais esta prioridade pode ser estabelecida através da multiplicação do peso por um fator que indica o quanto uma meta é mais importante que outra, isto é, se a primeira meta for duas vezes mais importante que a segunda meta multiplica-se o peso da primeira meta pelo valor dois.

Uma outra forma de expressar a função objetivo em *goal programming* é através da utilização de pesos ordinais. Este procedimento consiste em ordenar as metas em ordem decrescente, da maior prioridade para a menor. Desta forma os recursos disponíveis são utilizados primeiramente para satisfazer a meta de maior prioridade, e os recursos restantes são utilizados para as outras metas. O procedimento é o seguinte:

São resolvidos vários problemas. Em cada problema um único desvio é minimizado. Assumindo que a meta 1 tem prioridade superior a todas as outras, a meta 2, segunda prioridade e assim por diante, tem-se como função objetivo do primeiro problema :

$$\min \quad z = d_1^+ + d_1^-$$

onde d_1^+ e d_1^- são os desvios referentes à meta de maior prioridade. As demais metas são consideradas no problema através de restrições - meta. Ao ser resolvido o primeiro problema tem-se o valor ótimo referente à primeira meta. Este valor é utilizado como restrição de igualdade (sem desvios) no segundo problema e então serão minimizados os desvios referentes à meta de segunda maior prioridade. Este procedimento continua até que os desvios referentes a todas as metas sejam minimizados. A idéia de fixar pesos ordinais como coeficientes da função objetivo se estende a situações nas quais algumas metas são mais importantes que outras. Esta consideração é importante em situações onde todas as metas não podem ser satisfeitas simultaneamente e apenas algumas metas podem ser atingidas somente se outra meta for reduzida. Os pesos ordinais são utilizados geralmente quando existe dificuldade na determinação de pesos relativos.

Formulação geral de *goal programming* com pesos cardinais:

A formulação matricial do problema pode ser expressa na forma:

$$\text{Minimize } z = w^+ \cdot d^+ + w^- \cdot d^-$$

Sujeito a:

$$A \cdot x - d^+ + d^- = M$$

$$B \cdot x \approx b$$

onde:

\approx pode ser $\leq, =, \geq$

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

z : função objetivo;

w^+ e w^- : são vetores ($1 \times m$) de pesos das metas;

A : matriz ($m \times n$) de coeficientes tecnológicos referente às restrições metas;

B : matriz ($p \times n$) de outras restrições não metas;

M : vetor ($m \times 1$) que representa as metas a serem atingidas;

b : vetor de recursos ($p \times 1$) para as restrições não metas;

d^+ : vetor ($m \times 1$) representando desvios positivos das m metas;

d^- : vetor ($m \times 1$) representando desvios negativos das m metas;

x : vetor ($n \times 1$) das variáveis de decisão.

FIELD (1973) sugere os seguintes passos para a resolução de um problema 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. Estes pesos expressam a importância das metas.
- (3) Incorpore a estrutura de importância definida em (2) no modelo.

CAPÍTULO IV

4. ESTUDO DE CASO

4.1 MODELO FLORESTAL

4.1.1 Introdução

O estudo de caso foi executado em uma área de 2.092,24 ha referente a uma das fazendas das Indústrias Pizzatto (Fazenda Santa Cândida), em General Carneiro, Paraná, considerando-se um período de planejamento de 5 anos. Esta fazenda possui áreas de preservação permanente, áreas de reflorestamento, campos, banhados e florestas nativas, como pode ser visto na Figura 01. A Figura 02 apresenta a legenda do mapa e a Figura 03 a localização geográfica da fazenda. Cada área específica foi dividida em regiões menores chamadas talhões, com características homogêneas de idade, de localização, de espécies ocorrentes e de topografia. Através de uma análise no mapa da fazenda, observa-se que a mesma possui um total de 14 talhões, T_i ($i = 1, \dots, 14$) descritos a seguir:

- Talhões de reflorestamento: T1 a T8;
- Talhões com espécies nativas (floresta densa): T9 a T11;
- Talhão de áreas de preservação: T12 ;
- Talhão misto de campos e florestas (floresta aberta): T13;
- Talhão de banhado, infra-estrutura e outros: T14.

A maior parte das áreas de reflorestamento é formada de *Pinus taeda*.

Nas florestas nativas, a espécie predominante é a araucária (*Araucaria angustifolia*) juntamente com a erva-mate (*Ilex paraguariensis*). Algumas das áreas da Fazenda Santa Cândida são de baixa densidade florestal, onde se pratica o sistema silvopastoril, com manejo florestal praticado em conjunto ao manejo de animais, especialmente búfalos. Nesses locais são cortadas apenas as árvores senis e mortas, na maioria araucária. Existem algumas áreas da região que são preservadas. Estas áreas podem ser utilizadas para a proteção ambiental e para o turismo. São nestas áreas onde existem os maiores índices de diversidade da flora. Os banhados são áreas utilizadas para o turismo e proteção ambiental. Eles possuem o maior índice de diversidade da fauna.

Este projeto pretende identificar o melhor regime de manejo que deve ser aplicado em cada talhão atendendo todos os objetivos da empresa.

Por regime de manejo, entende-se o conjunto de usos que podem ser realizados simultaneamente. Por exemplo, o corte de araucária e o corte de erva-mate. O conjunto destes dois usos é denominado de regime de manejo.

FIGURA 01: PLANTA DA ÁREA DE PROPRIEDADE DAS INDÚSTRIAS PEDRO N. PIZZATTO LTDA. LOCAL: FAZENDA SANTA CÂNDIDA

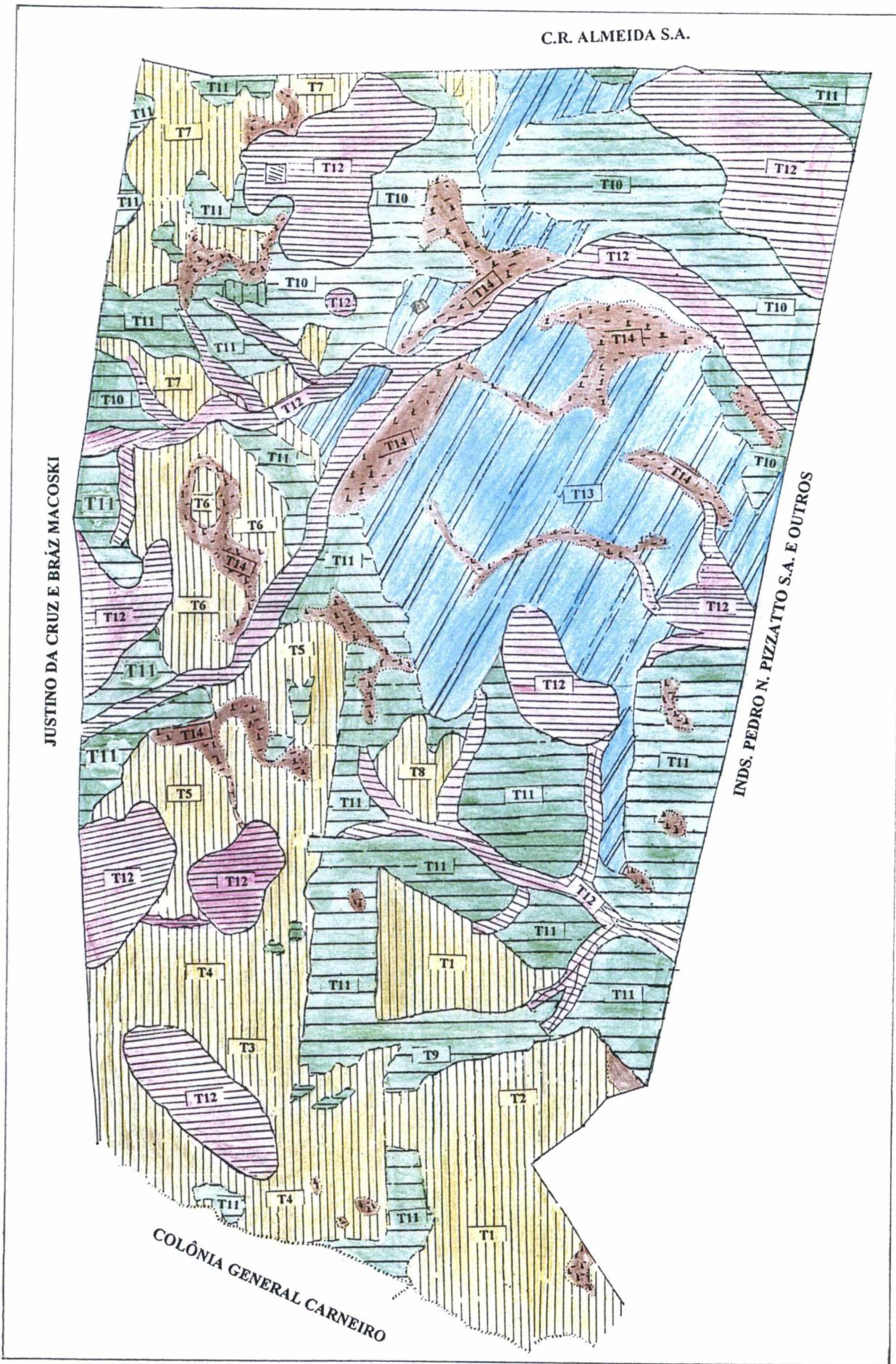
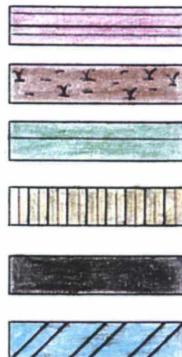


FIGURA 02: LEGENDA DA PLANTA DA ÁREA DE PROPRIEDADE DA FIRMA INDÚSTRIAS PEDRO N. PIZZATTO LTDA. LOCAL: FAZENDA SANTA CÂNDIDA.

CONVENÇÕES



PRESERVAÇÃO

BANHADO

NATIVAS

REFLORESTAMENTO

SEDE DA FAZENDA

CAMPO E FLORESTAS

ÁREAS

ÁREA DE PRESERVAÇÃO: 438,81 ha

ÁREA DE REFLORESTAMENTO: 583,11 ha

ÁREA DE NATIVAS: 612,65 ha

ÁREA MISTA DE CAMPOS E FLORESTAS: 330,89 ha

INFRA-ESTRUTURA, BANHADOS E OUTROS: 126,78 ha

ÁREA TOTAL: 2092,24 ha

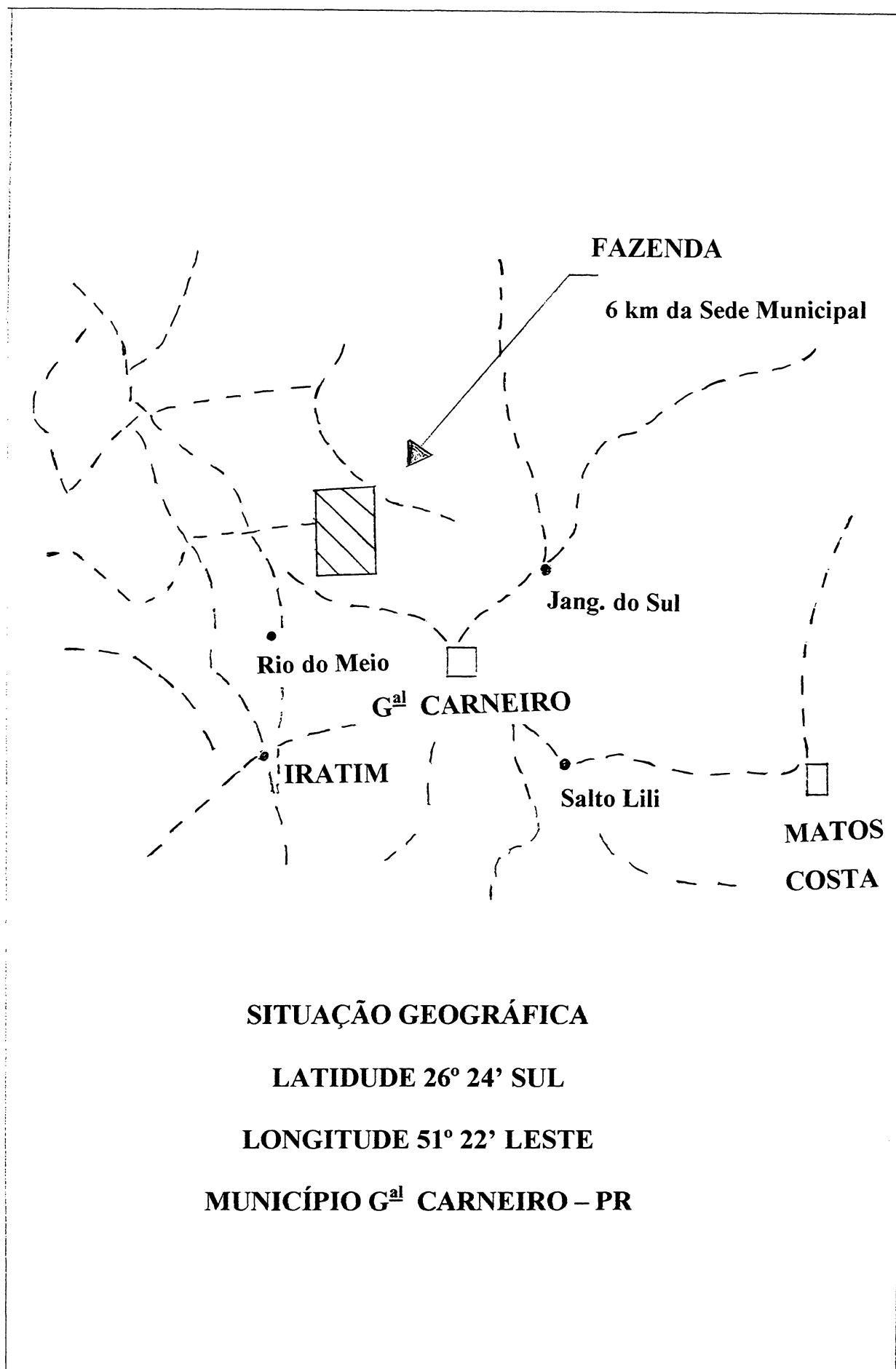
PLANTA DO TERRENO DE PROPRIEDADE DA FIRMA

INDS. PEDRO N. PIZZATTO LTDA

LOCAL: SANTA CÂNDIDA

MUNÍCIPIO: GENERAL CARNEIRO – PR

FIGURA 03: SITUAÇÃO GEOGRÁFICA DA FAZENDA SANTA CÂNDIDA



4.1.2 Metas

As áreas da Fazenda Santa Cândida podem ser utilizadas para o corte de madeira (*Pinus* e araucária), corte de erva-mate, pastagens e turismo. Além destes usos existe uma preocupação com a preservação ambiental e a diversidade da flora e da fauna. Este projeto envolve objetivos de naturezas diferentes como por exemplo, objetivos ambientais (preservação ambiental e diversidade da flora e fauna), objetivos sociais (manutenção de um certo nível de emprego), objetivos econômicos (através do comércio da madeira *Pinus*, de araucária e de erva-mate) entre outros. Foram utilizadas técnicas de programação linear e de *goal programming*, procurando o melhor regime de manejo para cada talhão, otimizando os seguintes objetivos:

- Atingir a meta de corte de madeira (*Pinus*):

As Indústrias Pizzatto possuem uma fábrica cuja demanda de madeira é suprida através do corte de sua própria plantação de *Pinus*. O ideal é atingir exatamente a meta de *Pinus* pois, havendo falta de madeira, as indústrias terão que comprar de outros proprietários para que a demanda seja satisfeita e, havendo sobra, corre-se o risco de perda da mesma devido à não utilização imediata da madeira que poderá se estragar ficando exposta ao tempo nos pátios;

- Atingir a meta corte de madeira (araucária):

A meta deve ser exatamente atingida devido às mesmas condições expostas no corte de madeira (*Pinus*);

- Corte de erva-mate:

Existe uma demanda de erva-mate ao ano que deverá ser atendida. Não é uma das metas principais, pois esta demanda poderá ser suprida com a erva-mate das outras fazendas da indústria;

- Maximizar a capacidade hoteleira:

Maximizar o número de turistas visitando a fazenda, levando-se em conta que na fazenda existe um hotel com capacidade diária para 200 pessoas;

- Pastagens:

A empresa possui uma criação de búfalos na fazenda que é explorada comercialmente. Segundo MARQUES (1998), a criação de búfalos é direcionada basicamente para a produção de carne, utilizando pastagens nativas localizadas principalmente em áreas alagadiças e, em menor escala, em pastagens cultivadas em terra firme. Mesmo em pastagens de baixa qualidade ou em locais de difícil acesso às forrageiras, os búfalos possuem elevada capacidade para produzir carne, em função da habilidade de seu organismo em digerir alimentos grosseiros (com alto teor em fibras) e da facilidade de locomoção em áreas alagadas ou atoladiças. Em várias condições de manejo, os búfalos apresentam ganho de peso satisfatório, o que os transforma em opção viável de produção;

- Manutenção de empregos:

O número de funcionários deve ser o suficiente para atender tanto as necessidades da fazenda como também as de turismo, no dia-a-dia do hotel e podem variar de acordo com a produção e com a demanda dos produtos madeireiros e não-madeireiros. A manutenção dos empregos acarreta um desenvolvimento econômico para a região;

- Maximizar a diversidade da flora:

A diversidade da flora é identificada pelo número de espécies diferentes encontradas na região. A mudança na diversidade depende principalmente da atividade desenvolvida no talhão. O manejo deve ser escolhido a manter um certo nível mínimo de espécies na fazenda. Ao maximizar a diversidade tem-se um aumento na variedade e na quantidade de cada espécie. E isso contribui com a preservação ambiental, além de atrair mais turistas;

- Maximizar a diversidade da fauna:

Pelos mesmos motivos expostos na diversidade da flora.

4.1.3 Usos das áreas

São considerados seis usos nas áreas citadas de acordo com os objetivos descritos.

- Corte de madeira (*Pinus*)
- Corte de madeira (araucária)
- Corte de erva-mate
- Turismo
- Pastagens
- Proteção ambiental

O modelo pode também não utilizar a área para algum dos tipos de usos citados.

Cada talhão pode ser utilizado para diversos usos de acordo com as suas características.

Nos talhões de reflorestamento T1 a T8, onde são encontradas plantações de *Pinus*, é feito o corte da madeira e a área pode ser designada ao turismo nos períodos que não houver o corte. Tais talhões também podem ser convertidos para serem usados como área de preservação ambiental quando houver necessidade do aumento na diversidade tanto de flora quanto de fauna. Os talhões de nativas (florestas densas) T9 a T11 são utilizados para o corte de madeira (araucária), corte de erva-mate, turismo e proteção ambiental. Os talhões de araucária foram separados de acordo com a seguinte classificação, baseada no mapa da Figura 01:

- Áreas com baixo potencial de araucária; áreas com manchas de araucária, floresta degradada / capoeirinha; áreas com baixo volume de araucária, pasto com taquara (com produção de 2 m³/ha): T11;

- Áreas com médio potencial volumétrico de araucária (com produção de 3m³ /ha): T10;
- Áreas com alta densidade de araucária (produção máxima de 5 m³/ha) : T9.

Talhões de áreas preservadas, são usados somente para proteção ambiental e turismo.

As áreas de campos e florestas produtivas de baixo volume (florestas abertas), T13, são usadas para o corte de madeira nativa e erva-mate, pastagens e turismo e as áreas de banhados, T14, para proteção ambiental e turismo. Os demais objetivos associados com a diversidade da flora e da fauna e o número de empregados contratados serão considerados em todos os talhões. Os tipos de talhões com suas áreas respectivas estão apresentados na Tabela 02.

TABELA 02: DESCRIÇÃO DOS TALHÕES

Talhão	Descrição	Nomenclatura	Área (ha)
1	Reflorestamento	REFL	96,73
2	Reflorestamento	REFL	39
3	Reflorestamento	REFL	10
4	Reflorestamento	REFL	105
5	Reflorestamento	REFL	85,8
6	Reflorestamento	REFL	62,89
7	Reflorestamento	REFL	170,69
8	Reflorestamento	REFL	13
9	Nativas com alta densidade	NAT	26,33
10	Nativas com médio potencial	NAT	163,66
11	Nativas com baixo potencial	NAT	422,66
12	Preservação ambiental	PRES	438,81
13	Campos	CAMPOS	330,89
14	Banhados	BANH	126,78

Em função das políticas de uso consideradas e a descrição de cada talhão, definiram-se os regimes de manejo M_j ($j = 1, \dots, 18$) para serem utilizados nos vários talhões e estão apresentados na Tabela 03. Por exemplo, o manejo M1 representa ações apenas para corte de madeira de reflorestamento de *Pinus*. Manejo M5 representa ações para corte de madeira na-

tiva, com corte de erva-mate como também para pastagens. O corte de erva-mate é feito de 2 em 2 anos e para isso são considerados dois tipos de manejos, efetuando o corte no 1.^º, 3.^º e 5.^º períodos ou com o corte no 2.^º e 4.^º períodos; assim, alguns dos manejos vão diferenciar apenas pelo período em que a erva-mate poderá ser cortada. Isso acontece nos manejos M3, M5, M7, M9, M11 e M13 que se referem ao corte nos períodos 1, 3 e 5 e os manejos M4, M6, M8, M10, M12 e M14 referentes ao corte nos períodos 2 e 4.

TABELA 03: REGIMES DE MANEJO EM FUNÇÃO DAS POLÍTICAS DE USO CONSIDERADAS

Ações	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16	M17	M18
1.PIN	x																	
2.ARAU		x	x	x	x	x												
3.EM			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x					
4.TUR										x	x	x	x	x	x	x		
5.PAST					x	x			x	x			x	x			x	
6.PROT																x		x

onde:

PIN: corte de madeira (*Pinus*)

ARAU: corte de madeira (araucária)

EM: corte de erva-mate

TUR: turismo

PAST: pastagens

PROT: proteção ambiental

As políticas de uso são aplicadas de acordo com as características de cada talhão. A Tabela 04 mostra quais são os manejos possíveis em cada talhão.

TABELA 04: REGIMES DE MANEJO PARA CADA TALHÃO

Manejos	Talhões													
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14
M1	x	x	x	x	x	x	x	x						
M2									x	x	x		x	
M3									x	x	x		x	
M4									x	x	x		x	
M5													x	
M6													x	
M7								x	x	x		x		
M8								x	x	x		x		
M9												x		
M10												x		
M11								x	x	x		x		
M12								x	x	x		x		
M13												x		
M14													x	
M15	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
M16		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
M17													x	
M18		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

Os regimes de manejo M16 e M18, tanto nas áreas de reflorestamento ou de floresta densa e campos, representam manejos de mudança de uso, isto é, convertem o talhão para uma área de preservação.

4.1.4 Restrições

Foram considerados dois grupos de restrições:

1. Restrições de meta;
2. Restrições de área.

Estas restrições são representadas matematicamente através de equações lineares.

4.1.4.1 Restrições de meta

As metas apresentadas em 4.1.2 são representadas pelas seguintes equações:

Meta de *Pinus*:

$$(1) \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J ap_{ij}^k x_{ij} = PINUS_k , \forall k = 1, 2, \dots, K$$

Meta de Araucária:

$$(2) \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J ar_{ij}^k x_{ij} = ARAUCÁRIA_k , \forall k = 1, 2, \dots, K$$

Meta de Erva-Mate:

$$(3) \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J aem_{ij}^k x_{ij} = ERVA-MATE_k , \forall k = 1, 2, \dots, K$$

Meta de Turismo:

$$(4) \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J at_{ij}^k x_{ij} = TURISMO_k , \forall k = 1, 2, \dots, K$$

Meta de Pastagens:

$$(5) \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J aps_{ij}^k x_{ij} = PASTAGENS_k , \forall k = 1, 2, \dots, K$$

Meta de Emprego:

$$(6) \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J e_{ij}^k x_{ij} = EMPREGO_k , \forall k = 1, 2, \dots, K$$

Meta de aumento na Diversidade da Flora:

$$(7) \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J df\eta_{ij}^k x_{ij} = \Delta DFLO_k , \forall k = 1, 2, \dots, K$$

Meta de aumento na Diversidade da Fauna:

$$(8) \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J df\alpha_{ij}^k x_{ij} = \Delta DFAU_k , \forall k = 1, 2, \dots, K$$

onde:

$i \in \{1, \dots, I\}$ representam os talhões; $i = 1, \dots, 14$

$j \in \{1, \dots, J\}$ representam os manejos; $j = 1, \dots, 18$

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

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

ap_{ij}^k : coeficiente de produção de madeira de *Pinus* no talhão i segundo o manejo j , no período k , medido em estéreos/ha ;

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

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

$ARAUCÁRIA_k$: meta para a produção de araucária no período k em m^3 ;

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

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

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;

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

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

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

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;

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

df_{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;

$\Delta DFLO_k$: 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;

dfl_{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;

$\Delta DFAU_k$: 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:

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

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

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

4.1.4.2 Restrições de área

As áreas de cada talhão foram calculadas através do mapa da fazenda e estão apresentadas na Tabela 05, conforme nomenclatura apresentada na Tabela 02.

Foram considerados 14 talhões, 18 regimes de manejo e um planejamento horizontal de 5 anos com períodos de 1 ano, totalizando 252 variáveis de decisão.

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

TABELA 05: ÁREA DOS TALHÓES EM ha

	REFL	NAT	PRES	CAMPOS	BANH	Sub-total
T1	96,73	0	0	0	0	96,73
T2	39	0	0	0	0	39
T3	10	0	0	0	0	10
T4	105	0	0	0	0	105
T5	85,8	0	0	0	0	85,8
T6	62,89	0	0	0	0	62,89
T7	170,69	0	0	0	0	170,69
T8	13	0	0	0	0	13
T9	0	26,33	0	0	0	26,33
T10	0	163,66	0	0	0	163,66
T11	0	422,66	0	0	0	422,66
T12	0	0	438,81	0	0	438,81
T13	0	0	0	330,89	0	330,89
T14	0	0	0	0	126,78	126,78
Sub-total:	583,11	612,65	438,81	330,89	126,78	2092,24

Foram consideradas as seguintes restrições de área:

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

onde A_i é a área total do talhão i medido em ha.

4.1.5 As metas e o planejamento horizontal

Considerou-se que a empresa tem como meta total a produção de 10.000 st/mês de *Pinus*, 50 m³/mês de araucária, 2.500 arrobas/ano de erva-mate e 10.000 kg de carne por ano. A meta de turismo é de 200 visitantes-dias por ano e a empresa deseja manter um número fixo de funcionários para atender todas as atividades. Foi considerada uma diversidade da flora e da fauna crescente ao longo dos 5 períodos.

As metas acima são metas referentes à área total de todas as fazendas das Indústrias Pizzatto. Para encontrar a meta referente à Fazenda Santa Cândida, multiplica-se pelo coefici-

ente $\frac{2092,24 \text{ ha}}{7347,05 \text{ ha}}$, onde 2.092,24 ha é a área da fazenda Santa Cândida e 7.347,05 ha é a área

total de todas as fazendas. Os cálculos estão apresentados abaixo.

- Corte de madeira *Pinus* (estéreos) :

$$10.000 \text{ st} \cdot \frac{2092,24 \text{ ha}}{7347,05 \text{ ha}} \cdot 12 \text{ meses} = 34.172,34 \text{ st/ano}$$

- Corte de madeira araucária (m^3) :

$$50 \text{ m}^3 \cdot \frac{2092,24 \text{ ha}}{7347,05 \text{ ha}} \cdot 12 \text{ meses} = 170,86 \text{ m}^3/\text{ano}$$

- Corte de erva-mate (arrobas) :

$$2500 \cdot \frac{2092,24 \text{ ha}}{7347,05 \text{ ha}} = 711,93 \text{ arrobas/ano}$$

- Turismo (número de visitantes - dia) :

200 visitantes-dia por ano (capacidade máxima do hotel).

- Pastagens (kg de carne)

$$10000 \cdot \frac{2092,24 \text{ ha}}{7347,05 \text{ ha}} = 2847,73 \text{ kg /ano}$$

- Empregos (número de funcionários-dia):

Com o objetivo de atender todas as atividades da empresa e de manutenção do número de empregos, foi feita uma avaliação pela empresa em manter 50 funcionários em toda a fazenda.

- Diversidade da flora :

Para encontrar a diversidade atual média em toda a fazenda foi feita uma média ponderada em relação às áreas (reflorestamento, floresta densa, preservação, campos e banhados),

utilizando o índice de diversidade ind_i conhecido de cada área. Sugere-se que estes índices sejam avaliados localmente. A diversidade média de cada área se encontra na Tabela 06 e as áreas respectivas na Tabela 05.

TABELA 06: DIVERSIDADE DA FLORA

Área	Diversidade média/ha (ind_i)
Reflorestamento	2
Nativas	60
Proteção Ambiental	70
Campos	30
Banhados	40

Diversidade total de flora na fazenda:

$$\frac{583,11}{2092,24} \cdot 2 + \frac{612,65}{2092,24} \cdot 60 + \frac{438,81}{2092,24} \cdot 70 + \frac{330,89}{2092,24} \cdot 30 + \frac{126,78}{2092,24} \cdot 40 = 39,98 \text{ espécies diferentes.}$$

Em média, a diversidade atual foi considerada de 40 espécies diferentes de flora na fazenda, por hectare.

- Diversidade da fauna :

O índice de diversidade total da fauna foi encontrado seguindo os mesmos passos da diversidade da flora, em função dos valores da Tabela 07:

TABELA 07: DIVERSIDADE DA FAUNA

Área	Diversidade média/ha (ind_i)
Reflorestamento	1
Nativas	6
Proteção Ambiental	8
Campos	4
Banhados	10

Diversidade total:

$$\frac{583,11}{2092,24} \cdot 1 + \frac{612,65}{2092,24} \cdot 6 + \frac{438,81}{2092,24} \cdot 8 + \frac{330,89}{2092,24} \cdot 4 + \frac{126,78}{2092,24} \cdot 10 = 4,95 \text{ espécies diferentes.}$$

Foi considerada uma diversidade total de 5 espécies diferentes de fauna, em média, em toda a fazenda, por hectare.

As metas iniciais para cada final de período dos 5 considerados estão apresentadas na

Tabela 08.

TABELA 08: METAS ANUAIS

Ano de Planejamento		1	2	3	4	5
Anos →		2000	2001	2002	2003	2004
1. Corte de madeira <i>Pinus</i> (estéreos)	<i>PINUS</i>	35.000	35.000	35.000	35.000	35.000
2. Corte de madeira Nativa (m ³)	<i>NATIVAS</i>	170,0	170,0	170,0	170,0	170,0
3. Corte de erva-mate (arrobas)	<i>ERVA-MATE</i>	700	700	700	700	700
4. Turismo (n.º de visitantes dia por ano)	<i>TURISMO</i>	200	200	200	200	200
5. Pastagens (kg de carne)	<i>PASTAGENS</i>	2.800	2.800	2.800	2.800	2.800
6. Empregos (n.º de trabalhadores)	<i>EMPREGO</i>	50	50	50	50	50
7. Aumento da diversidade da flora	<i>DFLO</i>	0	7	14	21	28
8. Aumento da diversidade da fauna	<i>DFAU</i>	0	1	1	2	2

4.1.6 Os coeficientes de capacidade do terreno

A matriz tecnológica do modelo necessita de informações de produção em cada conjunto de equações de metas a saber: ap_{ij}^k , a_{ij}^k , aem_{ij}^k , at_{ij}^k , aps_{ij}^k , e_{ij}^k , dfl_{ij}^k , dfa_{ij}^k .

- COEFICIENTE DE PRODUÇÃO DE *PINUS* (ap_{ij}^k)

O volume de *Pinus* produzido em cada talhão na idade em que poderá ser feito o corte está representado na Tabela 09. O corte pode ser feito nos talhões que possuem *Pinus* com idades de 10, 15, 20 ou 25 anos.

TABELA 09: PRODUÇÃO DE *PINUS* / ha EM DIFERENTES IDADES

Idade (anos)	Produção st/ha
10	100
15	150
20	250
25	350

As idades do *Pinus* no início do planejamento nos talhões T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7 e T8 são de 0, 25, 23, 22, 21, 20, 19 e 18 anos respectivamente. A produtividade de madeira é calculada com base na Tabela 9. Por exemplo, no início do planejamento o talhão T3 possui *Pinus* com idade de 23 anos que poderão ser cortados apenas no início do terceiro período ($k = 3$) quando ele atingir a idade de 25 anos, cuja produtividade será de 350 st/ha. Este valor representa o coeficiente de capacidade para corte de madeira de *Pinus* por hectare. Na Tabela 10, estão representadas todas as produções/ha de todos os talhões de reflorestamento.

TABELA 10: COEFICIENTES DE PRODUÇÃO DE *PINUS* EM st/ha/ano PARA CADA TALHÃO EM DIFERENTES IDADES (ap_{ij}^k)

Talhões \ Produção	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
idade no início do planejamento	0	25	23	22	21	20	19	18
volume	st/ha							
$k = 1$	0	350	0	0	0	250	0	0
$k = 2$	0	0	0	0	0	0	250	0
$k = 3$	0	0	350	0	0	0	0	250
$k = 4$	0	0	0	350	0	0	0	0

- COEFICIENTE DE PRODUÇÃO DE ARAUCÁRIA (a_{ij}^k)

Foram consideradas produções diferenciadas de araucária em função do tipo de área conforme Tabela 11. O corte pode ser feito em todo período k .

TABELA 11: COEFICIENTE DE PRODUÇÃO DE ARAUCÁRIA (a_{ij}^k)

Áreas		Produção de araucária
Floresta densa	Alto potencial	5 m ³ /ha
	Médio potencial	3 m ³ /ha
	Baixo potencial	2 m ³ /ha
Campo		2 m ³ /ha
Floresta aberta		2 m ³ /ha

- COEFICIENTE DE PRODUÇÃO DE ERVA-MATE (aem_{ij}^k)

A erva-mate não pode ser cortada em dois anos consecutivos. A produtividade de erva-mate está apresentada na Tabela 12, em função do tipo de área considerada.

TABELA 12: COEFICIENTE DE PRODUÇÃO DE ERVA-MATE. (aem_{ij}^k)

Áreas	Produção de erva-mate
Floresta densa	2 arrobas / ha
Campo	0,8 arrobas / ha
Floresta aberta	0,8 arrobas / ha

- COEFICIENTE DE TURISMO (at_{ij}^k)

O índice de visitação de cada área depende das características do terreno como beleza cênica, topografia variada, vegetação variada, abundância de água e ocorrência de fauna e também do uso do terreno. De acordo com o trabalho de DANE et al. (1977), os índices de turismo foram classificados em alto (0,75 v.d. /acre/ano), médio (0,50 v.d. /acre/ano) e baixo (0,25 v.d. /acre/ano). A Tabela 13 mostra estes índices em visitantes-dia por hectare por ano.

A Tabela 14 apresenta os índices de turismo conforme a nomenclatura apresentada na Tabela 02, e classificados em alto, médio e baixo, sendo baseado no trabalho de DANE et al. (1977). A atividade de turismo pode ser realizada em todos os talhões exceto naqueles de reflorestamento, nos períodos onde há corte de madeira.

TABELA 13 : ÍNDICES DE VISITAÇÃO DE TURISMO EM v.d/ha/ano

Nível de turismo	Índice
	n.º v.d/ha/ano
Alto	1,85
Médio	1,24
Baixo	0,62

FONTE: DANE et al. (1977)

TABELA 14: ÍNDICE DE VISITAÇÃO DE TURISMO PARA CADA TALHÃO (at_{ij}^k)

Características do talhão	Cenários	Índice	BANH	CAMPOS	PRES	REFL	NAT
Beleza Cênica	Alto	1,85		x	x		
	Médio	1,23	x				x
	Baixo	0,62				x	
Topografia Variada	Alto	1,85			x		
	Médio	1,23		x		x	x
	Baixo	0,62	x				
Vegetação Variada	Alto	1,85			x		x
	Médio	1,23	x	x			
	Baixo	0,62				x	
Abundância de Água	Alto	1,85	x		x		
	Médio	1,23		x			x
	Baixo	0,62				x	
Ocorrência de Fauna	Alto	1,85	x		x		x
	Médio	1,23		x			
	Baixo	0,62				x	
at_{ij}^k			6,78	6,77	9,25	3,71	7,39

onde:

at_{ij}^k : índice de visitação de turismo no talhão i , por hectare, de acordo com as características de cada talhão, independente do manejo j , no período k , dado por número de visitantes-dia/ha/ano ou n.º v.d./ha/ano.

Para adequar tais índices à realidade brasileira, foram utilizados coeficientes de turismo segundo os seguintes critérios:

- Áreas de reflorestamento: 25% do total;
- Áreas de nativas e campos: 100%;
- Áreas de preservação e banhados: 50% do total.

Na Tabela 15 estão representados os índices de turismo adaptados à realidade brasileira e considerados no modelo, que serão chamados de coeficientes de turismo.

TABELA 15: COEFICIENTES DE TURISMO (at_{ij}^k)

Áreas	nº v.d./ha/ano
Reflorestamento	0,93
Floresta densa	7,39
Preservação	4,62
Campos	6,77
Banhados	3,39

Na Tabela 16, estão apresentados os coeficientes de turismo para cada talhão em função do manejo a ser aplicado.

Na Tabela 17, estão apresentados os coeficientes de turismo para todos os períodos, $k = 1, 2, \dots, 5$, relativos ao manejo M16, já que neste manejo em particular os coeficientes variam em função do período considerado. Nos cálculos foi considerado o aumento ou diminuição do índice de visitação em função da mudança de uso ocorrida no talhão; foi feito um ajuste linear entre os valores do índice relativo ao uso inicial do talhão e o valor posterior à mudança de uso com valor total no último período.

TABELA 16: COEFICIENTE DE TURISMO PARA CADA TALHÃO i EM FUNÇÃO DO MANEJO j NO PERÍODO k , (at_{ij}^k).

ÁREAS T	REFLORESTAMENTO								NATIVAS			PRES	CAMPOS	BANH
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14
M														
M1	0	0	0	0	0	0	0	0	x	x	x	x	x	x
M2	x	x	x	x	x	x	x	x	0	0	0	x	0	x
M3	x	x	x	x	x	x	x	x	0	0	0	x	0	x
M4	x	x	x	x	x	x	x	x	0	0	0	x	0	x
M5	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x
M6	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x
M7	x	x	x	x	x	x	x	x	0	0	0	x	0	x
M8	x	x	x	x	x	x	x	x	0	0	0	x	0	x
M9	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x
M10	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x
M11	x	x	x	x	x	x	x	x	7,39	7,39	7,39	x	6,77	x
M12	x	x	x	x	x	x	x	x	7,39	7,39	7,39	x	6,77	x
M13	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	6,77	x
M14	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	6,77	x
M15 *	0,93	0	0,93	0,93	0,93	0	0,93	0,93	7,39	7,39	7,39	4,62	6,77	3,39
M16 *	0,93	0	0	0	0	0	0	0	7,39	7,39	7,39	4,62	6,77	3,39
M17	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x
M18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

* : valores só para o período $k = 1$.

x : significa que o manejo não é aplicado no talhão considerado.

TABELA 17: COEFICIENTE DE TURISMO NO MANEJO M16 PARA CADA TALHÃO i EM TODOS OS PERÍODOS k (at_{ij}^k).

ÁREAS k	REFLORESTAMENTO								NATIVAS			PRES	CAMPOS	BANH
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14
1	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	7,4	7,4	7,4	4,62	6,77	3,39
2	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	6,7	6,7	6,7	4,62	6,23	3,39
3	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	6	6	6	4,62	5,7	3,39
4	3,7	3,7	3,7	3,7	3,7	3,7	3,7	3,7	5,3	5,3	5,3	4,62	5,16	3,39
5	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,62	4,62	3,39

- Pastagens

Para obter o coeficiente aps_{ij}^k foi considerado que um búfalo em idade de abate pesa aproximadamente 370 kg e são necessários 5 ha para que ele se desenvolva conforme MARQUES (1998). Desta forma, a produção de carne por ha será de 370kg / 5 ha /ano = 74 kg/ha/ano.

- Emprego

O número de funcionários necessários para cada talhão depende das atividades realizadas nele e a quantidade necessária está representada na Tabela 18.

TABELA 18: MATRIZ DE EMPREGOS (atividade) e (número de funcionários-dia)

Usos	Quantidade de funcionários dia / unidade
1. Corte de madeira (<i>Pinus</i>)	1 / 8 estéreos
2. Corte de madeira (araucária)	1 / 5 m ³
3. Corte de erva-mate	2 / 7 arrobas
4. Turismo	1 / 10 hóspedes
5. Pastagens	1 / 10 animais
6. Proteção ambiental	1 / 500 ha

Determinação do número de funcionários dia por ha para cada um dos talhões:

O número de funcionários por hectare necessários para o corte de madeira *Pinus* depende da produção de *Pinus* do talhão a ser cortado. Tem-se por exemplo uma produção de 350 estéreos de madeira *Pinus* por hectare no talhão 2 que poderá ser cortado no 1.º período conforme Tabela 10. Nos talhões onde há o corte de madeira (*Pinus*) é necessário 1 funcionário-dia para cortar 8 estéreos de *Pinus* conforme Tabela 18, para cortar os 350 estéreos de *Pinus* (ou seja um hectare de *Pinus*) serão necessários 43,75 funcionários-dia por hectare para cortar todo o volume de *Pinus* em um dia. Supondo que um funcionário trabalhe 222 dias no

ano, logo no 1.º período serão necessários $43,75 / 222 = 0,197072$ funcionários-dia para cortar todo o *Pinus* do talhão 2 no período de 1 ano que representa o coeficiente e_{21}^1 na Tabela 19. Estes cálculos foram feitos para cada talhão e para cada período de planejamento e estão apresentados nas Tabela 19 e 20. De uma forma similar são encontrados os coeficientes referentes ao número de funcionários para o corte de araucária e erva-mate, os quais também estão apresentados nas Tabela 19 e 20.

O número de funcionários necessários para atender os turistas, exclusivo do manejo M15, está em função das características do talhão. Os talhões com alto índice de visitação necessitam de mais funcionários que os talhões com baixo índice de visitação. O número de funcionários por hectare relativo ao número de turistas foi encontrado da seguinte forma. Nas áreas de reflorestamento, o índice de visitação é de 0,93 turistas por hectare. É preciso 1 funcionário para atender 10 turistas, se em 1 hectare tem 0,93 turistas, então serão necessários 0,093 funcionários por hectare nos talhões de reflorestamento. Com base nos dados da Tabela 18, foram determinados o número de funcionários para atender o turismo nas áreas de nativas, áreas preservadas e florestas densas. O número de funcionários para atender os turistas inclui os guias turísticos e os funcionários do hotel. Quando é utilizado o manejo 16, há uma mudança na diversidade variando também o número de turistas.

Para atender o gado, precisa-se de 1 funcionário para cada 10 animais. Em um hectare encontram-se 0,2 animais, logo serão necessários 0,02 funcionários para cada hectare.

O número de funcionários-dia por ha necessários para a proteção ambiental foi calculado supondo que 1 funcionário atenda 500 ha gerando o coeficiente $e_{i,18}^k = 0,002$ f.d/ha.

Nos talhões de reflorestamento, quando o M16 é usado, a área muda seu uso para turismo e preservação com necessidade de número crescente de funcionários. O número de funcionários para as áreas de preservação é sempre o mesmo independente do período. Mas para

atender os turistas o número de funcionários varia. No primeiro período, são necessários 0,093 funcionários por ha e no quinto período de 0,42. Um ajuste linear foi feito para determinar as mudanças nos períodos intermediários com resultados apresentados na Tabela 19.

Quando existirem dois ou mais usos em um manejo o número de funcionários é encontrado através da soma do número de funcionários para cada uso. Por exemplo, no manejo M10 (corte de erva-mate e pastagens), o número de funcionários por hectare para as pastagens é de 0,02 e para o corte de erva-mate 0,010296. Portanto, para o manejo M10 são necessários 0,0210296 funcionários dia por hectare. Em alguns manejos, como no M3 (corte de araucária e erva-mate) a erva-mate só pode ser cortada durante o 1.^º, 3.^º e 5.^º períodos e o corte de araucária pode ser feito todos os períodos. O número de funcionários no 2.^º e 4.^º períodos serão somente os necessários para o corte de araucária.

Todos os resultados estão apresentados na Tabela 19 e Tabela 20.

TABELA 19 : NÚMERO DE FUNCIONÁRIOS POR HECTARE NECESSÁRIOS NO TALHÃO i QUANDO O MANEJO j FOR UTILIZADO (e_{ij}^k)

TALHÕES DE REFLORESTAMENTO

		$k = 1$							
$j \backslash i$	1	2	3	4	5	6	7	8	
1	0	0,197072	0	0	0	0,14077	0	0	
2	0	0	0	0	0	0	0	0	
3	0	0	0	0	0	0	0	0	
4	0	0	0	0	0	0	0	0	
5	0	0	0	0	0	0	0	0	
6	0	0	0	0	0	0	0	0	
7	0	0	0	0	0	0	0	0	
8	0	0	0	0	0	0	0	0	
9	0	0	0	0	0	0	0	0	
10	0	0	0	0	0	0	0	0	
11	0	0	0	0	0	0	0	0	
12	0	0	0	0	0	0	0	0	
13	0	0	0	0	0	0	0	0	
14	0	0	0	0	0	0	0	0	
15	0,093	0	0,093	0,093	0,093	0	0,093	0,093	
16	0,093	0	0	0	0	0	0	0	
17	0	0	0	0	0	0	0	0	
18	0*	0*	0*	0*	0*	0*	0*	0*	

TALHÕES DE REFLORESTAMENTO

		$k = 2$							
$j \backslash i$	1	2	3	4	5	6	7	8	
1	0	0	0	0	0	0	0,14077	0	
2	0	0	0	0	0	0	0	0	
3	0	0	0	0	0	0	0	0	
4	0	0	0	0	0	0	0	0	
5	0	0	0	0	0	0	0	0	
6	0	0	0	0	0	0	0	0	
7	0	0	0	0	0	0	0	0	
8	0	0	0	0	0	0	0	0	
9	0	0	0	0	0	0	0	0	
10	0	0	0	0	0	0	0	0	
11	0	0	0	0	0	0	0	0	
12	0	0	0	0	0	0	0	0	
13	0	0	0	0	0	0	0	0	
14	0	0	0	0	0	0	0	0	
15	0,093	0,093	0,093	0,093	0,093	0,093	0	0,093	
16	0,18725	0,18725	0,18725	0,1873	0,18725	0,18725	0,18725	0,18725	
17	0	0	0	0	0	0	0	0	
18	0	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	

continua...

CONTINUAÇÃO DA TABELA 19: NÚMERO DE FUNCIONÁRIOS POR HECTARE
NECESSÁRIOS NO TALHÃO i QUANDO O MANEJO j FOR UTILIZADO (e_{ij}^k)
TALHÕES DE REFLORESTAMENTO

		$k = 3$							
$j \backslash i$	1	2	3	4	5	6	7	8	
1	0	0	0,197072	0	0	0	0	0,14077	
2	0	0	0	0	0	0	0	0	
3	0	0	0	0	0	0	0	0	
4	0	0	0	0	0	0	0	0	
5	0	0	0	0	0	0	0	0	
6	0	0	0	0	0	0	0	0	
7	0	0	0	0	0	0	0	0	
8	0	0	0	0	0	0	0	0	
9	0	0	0	0	0	0	0	0	
10	0	0	0	0	0	0	0	0	
11	0	0	0	0	0	0	0	0	
12	0	0	0	0	0	0	0	0	
13	0	0	0	0	0	0	0	0	
14	0	0	0	0	0	0	0	0	
15	0,093	0,093	0	0,093	0,093	0,093	0,093	0,093	0
16	0,2795	0,2795	0,2795	0,2795	0,2795	0,2795	0,2795	0,2795	0,2795
17	0	0	0	0	0	0	0	0	
18	0	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002

TALHÕES DE REFLORESTAMENTO

		$k = 4$							
$j \backslash i$	1	2	3	4	5	6	7	8	
1	0	0	0	0,19707	0	0	0	0	
2	0	0	0	0	0	0	0	0	
3	0	0	0	0	0	0	0	0	
4	0	0	0	0	0	0	0	0	
5	0	0	0	0	0	0	0	0	
6	0	0	0	0	0	0	0	0	
7	0	0	0	0	0	0	0	0	
8	0	0	0	0	0	0	0	0	
9	0	0	0	0	0	0	0	0	
10	0	0	0	0	0	0	0	0	
11	0	0	0	0	0	0	0	0	
12	0	0	0	0	0	0	0	0	
13	0	0	0	0	0	0	0	0	
14	0	0	0	0	0	0	0	0	
15	0,093	0,093	0,093	0	0,093	0,093	0,093	0,093	0,093
16	0,37175	0,37175	0,37175	0,37175	0,37175	0,3718	0,37175	0,37175	0,37175
17	0	0	0	0	0	0	0	0	
18	0	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002

continua...

CONTINUAÇÃO DA TABELA 19: NÚMERO DE FUNCIONÁRIOS POR HECTARE NECESSÁRIOS NO TALHÃO i QUANDO O MANEJO j FOR UTILIZADO (e_{ij}^k)
TALHÕES DE REFLORESTAMENTO

		$k = 5$							
		1	2	3	4	5	6	7	8
j	i \ j	1	2	3	4	5	6	7	8
	1	0	0	0	0	0,197072	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0,093	0,093	0,093	0,09	0	0,093	0,09	0,093	
16	0,464	0,464	0,464	0,46	0,464	0,464	0,46	0,464	
17	0	0	0	0	0	0	0	0	
18	0	0,002	0,002	0	0,002	0,002	0	0,002	

Obs.:

* considerou-se que no primeiro período houve a mudança de uso mas o computo do número de empregados para trabalhar na proteção ambiental foi feito a partir do segundo período.

TABELA 20 : NÚMERO DE FUNCIONÁRIOS POR HECTARE NECESSÁRIOS NO TALHÃO i QUANDO O MANEJO j FOR UTILIZADO (e_{ij}^k)

TALHÕES DE NATIVAS, PRESERVAÇÃO, CAMPOS E BANHADOS

$\begin{array}{c} i \\ \diagdown \\ j \end{array}$	9	10	11	12	13	14	$k \downarrow$
1	0	0	0	0	0	0	1;2;3;4;5
2	0,0045045	0,0027027	0,0018018	0	0,0018018	0	1;2;3;4;5
3	0,0070785	0,0052767	0,0043758	0	0,0028314	0	1;3;5
	0,0045045	0,0027027	0,0018018	0	0,0018018	0	2;4
4	0,0045045	0,0027027	0,0018018	0	0,0018018	0	1;3;5
	0,0070785	0,0052767	0,0043758	0	0,0028314	0	2;4
5	0	0	0	0	0,0028314	0	1;3;5
	0	0	0	0	0,0218018	0	2;4
6	0	0	0	0	0,0218018	0	1;3;5
	0	0	0	0	0,0228314	0	2;4
7	0,002574	0,002574	0,002574	0	0,0010296	0	1;3;5
	0	0	0	0	0	0	2;4
8	0	0	0	0	0	0	1;3;5
	0,002574	0,002574	0,002574	0	0,0010296	0	2;4
9	0	0	0	0	0,0210296	0	1;3;5
	0	0	0	0	0,02	0	2;4
10	0	0	0	0	0,02	0	1;3;5
	0	0	0	0	0,0210296	0	2;4
11	0,740287	0,741574	0,741574	0	0,6780296	0	1;3;5
	0,739	0,739	0,739	0	0,677	0	2;4
12	0,740287	0,739	0,739	0	0,677	0	1;3;5
	0	0,741574	0,741574	0	0,6780296	0	2;4
13	0	0	0	0	0,6980296	0	1;3;5
	0	0	0	0	0,697	0	2;4
14	0	0	0	0	0,697	0	1;3;5
	0	0	0	0	0,6980296	0	2;4
15	0,739	0,739	0,739	0,462	0,677	0,339	1;2;3;4;5
	0,741	0,741	0,741	0,464	0,679	0,341	1
	0,6718	0,6718	0,6718	0,464	0,6253	0,341	2
	0,6025	0,6025	0,6025	0,464	0,5715	0,341	3
	0,5333	0,5333	0,5333	0,464	0,5177	0,341	4
16	0,464	0,464	0,464	0,464	0,464	0,341	5
	0	0	0	0	0,02	0	1;2;3;4;5
17	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	1;2;3;4;5
18	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	1;2;3;4;5

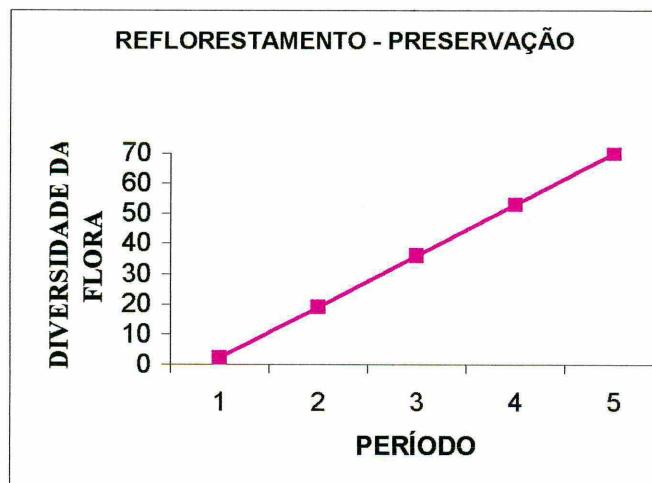
Os cálculos do número de funcionários dependem também, em alguns manejos, do período considerado. Por exemplo, no talhão 9 quando é aplicado o manejo 16, a área de nativas é

convertida para área de preservação, que possui menor índice de turismo que as nativas e consequentemente serão necessários menos funcionários.

- Diversidade da flora e da fauna

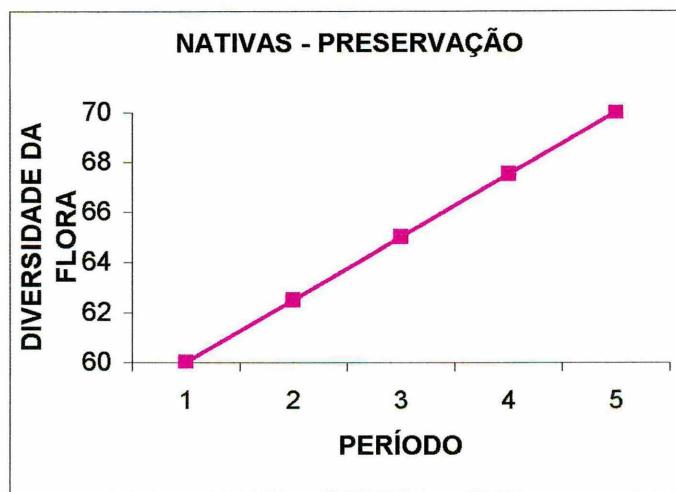
Os índices de diversidade da flora e da fauna representam o número de espécies diferentes/ha e dependem das características de cada talhão. Uma mudança de uso no talhão pode modificar o índice de diversidade. Segundo PRESTON (1960) e SAUNDERS (1968), o número de espécies aumenta com o tamanho da área e, provavelmente, com o tempo evolutivo que foi disponível para a colonização. Os índices de diversidade considerados em cada área estão nas Tabelas 07 e 08. Quando uma área de reflorestamento é convertida para área de preservação, ocorre um aumento na diversidade biológica. O gráfico da Figura 04 mostra o aumento na diversidade da flora quando é feita esta conversão.

FIGURA 04: AUMENTO NA DIVERSIDADE DA FLORA QUANDO UMA ÁREA DE REFLORESTAMENTO É CONVERTIDA PARA ÁREA DE PRESERVAÇÃO DURANTE UM PERÍODO DE 5 ANOS



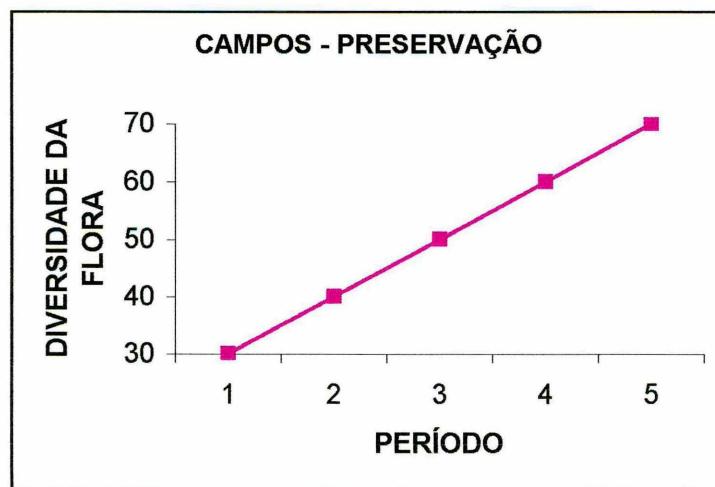
Quando uma área de nativas é convertida para área de proteção ambiental também ocorre um aumento na diversidade da flora que pode ser observado na Figura 05.

FIGURA 05 : AUMENTO NA DIVERSIDADE DA FLORA QUANDO UMA ÁREA DE NATIVAS É CONVERTIDA PARA ÁREA DE PRESERVAÇÃO DURANTE UM PERÍODO DE 5 ANOS



A Figura 06 mostra o aumento na diversidade da flora quando uma área de campo é convertida para proteção ambiental.

FIGURA 06: AUMENTO NA DIVERSIDADE DA FLORA QUANDO UMA ÁREA DE CAMPOS É CONVERTIDA PARA ÁREA DE PRESERVAÇÃO DURANTE UM PERÍODO DE 5 ANOS



O novo valor da diversidade foi calculado através de uma equação da reta. Por exemplo, uma área de reflorestamento possui um índice de diversidade de flora de 2 espécies. Se for convertida para preservação, considerou-se que ela demora 5 anos para atingir o índice de diversidade das áreas de preservação que é de 70 espécies. Estes novos índices ($nind_{ij}^k$), que representam o aumento na diversidade da flora em relação ao 1º período, estão representados na Tabela 21.

TABELA 21: ÍNDICE DE DIVERSIDADE DA FLORA EM FUNÇÃO DA MUDANÇA DE USO ($nind_{ij}^k$)

Mudança de uso	<i>k</i>	Novo índice
	1	2
	2	19
Reflorestamento – Preservação	3	36
	4	53
	5	70
	1	60
	2	62,5
Nativas – Preservação	3	65
	4	67,5
	5	70
	1	30
	2	40
Campos – Preservação	3	50
	4	60
	5	70

O índice de diversidade considerado nas restrições do modelo apresentado em 4.1.4.1 foi o índice de aumento na diversidade, foi calculado para cada área e para cada período através da fórmula (9) e estão apresentados na Tabela 22.

$$(9) \quad dfI_{ij}^k = \left(\frac{nind_{ij}^k}{A_T} - \frac{ind_{ij}^1}{A_T} \right)$$

onde:

dfl_{ij}^k : índice de aumento na diversidade da flora no talhão i , no período k , segundo o manejo j ;

$nindj_{ij}^k$: índice de aumento na diversidade da flora no talhão i , no período k , em função da mudança de uso associado ao regime de manejo j ;

$nindj_{ij}^1$: índice de diversidade da flora no talhão i , no primeiro período, segundo o manejo j ;

A_T : Área total da fazenda.

O índice de aumento na diversidade da flora utilizado no modelo considera apenas o aumento do número de espécies diferentes por hectare. Para que não seja considerado o aumento de mesmas espécies, aplicou-se a fórmula (9), dividindo cada índice de aumento na diversidade pela área total. A Tabela 22 apresenta os índices de aumento na diversidade da flora quando as áreas da fazenda forem convertidas para áreas de preservação em cada período k . Áreas de banhado não são convertidas para preservação.

TABELA 22: ÍNDICE DE AUMENTO NA DIVERSIDADE DA FLORA (dfl_{ij}^k)

Área \ k	1	2	3	4	5
Reflorestamento	0	0,0081261	0,0162523	0,0243785	0,0325047
Nativas	0	0,001195	0,00239	0,003585	0,0047801
Preservação	0	0	0	0	0
Campos	0	0,0047801	0,0095602	0,0143403	0,0191204
Banhados	0	0	0	0	0

Os índices da diversidade da fauna foram calculados seguindo os mesmos critérios acima e estão representados nas Tabelas 23 e 24. A Tabela 23 apresenta os índices de aumento na diversidade da fauna quando as áreas da fazenda forem convertidas para áreas de preservação em cada período k .

TABELA 23 : ÍNDICE DE DIVERSIDADE DA FAUNA EM FUNÇÃO DA MUDANÇA DE USO ($nind_{ij}^k$)

Mudança de uso	k	novo índice $nind_{ij}^k$
	1	1
	2	2,75
Reflorestamento – Preservação	3	4,5
	4	6,25
	5	8
	1	6
	2	6,75
Nativas – Preservação	3	7
	4	7,5
	5	8
	1	4
	2	5
Campos – Preservação	3	6
	4	7
	5	8

TABELA 24: ÍNDICE DE AUMENTO NA DIVERSIDADE DA FAUNA (dfa_{ij}^k)

Áreas	k	1	2	3	4	5
Reflorestamento	0	0,0008365	0,001673	0,0025095	0,003346	
Nativas	0	0,000239	0,000478	0,000717	0,000956	
Preservação	0	0	0	0	0	
Campos	0	0,000478	0,000956	0,0001434	0,0001912	
Banhados	0	0	0	0	0	

Quando são aplicados manejos de mudança de uso, isto pode interferir em alguns coeficientes como, por exemplo, o coeficiente de turismo. Se uma área de reflorestamento for convertida para área de preservação através do manejo M16 (proteção ambiental e turismo), o coeficiente de turismo vai aumentar, devido ao índice de turismo ser maior em áreas de preservação do que em áreas de reflorestamento.

Com todos os dados calculados, foram feitas várias execuções do modelo florestal, usando critérios de programação linear e *goal programming*.

4.2 MODELOS DE PROGRAMAÇÃO LINEAR

Uma das formas de se resolver problemas envolvendo múltiplos objetivos é utilizando programação linear sendo que um dos objetivos é otimizado e os demais são considerados como restrições. No problema em estudo, temos oito objetivos. Será resolvido um problema de programação linear para cada um dos objetivos onde eles serão otimizados individualmente. Estes problemas podem ser resolvidos incluindo ou não os objetivos que não estão sendo otimizados no conjunto de restrições.

Os valores encontrados serviram para analisar os valores das metas estabelecidas pela empresa e apresentadas na Tabela 08, no sentido de que toda a área disponível seria utilizada para atender apenas um objetivo.

Os oito primeiros modelos foram resolvidos considerando apenas uma meta e restrições de área. Nos últimos modelos, outras metas foram consideradas nas restrições além das restrições de área.

4.2.1 1.º Modelo de Programação Linear

Maximizar o corte de madeira (*Pinus*):

Neste caso, foram considerados dois tipos de problemas. O primeiro maximiza o corte de *Pinus* durante todo o planejamento. Ele nos fornece a produção total durante os cinco anos.

$$\max z_1 = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K ap_{ij}^k x_{ij}$$

Sujeito a:

$$\sum_{j=1}^J x_{ij} \leq A_i, \quad i = 1, 2, \dots, 14$$

$$x_{ij} \geq 0$$

$$i = 1, 2, \dots, 14$$

$$j = 1, 2, \dots, 18$$

$$k = 1, 2, \dots, 5$$

Para verificar qual a produção de *Pinus* em cada período, foram resolvidos cinco problemas de programação linear, cada um deles maximizando a produção de um período.

$$\max z_1 = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J ap_{ij}^1 x_{ij}$$

Sujeito a:

$$\sum_{j=1}^J x_{ij} \leq A_i, \quad i = 1, 2, \dots, 14$$

$$x_{ij} \geq 0$$

$$i = 1, 2, \dots, 14$$

$$j = 1, 2, \dots, 18$$

4.2.2 2.º Modelo de Programação Linear

Maximizar o corte de madeira (araucária). Este problema foi resolvido primeiramente considerando todo o corte de araucária no período de cinco anos e depois considerando apenas o corte no primeiro ano porque nos demais o volume máximo de araucária que poderá ser cortado é o mesmo.

4.2.3 3.º Modelo de Programação Linear

Maximizar o corte de erva-mate. Como o corte de erva-mate não pode ser feito em dois anos consecutivos, através deste modelo foi calculado o volume máximo que pode ser cortado nos 1.º, 3.º e 5.º períodos. Para que em todos os anos tenha uma produção de erva-mate este número foi dividido por 2.

4.2.4 4.º Modelo de Programação Linear

Maximizar o número de turistas. Foi considerado o mesmo número de turistas em todos os anos, mas se houver mudança de uso, por exemplo onde uma área de reflorestamento seja convertida para área de preservação o índice de turismo vai aumentar e consequentemente o número de visitantes-dia por ano também. Esta variação não foi considerada pois não influencia os resultados dos modelos de *goal programming* devido à capacidade hoteleira, que é bastante restritiva.

4.2.5 Outros modelos de Programação Linear só com restrições de área

Analogamente, foram resolvidos outros problemas de programação linear, cada um maximizando um único objetivo. Todos os problemas de programação linear estão descritos na Tabela 25:

TABELA 25: DESCRIÇÃO DOS PROBLEMAS DE PROGRAMAÇÃO LINEAR SÓ COM RESTRIÇÕES DE ÁREA

Problema	Função Objetivo a ser maximizada
PL1	Corte de <i>Pinus</i>
PL2	Corte de araucária
PL3	O corte de erva-mate
PL4	Número de turistas
PL5	Produção de carne
PL6	Número de funcionários
PL7	Aumento na diversidade da flora
PL8	Aumento na diversidade da fauna

O valor máximo de alguns objetivos pode variar de um ano para outro, como é o caso da produção de *Pinus*. Para que o *Pinus* possa ser cortado é necessário que ele esteja dentro da idade de corte, e isso impossibilita o corte de quantidades iguais de *Pinus* todos os anos. No primeiro período podem ser cortados os talhões T2 e T6, com uma produção total de 29372,5 st. No segundo período, o talhão em idade de corte é o T7 com capacidade para 42672,5 st.

Para determinar a produção em cada período, foram resolvidos problemas de programação linear, otimizando apenas a produção de um único período. Isto foi feito para as metas de *Pinus*, emprego, aumento na diversidade da flora e aumento na diversidade da fauna. O corte de araucária pode ser feito todos os anos e não depende da idade, logo o volume máximo de araucária a ser cortado é o mesmo todos os anos. O corte de erva-mate não pode ser feito em dois anos consecutivos. Ao ser maximizado o corte em um único período toda a erva-mate disponível para dois anos seria cortada e no ano seguinte não haveria produção. Para que houvesse produção em todos os anos, foi considerado como volume máximo de erva-mate por período a metade da produção total obtida para o primeiro período.

Os modelos descritos acima maximizam um único objetivo considerando apenas as restrições de área. Portanto ao maximizar o volume de *Pinus*, somente com restrições de área, os demais objetivos não são atingidos, pois não foram considerados nos problemas. Acrescentando todos os objetivos no problema através das restrições obtém-se os problemas apresentados no ítem 4.2.6.

4.2.6 Outros Modelos de Programação Linear com restrições de áreas e metas

Maximizar o corte de madeira (*Pinus*), considerando as metas nas restrições.

$$\max z_1 = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K ap_{ij}^k x_{ij}$$

Sujeito a:

$$\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J a_{ij}^k x_{ij} \geq ARAUCÁRIA_k , \forall k = 1, 2, \dots, K$$

$$\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J aem_{ij}^k x_{ij} \geq ERVA-MATE_k , \forall k = 1, 2, \dots, K$$

$$\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J at_{ij}^k x_{ij} \geq TURISMO_k , \forall k = 1, 2, \dots, K$$

$$\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J aps_{ij}^k x_{ij} \geq PASTAGENS_k , \forall k = 1, 2, \dots, K$$

$$\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J e_{ij}^k x_{ij} \geq EMPREGO_k , \forall k = 1, 2, \dots, K$$

$$\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J dflo_{ij}^k x_{ij} \geq \Delta DFLO_k , \forall k = 1, 2, \dots, K$$

$$\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J dfa_{ij}^k x_{ij} \geq \Delta DFAU_k , \forall k = 1, 2, \dots, K$$

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

$$x_{ij} \geq 0$$

$$i = 1, 2, \dots, 14$$

$$j = 1, 2, \dots, 18$$

$$k = 1, 2, \dots, 5$$

Analogamente foram definidos outros modelos alternando a função objetivo e deixando as demais metas nas restrições. Tais modelos foram chamados de PL10 a PL16. Todos os problemas de programação linear, com restrições de áreas e metas estão apresentados na Tabela 26.

TABELA 26 : DESCRIÇÃO DOS PROBLEMAS DE PROGRAMAÇÃO LINEAR COM RESTRIÇÕES DE ÁREA E DE METAS

Problema	Função objetivo a ser maximizada
PL9	Corte de <i>Pinus</i>
PL10	Corte de araucária
PL11	O corte de erva-mate
PL12	Número de turistas
PL13	Produção de carne
PL14	Número de funcionários
PL15	Aumento na diversidade da flora
PL16	Aumento na diversidade da fauna

4.3 MODELO DE *GOAL PROGRAMMING*

4.3.1 Modelo de *Goal Programming*

Na seção 4.2, o problema foi resolvido várias vezes, otimizando cada objetivo individualmente. Agora o mesmo problema será resolvido, mas desta vez tentando otimizar todos os objetivos simultaneamente através do uso de *goal programming* onde as metas são representadas através de restrições meta. No presente modelo florestal, a meta corte de madeira (*Pinus*) foi expressa através da primeira restrição. Segundo SCHNIEDERJANS (1994), quando as restrições são de igualdade, podem-se utilizar os desvios d_{PIN-}^k e d_{PIN+}^k , permitindo uma flexibilidade na meta corte de madeira (*Pinus*) que poderá ser exatamente atingida, ultrapassada ou até mesmo não ser atingida. Em *goal programming*, esta restrição é escrita como:

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

onde d_{PIN-}^k e d_{PIN+}^k são variáveis de desvio da meta, ambas maiores ou iguais a zero; d_{PIN-}^k representa o corte de madeira (*Pinus*) inferior a meta e d_{PIN+}^k representa o corte de madeira (*Pinus*) superior a meta. De uma maneira similar, são escritas as restrições metas para cada um dos objetivos. Estas restrições meta estão apresentadas no modelo de programação em meta a seguir: A função objetivo considerada inicialmente no problema foi a de minimizar a soma dos desvios para todas as metas, acrescentado de pesos.

O modelo de *goal programming* considerado tem a forma geral:

$$\begin{aligned} Min \ z = & \sum_{k=1}^K (w_{PIN-}^k \cdot d_{PIN-}^k + w_{PIN+}^k \cdot d_{PIN+}^k + w_{ARAU-}^k \cdot d_{ARAU-}^k + w_{ARAU+}^k \cdot d_{ARAU+}^k + w_{EM-}^k \cdot d_{EM-}^k + \\ & + w_{EM+}^k \cdot d_{EM+}^k + w_{TUR-}^k \cdot d_{TUR-}^k + w_{TUR+}^k \cdot d_{TUR+}^k + w_{PAST-}^k \cdot d_{PAST-}^k + w_{PAST+}^k \cdot d_{PAST+}^k + \\ & + w_{EMP-}^k \cdot d_{EMP-}^k + w_{EMP+}^k \cdot d_{EMP+}^k + w_{DFLO-}^k \cdot d_{DFLO-}^k + w_{DFLO+}^k \cdot d_{DFLO+}^k + w_{DFAU-}^k \cdot d_{DFAU-}^k + \\ & + w_{DFAU+}^k \cdot d_{DFAU+}^k) \end{aligned}$$

Sujeito a:

$$\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J a p_{ij}^k x_{ij} + d_{PIN-}^k - d_{PIN+}^k = PINUS_k, \quad \forall k = 1, 2, \dots, K$$

$$\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J a r_{ij}^k x_{ij} + d_{ARAU-}^k - d_{ARAU+}^k = ARAUCÁRIA_k, \quad \forall k = 1, 2, \dots, K$$

$$\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J a em_{ij}^k x_{ij} + d_{EM-}^k - d_{EM+}^k = ERVA-MATE_k, \quad \forall k = 1, 2, \dots, K$$

$$\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J a t_{ij}^k x_{ij} + d_{TUR-}^k - d_{TUR+}^k = TURISMO_k, \quad \forall k = 1, 2, \dots, K$$

$$\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J a ps_{ij}^k x_{ij} + d_{PAST-}^k - d_{PAST+}^k = PASTAGENS_k, \quad \forall k = 1, 2, \dots, K$$

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

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

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

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

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

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

Em geral, devido à incompatibilidade entre os objetivos, é praticamente impossível atingir todas as metas simultaneamente. Por exemplo, considerando a meta corte de *Pinus* e a diversidade da fauna, uma das formas de aumentar a diversidade da fauna seria modificar o

uso das áreas de reflorestamento para preservação, o que poderia implicar em não atingir a meta corte de *Pinus*. Atribuindo pesos diferentes para cada um dos objetivos, estamos indicando qual é a prioridade, aumentar a diversidade ou manter a meta de corte *Pinus*. Uma outra forma de atribuir pesos para um determinado desvio na função objetivo é através da multiplicação dos coeficientes das restrições e metas de maior prioridade por uma constante α . Supondo que a diversidade da flora seja a principal meta, pode-se reescrever esta restrição na forma:

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

Substituindo a multiplicação dos desvios pela constante α , pode-se escrever: $\alpha.(d_{DFLO-}^k - d_{DFLO+}^k) = D_{DFLO-}^k - D_{DFLO+}^k$. Os desvios referentes à diversidade que serão minimizados na função objetivo serão D_{DFLO-}^k e D_{DFLO+}^k , onde α representa o peso atribuído para a meta diversidade da flora. Então, uma outra forma para atribuir pesos a uma meta, em vez de trabalhar com os pesos na função objetivo, é multiplicando os coeficientes das restrições e as metas por uma constante α .

Nos modelos executados, preferiu-se esta abordagem pois foi o que reduziu os problemas numéricos devido às diferenças entre os valores das metas. Esta forma de resolver o modelo baseia-se no método apresentado no manual do MATLAB de GRACE (1994), que é um dos métodos descritos para problemas de otimização multi-objetivo e é o método *goal attainment* de Gembicki. Neste método, os objetivos são escritos na forma de restrições-meta, que podem ser exatamente ou parcialmente atingidas. A diferença entre a meta atingida e o valor real pode ser medido com folga γ acrescentada em cada restrição meta. A função objetivo visa minimizar γ . A prioridade de cada meta é expressa através de um vetor de objetivos w ,

que multiplica as restrições do modelo. O modelo *goal attainment* de Gembicki está apresentado a seguir:

$$\text{Min } \gamma$$

$$\gamma \in \mathbf{R}, x \in \Omega$$

$$g_i(x) - w_i \gamma \leq g_i^* \quad i = 1, \dots, m$$

onde :

γ : variável de desvio para todas as metas, podendo ser qualquer número real;

$g_i(x)$: conjunto de metas, variando de 1 até m ;

w_i : vetor de pesos;

g_i^* : valor da meta i a ser atingida.

4.3.2 Execução do modelo de *goal programming*

A matriz dos coeficientes A é apresentada em blocos conforme a Figura 07. O bloco A_4 está apresentado na Figura 08, cuja notação utilizada para cada bloco está apresentada na Tabela 27.

FIGURA 07: REPRESENTAÇÃO DO SISTEMA $A X = b$ USADO NO MODELO DE *GOAL PROGRAMMING*

$$\begin{array}{c}
 A = \left[\begin{array}{c|c}
 & A_3 \\
 \hline
 A_4 & D_1 \\
 \hline
 AREAS & D_2
 \end{array} \right] \quad X = \begin{bmatrix} x_{1,1} \\ \vdots \\ x_{1,18} \\ \vdots \\ x_{14,1} \\ \vdots \\ x_{14,18} \\ d_1^- \\ d_1^+ \\ \vdots \\ d_8^- \\ d_8^+ \end{bmatrix}_{53 \times 328} \quad b = \begin{bmatrix} 0_{1 \times 1} \\ \vdots \\ METAS_{38 \times 1} \\ \vdots \\ \bar{AREAS}_{14 \times 1} \end{bmatrix}_{53 \times 1}
 \end{array}$$

$$A = \left[\begin{array}{c|c}
 A_{1 \times 252} & A_{2 \times 76} \\
 \hline
 A_{4 \times 252} & D_{1 \times 76} \\
 \hline
 AREAS_{14 \times 252} & D_{2 \times 76}
 \end{array} \right]_{53 \times 328} \quad X = \begin{bmatrix} x_{1,1} \\ \vdots \\ x_{1,18} \\ \vdots \\ x_{14,1} \\ \vdots \\ x_{14,18} \\ d_1^- \\ d_1^+ \\ \vdots \\ d_8^- \\ d_8^+ \end{bmatrix}_{328 \times 1} \quad b = \begin{bmatrix} 0_{1 \times 1} \\ \vdots \\ METAS_{38 \times 1} \\ \vdots \\ \bar{AREAS}_{14 \times 1} \end{bmatrix}_{53 \times 1}$$

FIGURA 08: REPRESENTAÇÃO DO BLOCO A_4

$A_4 =$	<i>reflorestamento</i> $T_1, T_2, T_3, T_4, T_5, T_6, T_7, T_8$	<i>nativa</i> T_9, T_{10}, T_{11}	<i>preservação</i> T_{12}	<i>campo</i> T_{13}	<i>banhado</i> T_{14}	
	<i>apr</i>	0	0	0	0	<i>Pinus</i>
	0	<i>an</i>	0	<i>ac</i>	0	<i>Araucária</i>
	0	<i>aemn</i>	0	<i>aemc</i>	0	<i>Erva-mate</i>
	<i>atr</i>	<i>atn</i>	<i>atp</i>	<i>atc</i>	<i>atb</i>	<i>Turismo</i>
	0	0	0	<i>apc</i>	0	<i>Pastagens</i>
	<i>aer</i>	<i>aen</i>	<i>aep</i>	<i>aec</i>	<i>aeb</i>	<i>Emprego</i>
	<i>dflor</i>	<i>dflon</i>	<i>dflop</i>	<i>dfloc</i>	<i>dflob</i>	<i>Diversidade da flora</i>
	<i>dfaur</i>	<i>dfaun</i>	<i>dfaup</i>	<i>dfauc</i>	<i>dfaub</i>	<i>Diversidade da fauna</i>

TABELA 27: DEFINIÇÃO DOS BLOCOS DA MATRIZ A

Blocos	Coeficientes	Áreas segundo seus usos	Unidade	Dimensão
<i>apr</i>	<i>Pinus</i>	Reflorestamento	st/ha	5 x 144
<i>an</i>	Araucária	Nativas	m ³ /ha	5 x 54
<i>ac</i>	Araucária	Campos	m ³ /ha	5 x 18
<i>aemn</i>	Erva-mate	Nativas	Arrobas/ha	5 x 54
<i>aemc</i>	Erva-mate	Campos	Arrobas/ha	5 x 18
<i>atr</i>	Turismo	Reflorestamento	Visitantes-dia/ha	5 x 144
<i>atn</i>	Turismo	Nativas	Visitantes-dia/ha	5 x 54
<i>atp</i>	Turismo	Preservação	Visitantes-dia/ha	5 x 18
<i>atc</i>	Turismo	Campos	Visitantes-dia/ha	5 x 18
<i>atb</i>	Turismo	Banhados	Visitantes-dia/ha	5 x 18
<i>apc</i>	Pastagens	Campos	kg de carne	5 x 18
<i>aen</i>	Emprego	Reflorestamento	Funcionários-dia/ha	5 x 54
<i>aen</i>	Emprego	Nativas	Funcionários-dia/ha	5 x 18
<i>aep</i>	Emprego	Preservação	Funcionários-dia/ha	5 x 18
<i>aec</i>	Emprego	Campos	Funcionários-dia/ha	5 x 18
<i>aeb</i>	Emprego	Banhados	Funcionários-dia/ha	5 x 18
<i>dflor</i>	Diversidade da flora	Reflorestamento	Espécies diferentes/ha	4 x 144
<i>dflon</i>	Diversidade da flora	Nativas	Espécies diferentes/ha	4 x 54
<i>dflop</i>	Diversidade da flora	Preservação	Espécies diferentes/ha	4 x 18
<i>dfloc</i>	Diversidade da flora	Campos	Espécies diferentes/ha	4 x 18
<i>dflob</i>	Diversidade da flora	Banhados	Espécies diferentes/ha	4 x 18
<i>dfaur</i>	Diversidade da fauna	Reflorestamento	Espécies diferentes/ha	4 x 144
<i>dfaun</i>	Diversidade da fauna	Nativas	Espécies diferentes/ha	4 x 54
<i>dfaup</i>	Diversidade da fauna	Preservação	Espécies diferentes/ha	4 x 18
<i>dfauc</i>	Diversidade da fauna	Campos	Espécies diferentes/ha	4 x 18
<i>dfaub</i>	Diversidade da fauna	Banhados	Espécies diferentes/ha	4 x 18
ÁREAS			ha	14 x 252

O modelo de *goal programming* acima pode ser visto como um problema de programação linear e foi resolvido através do *software* MATLAB, usando uma das funções de otimização do MATLAB (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 apresentada a seguir.

A função lp resolve um problema de programação linear da forma:

Min $z'x$

sujeito a:

$$Ax \leq b$$

Usando os comandos descritos obtém-se a solução:

$[X, \lambda] = lp(f, A, b, vlb, vub, x, n)$

onde:

f: coeficientes da função objetivo;

A : matriz de coeficientes;

b: matriz dos vetores constantes;

vlb: limites inferiores das variáveis de decisão;

vub: limites superiores das variáveis de decisão;

x: ponto inicial;

n: indica que as primeiras n restrições são restrições de igualdade;

λ : vetor dos multiplicadores de Lagrange.

$$A x = b \text{ onde } A = \left[\begin{array}{c|c} A_3 \\ \hline A_4 & D \end{array} \right]$$

Os dados e os programas conforme foram utilizados estão apresentados nos Anexos 01, 02, 03 e 04.

4.3 RESULTADOS E ANÁLISE DOS PROBLEMAS DE PROGRAMAÇÃO LINEAR

Em 4.2, foram definidos alguns modelos de programação linear. Os valores encontrados para os problemas PL1 até PL5 são coerentes com uma análise prévia feita, supondo que todas as áreas da fazenda fossem utilizadas para atender um único objetivo.

O PL6 que avalia o número de funcionários necessários para executar todas as tarefas da fazenda, dá preferência às atividades que utilizam maior número de mão-de-obra, que é o objetivo deste problema. Os valores da função objetivo em cada período foram em torno de 50 funcionários, sendo que tais números podem ser constatados pelos cálculos apresentados nas Tabelas 28 a 33.

TABELA 28: NÚMERO DE FUNCIONÁRIOS NECESSÁRIOS PARA O CORTE DE *PIMUS*

<i>k</i>	f.d./ha	total de ha	nº f.d./ano
1	0,197072	39	7,685808
	0,1407657	62,89	8,852754873
total de funcionários			16,53856287
2	0,1407657	170,69	24,02729733
3	0,197072	10	1,97072
	0,1407657	13	1,8299541
total de funcionários			3,8006741
4	0,197072	105	20,69256
5	0,197072	85,8	16,9087776

Portanto o maior número de funcionários necessários para cortar *Pimus* será no 2.^o período (24 funcionários-dia) ou 24 f.d. O cálculo feito considerou os coeficientes (f.d./ha) apresentados na Tabela 19 multiplicando pela área do respectivo talhão cortado.

TABELA 29: NÚMERO DE FUNCIONÁRIOS PARA ATENDER O TURISMO NAS ÁREAS DE REFLORESTAMENTO

k	f.d/ha	total de ha	nº f.d/ano
1	0,093	481,22	44,75346
2	0,093	412,42	38,35506
3	0,093	560,11	52,09023
4	0,093	478,11	44,46423
5	0,093	497,3	46,2489

Os coeficientes utilizados foram da Tabela 19.

O número máximo de funcionários para o turismo, nas áreas de reflorestamento será no 3.º período (52 funcionários).

No cálculo da área total de *Pinus* (583,11), foram retiradas, em cada período, as áreas dos talhões que possuíam corte, já que o turismo é considerado apenas nos períodos onde não há corte de *Pinus*.

Analogamente para os manejos M16 e M18 e para as outras áreas conforme valores já calculados na Tabela 20.

TABELA 30: NÚMERO DE FUNCIONÁRIOS PARA AS FLORESTAS NATIVAS

Usos	f.d/ha	total de ha	nº f.d/ano
Araucária	0,0045	612,65	2,756925
Erva-mate	0,002574	612,65	1,576961
Turismo	0,739	612,65	452,7484
Preservação	0,002	612,65	1,2253
Total	0,748074	612,65	458,3075

O número máximo de funcionários, excluindo o turismo, é de 3 funcionários por ano.

TABELA 31: NÚMERO DE FUNCIONÁRIOS PARA AS ÁREAS PRESERVADAS

Usos	f.d/ha	total de ha	nº f.d/ano
Turismo	0,462	438,81	202,73022
Preservação	0,002	438,81	0,87762
Total	0,464	438,81	283,60784

Máximo de 1 funcionário por ano, excluindo o turismo.

TABELA 32: NÚMERO DE FUNCIONÁRIOS PARA OS CAMPOS

Usos	f.d/ha	total de ha	nº f.d/ano
Araucária	0,00225	330,89	0,744503
Erva-mate	0,00103	330,89	0,340817
Turismo	0,677	330,89	224,0125
Preservação	0,002	330,89	0,66178
Total	0,68228	330,89	225,7596

Máximo de 1 funcionário por ano, excluindo o turismo.

TABELA 33: NÚMERO DE FUNCIONÁRIOS PARA OS BANHADOS

Usos	f.d/ha	total de ha	nº f.d/ano
Turismo	0,339	126,78	42,97842
Preservação	0,002	126,78	0,25356
Total	0,341	126,78	43,23198

Máximo de 1 funcionário por ano, excluindo o turismo.

A capacidade do hotel é de 200 pessoas. Para cada 10 turistas, é necessário 1 funcionário, logo serão necessários 20 funcionários para atender o turismo. Nas áreas de reflorestamento, para o corte de *Pinus*, o número máximo de funcionários será de 24 (no 2.º período). As áreas de nativas, preservação e banhados necessitam de 6 funcionários ao total. (Verificar nas tabelas acima). Portanto se nenhuma área for convertida para a preservação o número de máximo de funcionários para atender todas as necessidades da fazenda será de aproximadamente 50.

Os resultados obtidos dos PL'S 7 e 8 também são coerentes conforme os cálculos abaixo. Os cálculos nas Tabelas 34 e 35 foram feitos usando a fórmula (9) e supondo que toda a área disponível fosse usada para mudança de uso através do M16 ou do M18 e representam

o aumento total na diversidade da flora e da fauna respectivamente, que coincidem com os valores dos PL'S respectivos na Tabela 36.

TABELA 34: AUMENTO NA DIVERSIDADE DA FLORA

Diversidade da flora:

Áreas			diversidade
	área (ha)	583,11	
	índice (1.º P)	0	0
REFLORESTAMENTO	índice (2.º P)	0,0081261	4,738410171
	índice (3.º P)	0,0162523	9,476878653
	índice (4.º P)	0,0243785	14,21534714
	índice (5.º P)	0,0325047	18,95381562
	área (ha)	612,65	
	índice (1.º P)	0	0
NATIVAS	índice (2.º P)	0,00195	1,1946675
	índice (3.º P)	0,00239	1,4642335
	índice (4.º P)	0,003585	2,19635025
	índice (5.º P)	0,0047801	2,928528265
	área (ha)	330,89	
	índice (1.º P)	0	0
CAMPOS	índice (2.º P)	0,0047801	1,581687289
	índice (3.º P)	0,0095602	3,163374578
	índice (4.º P)	0,0143403	4,745061867
	índice (5.º P)	0,0191204	6,326749156
	1.º P	0	
	2.º P	7,51476496	
Aumento de diversidade total	3.º P	14,1044867	
	4.º P	21,1567593	
	5.º P	28,209093	

TABELA 35: AUMENTO NA DIVERSIDADE DA FAUNA

Diversidade da fauna:

Áreas			
REFORESTAMENTO	área (ha)	583,11	diversidade
	índice (1º P)	0	0
	índice (2º P)	0,0008365	0,487771515
	índice (3º P)	0,001673	0,97554303
	índice (4º P)	0,0025095	1,463314545
	índice (5º P)	0,003346	1,95108606
NATIVAS	área (ha)	612,65	
	índice (1º P)	0	0
	índice (2º P)	0,000239	0,14642335
	índice (3º P)	0,000478	0,2928467
	índice (4º P)	0,000717	0,43927005
	índice (5º P)	0,000956	0,5856934
CAMPOS	área (ha)	330,89	
	índice (1º P)	0	0
	índice (2º P)	0,000478	0,15816542
	índice (3º P)	0,000956	0,31633084
	índice (4º P)	0,001434	0,47449626
	índice (5º P)	0,001912	0,63266168
Aumento de diversidade total	1º P	0	
	2º P	0,634194865	
	3º P	1,58472057	
	4º P	2,377080855	
	5º P	3,16944114	

Os resultados dos problemas PL1 a PL8 (problemas que só utilizam as restrições de área) estão apresentados na Tabela 36.

TABELA 36: RESUMO DOS RESULTADOS DE PROGRAMAÇÃO LINEAR (SÓ COM RESTRIÇÕES DE ÁREA)

	função objetivo	restrições	valor da função objetivo
PL1	META 1	ÁREA	145575 st
PL2	META 2	ÁREA	10648,75 m ²
PL3	META 3	ÁREA	4470,04 (1º,3º e 5º anos)
PL4	META 4	ÁREA	9767,03 v.d
PL5	META 5	ÁREA	122429,3 kg
PL6	META 6	ÁREA	48,12 f.d
PL7	META 7	ÁREA	28,21
PL8	META 8	ÁREA	3,17

Os oito primeiros problemas de programação linear foram resolvidos utilizando apenas as restrições de área. Em cada problema, foi otimizado um único objetivo e assim verificou-se o valor máximo para cada um deles, com o objetivo de verificar se a meta fornecida pela indústria, conforme a Tabela 08, pode ou não ser atendida. Nos problemas referentes à produção de *Pinus*, foram resolvidos um problema de programação linear para cada período, podendo verificar qual a produção máxima de *Pinus* em cada um dos períodos.

A Tabela 37 faz uma comparação entre as metas propostas pela Indústria e o valor máximo que cada meta poderá atingir se considerada individualmente.

TABELA 37: PRODUÇÃO MÁXIMA E METAS PROPOSTAS PELA INDÚSTRIA

Metas	Período	meta proposta	Produção máxima
	1	34000	29372,5
	2	34000	42672,5
<i>Pinus</i> (st)	3	34000	6750
	4	34000	36750
	5	34000	30030
	Total	170000	145575
	1	170	2129,73
	2	170	2129,73
<i>Araucária</i> (m ³)	3	170	2129,73
	4	170	2129,73
	5	170	2129,73
	Total	850	10648,65

continua...

CONTINUAÇÃO DA TABELA 37: PRODUÇÃO MÁXIMA E METAS PROPOSTAS PELA INDÚSTRIA

	1	700	1490,012
	2	700	0
Erva-mate (arrobas)	3	700	1490,012
	4	700	0
	5	700	1490,012
	Total	3500	4470,036
	1	200	9767,03
	2	200	9767,03
Turismo (v.d.)	3	200	9767,03
	4	200	9767,03
	5	200	9767,03
	Total	200	9767,03
	1	2847,73	24485,86
	2	2847,73	24485,86
Produção de carne (kg)	3	2847,73	24485,86
	4	2847,73	24485,86
	5	2847,73	24485,86
	Total	14238,65	122429,3
	1	50	48,12
	2	50	56,44
Emprego (f.d)	3	50	36,5
	4	50	53,57
	5	50	49,07
	Total	50	56,44
	1	0	0
	2	7	7,05
Aumento na diversidade da	3	14	14,1
Flora	4	21	21,16
(nº de espécies)	5	28	28,21
	Total	28	28,21
	1	0	0
	2	1	0,94
Aumento na diversidade da	3	1	1,58
Fauna	4	2	2,38
(nº de espécies)	5	2	3,17
	Total	2	3,17

Verifica-se na Tabela 37 que algumas metas nunca poderão ser atingidas, mesmo se consideradas isoladamente. É o que acontece com a produção de *Pinus* no 1.º, 3.º e 5.º períodos, mesmo sendo cortado todo o *Pinus* disponível para o corte nestes períodos a produção

nunca atingirá a meta proposta. A meta de araucária pode facilmente ser atingida, pois a produção é bem maior que a meta. A produção máxima de erva-mate encontrada equivale a produção de 2 anos. Se toda a erva-mate for cortada no 1.º período, no 2.º período não haverá produção. A meta referente ao turismo também é facilmente atingida, pois todas as áreas da fazenda podem ser utilizadas para o turismo, exceto nos anos em que há o corte de *Pinus*, mas esta meta não pode ultrapassar a capacidade do hotel (200 pessoas). A produção de carne também é superior a meta. A meta inicial de manutenção de 50 funcionários é alta para alguns períodos e só poderá ser atingida se o número de turistas ultrapassar a capacidade do hotel. Se todas as metas forem consideradas simultaneamente, o nível de algumas destas metas deve cair. Por exemplo, para aumentar a diversidade é necessário a conversão de uma área de reflorestamento, floresta densa ou campos para área de preservação. Se a área escolhida para a conversão for uma área de floresta densa diminuirá a produção de araucária e erva-mate. Se a área escolhida for uma área de reflorestamento, além de aumentar a diversidade, também aumentará o número de turistas, porém a produção de *Pinus* será menor.

Os regimes de manejos escolhidos para cada problema de programação linear estão apresentados na Tabela 38.

TABELA 38: RESULTADOS DOS PROBLEMAS DE PROGRAMAÇÃO LINEAR, COM OS MANEJOS ESCOLHIDOS PARA CADA TALHÃO

		Talhões	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14
		Área Total ha	96,73	39	10	105	85,8	62,89	170,69	13	26,33	163,66	422,66	438,81	330,89	126,78
	PL	Função Objetivo														
1	<i>Pinus</i>	145575 st	M1 96,73	M1 39	M1 10	M1 105	M1 85,8	M1 62,89	M1 170,69	M1 13	x	x	x	x	x	x
			x	x	x	x	x	x	x	x	M2 8,78	M2 54,55	M2 140,89	x	M2 55,15	x
			x	x	x	x	x	x	x	x	M3 8,78	M3 54,55	M3 140,89	x	M3 55,15	x
2	Araucária	10648,65 m ³	x	x	x	x	x	x	x	x	M4 8,78	M4 54,55	M4 140,89	x	M4 55,15	x
			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	M5 55,15	x
			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	M6 55,15	x
			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	M7 55,15	x
			x	x	x	x	x	x	x	x	M3 8,78	M3 54,55	M3 140,89	x	M3 55,15	x
			x	x	x	x	x	x	x	x	M7 8,78	M7 54,55	M7 140,89	x	M5 55,15	x
			x	x	x	x	x	x	x	x	M11 8,78	M11 54,55	M11 140,89	x	M6 55,15	x
3	Erva-mate	4470,04 arrobas	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	M8 55,15	x
			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	M10 55,15	x
			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	M12 55,15	x
4	Turismo	9767,03 v.d	M15 96,73	M15 39	M15 10	M15 105	M15 85,8	M15 62,89	M15 170,69	M15 13	M11 6,58	M11 40,91	M11 105,67	M11 219,41	M11 55,15	M15 63,39

continua...

CONTINUAÇÃO DA TABELA 38: RESULTADOS DOS PROBLEMAS DE PROGRAMAÇÃO LINEAR

			x	x	x	x	x	x	x	x	M12 6,58	M12 40,91	M12 105,67	M16 219,41	M12 55,15	M16 63,39
			x	x	x	x	x	x	x	x	M15 6,58	M15 40,91	M15 105,67	x	M13 55,15	x
			x	x	x	x	x	x	x	x	M16 6,58	M16 40,91	M16 105,67	x	M14 55,15	x
			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	M15 55,15	x
			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	M16 55,15	x
			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	M5 47,27	x
			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	M6 47,27	x
5	Produção de carne	122429,30 kg	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	M9 47,27	x
			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	M10 47,27	x
			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	M13 47,27	x
			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	M14 47,27	x
			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	M17 47,27	x
6	n.º de func.	56,44 f.d	M18 96,73	M18 39	M16 10	M18 105	M18 85,80	M18 62,89	M1 170,69	M18 13	M4 26,33	M4 163,66	M4 422,26	M16 43,29	M6 330,89	M18 126,78
			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	M18 395,53	x x
7	Aumento na	28,21	M16 48,36	M16 19,50	M16 5	M16 52,5	M16 42,9	M16 31,45	M16 85,34	M16 6,5	M16 13,16	M16 81,83	M16 211,13	x	M16 165,45	x
	Diversidade da flora		M18 48,37	M18 19,50	M16 5	M18 52,5	M18 42,9	M18 31,45	M18 85,34	M18 6,5	M18 13,16	M18 81,83	M18 211,13	x	M18 165,45	x
8	Aumento na	3,17	M16 48,37	M16 19,50	M16 5	M16 52,5	M16 42,9	M16 31,45	M16 85,35	M16 6,5	M16 13,16	M16 81,83	M16 211,13	x	M16 165,45	x
	Diversidade da fauna		M18 48,36	M18 19,50	M16 5	M18 52,5	M18 42,9	M18 31,45	M18 85,35	M18 6,5	M18 13,16	M18 81,83	M18 211,13	x	M18 165,45	x

No primeiro problema de programação linear, foi maximizada a produção de *Pinus* durante todo o período de planejamento. O manejo escolhido foi o M1, o único manejo que corta *Pinus*. No segundo problema de programação linear, foi maximizado o corte de araucária, os manejos escolhidos foram M2, M3, M4, M5, M6 e M7. Todos estes manejos cortam araucária. Embora alguns destes manejos tenham outros usos além do corte de araucária, a produção é a mesma. Ao maximizar o corte de folhas de erva-mate todos os manejos escolhidos incluem o corte de erva-mate. O número de visitantes/dia máximo encontrado foi de 9767,03, mas como este número ultrapassa a capacidade do hotel verifica-se que a meta de turismo pode facilmente ser atingida. Quando a função objetivo é de maximizar a produção de carne o único talhão utilizado foi o T13, pois é o único que possui pastagens, e todos os manejos escolhidos incluem o uso de pastagens. O número máximo de funcionários encontrado foi no segundo período, 56,44 funcionários-dia. Este número foi encontrado levando em conta a capacidade do hotel, considerando apenas funcionários para atender os 200 turistas permitidos. Os manejos escolhidos foram os que mais necessitam de funcionários. Os manejos referentes a proteção ambiental que necessitam de poucos funcionários só foram escolhidos para talhões que permitiam somente turismo e proteção ambiental, como o número de turistas é restrito, o único manejo que poderia empregar funcionários é o manejo de proteção ambiental. Ao maximizar o aumento na diversidade da flora e da fauna os manejos escolhidos foram M16 e M18, os únicos manejos que aumentam a diversidade. Os talhões que não foram manejados foram os talhões T12 e T14, que são talhões de proteção ambiental e banhados que não podem aumentar a diversidade.

Os resultados dos problemas de programação linear, quando são consideradas restrições de área e de metas, estão apresentados na Tabela 39.

TABELA 39: RESULTADOS DOS PROBLEMAS DE PROGRAMAÇÃO LINEAR (COM RESTRIÇÕES DE ÁREA E METAS)

	função objetivo	restrições	valor da F.O.
PL9	META 1	ÁREAS E OUTRAS METAS	Infactível
PL10	META 2	ÁREAS E OUTRAS METAS	Infactível
PL11	META 3	ÁREAS E OUTRAS METAS	Infactível
PL12	META 4	ÁREAS E OUTRAS METAS	Infactível
PL13	META 5	ÁREAS E OUTRAS METAS	Infactível
PL14	META 6	ÁREAS E OUTRAS METAS	Infactível
PL15	META 7	ÁREAS E OUTRAS METAS	Infactível
PL16	META 8	ÁREAS E OUTRAS METAS	Infactível

Os problemas PL9 a PL16 são infactíveis, devido às inconsistências entre os objetivos, conforme Tabela 39. Uma das formas de resolver esta situação de infactibilidade é através da utilização de *goal programming*. Em *goal programming*, não existe a necessidade de atingir exatamente todas as metas e o problema pode ser factível. Outra vantagem da aplicação de *goal programming* é a possibilidade de otimizar todos os objetivos simultaneamente.

4.5. RESULTADOS E ANÁLISE DOS PROBLEMAS DE *GOAL PROGRAMMING*

4.5.1 *Goal Programming*

O estudo de caso foi feito com a utilização de 2 conjuntos de metas, alterando a região de factibilidade. Os conjuntos de metas estão descritos na Tabela 40.

TABELA 40: CONJUNTO DE METAS I E II

Meta	Período	Conjunto de metas I	Conjunto de metas II
<i>Pinus</i>	1	29300	29300
	2	35300	42600
	3	6700	6700
	4	35300	36700
	5	30000	30000
<i>Araucária</i>	1	170	2100
	2	170	2100
	3	170	2100
	4	170	2100
	5	170	2100
<i>Erva-mate</i>	1	700	700
	2	700	700
	3	700	700
	4	700	700
	5	700	700
<i>Turismo</i>	1	200	200
	2	200	200
	3	200	200
	4	200	200
	5	200	200
<i>Pastagens</i>	1	2800	24400
	2	2800	24400
	3	2800	24400
	4	2800	24400
	5	2800	24400
<i>Emprego</i>	1	50	48
	2	50	56
	3	50	36
	4	50	53
	5	50	49

continua...

CONTINUAÇÃO DA TABELA 40: CONJUNTO DE METAS I E II

	1	0	0
Aumento na	2	7	7
Diversidade da	3	14	14
Flora	4	21	21
	5	28	28
	1	0	0
Aumento na	2	1	1
Diversidade da	3	1	1
Fauna	4	2	2
	5	2	3

Os valores referentes ao conjunto de metas I são os valores propostos pela Indústria, conforme Tabela 08. Alguns destes valores foram reduzidos à produção máxima obtida nos problemas de programação linear. No conjunto de metas II, foram utilizados como metas os valores ótimos obtidos nos problemas de programação linear, conforme Tabela 37.

4.5.1.1. Resultados para o conjunto de metas I

O modelo de *goal programming* foi resolvido utilizando primeiramente o conjunto de metas I e a solução obtida está apresentada na Tabela 41. Na coluna referente à meta teórica, encontram-se os valores propostos pela Indústria e a meta atingida mostra a solução obtida através do modelo descrito em 4.3.1.1.

TABELA 41: SOLUÇÃO DO PROBLEMA DE *GOAL PROGRAMMING* COM O CONJUNTO DE METAS I

Metas I (pesos unitários)			
	<i>k</i>	Meta teórica	meta atingida
	1	29300	29300
	2	35300	35000
<i>Pinus</i>	3	6750	6700
	4	35300	35000
	5	30000	30000

continua ...

CONTINUAÇÃO DA TABELA 41: SOLUÇÃO DO PROBLEMA DE *GOAL PROGRAMMING* COM O CONJUNTO DE METAS I

	1	170	170
	2	170	170
Araucária	3	170	170
	4	170	170
	5	170	170
	1	700	700
	2	700	700
Erva-mate	3	700	700
	4	700	700
	5	700	700
	1	200	200
	2	200	200
Turismo	3	200	200
	4	200	200
	5	200	200
	1	2800	2800
	2	2800	2800
Pastagens	3	2800	2800
	4	2800	2800
	5	2800	2800
	1	50	39,66
	2	50	43,14
Emprego	3	50	27,2
	4	50	43,14
	5	50	40,32
	2	7	1,61
	3	14	3,23
Flora	4	21	4,84
	5	28	6,46
	2	1	0,16
	3	1	0,33
	4	2	0,49
	5	2	0,66

Os pesos de todas as variáveis de desvios (d^+ e d^-) nesta primeira solução são iguais a 1, significando que todas as metas têm a mesma prioridade. Atribuindo-se pesos não nulos para ambas as variáveis de desvios na função objetivo a ser minimizada, pretende-se atingir a meta exatamente, isto é, os desvios negativos e os desvios positivos serão minimizados. Resolvendo o problema de *goal programming* com pesos unitários, verifica-se que as metas

de *Pinus*, araucária, erva-mate, turismo e pastagens foram exatamente atingidas. O número de funcionários e a diversidade da flora e da fauna foram inferiores à meta. Para que a meta de manutenção de funcionários seja atingida, é necessário que uma outra meta tenha um desvio superior, aumentando a mão de obra e consequentemente o valor da função objetivo. Para aumentar a diversidade da flora e da fauna, as áreas de reflorestamento, nativas ou campos devem ser convertidas para proteção ambiental o que resultaria no decréscimo de uma outra meta, portanto a solução obtida é não dominada. Supondo que a principal prioridade da Indústria seja o aumento na diversidade biológica, esta solução não é a melhor. Uma solução para este problema é atribuir pesos maiores para as metas de diversidade, multiplicando restrições e metas de diversidade por uma constante α . Foram considerados três valores para α : 1000, 100 e 10, cada um representando a importância da meta diversidade em relação as outras metas. Os resultados estão apresentados na Tabela 42.

TABELA 42 : SOLUÇÕES CONSIDERANDO-SE PESO MAIOR PARA A META DE DIVERSIDADE

		Meta teórica	Conjunto de metas I			
	<i>k</i>		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

continua...

CONTINUAÇÃO DA TABELA 42 : SOLUÇÕES CONSIDERANDO-SE PESO MAIOR PARA A META DE DIVERSIDADE

	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
	1	2800	2800	2800	0	0
Pastagens	2	2800	2800	2800	0	0
	3	2800	2800	2800	0	0
	4	2800	2800	2800	0	0
	5	2800	2800	2800	0	0
	1	50	39,66	39,66	39,08	50
Emprego	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
	2	7	1,61	1,61	4,69	5,9
Aumento na Diversidade da flora	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

Ao atribuir pesos maiores para a meta de diversidade, a meta de *Pinus* deixou de ser atingida, para que a área pudesse ser utilizada para proteção ambiental e aumentando desta forma a diversidade. A meta atingida de emprego diminuiu em todos os períodos, pois a meta de diversidade não requer muitos funcionários, porém no último período aumentou o turismo também, exigindo mais mão de obra.

Os manejos que devem ser aplicados em cada talhão dependem da prioridade de cada meta. Os manejos referentes ao conjunto de metas I, com peso 1 para todas as metas podem ser encontrados no Anexo 4. Naquele problema, foram utilizados como metas os valores propostos pela indústria. A solução obtida é uma solução não dominada, pois para aumentar a

meta de diversidade que não foi atingida, é necessário reduzir uma outra meta. As metas de *Pinus*, araucária, erva-mate e pastagens foram exatamente atingidas. Para atingir a meta emprego, seria necessário aumentar as metas de *Pinus*, araucária, erva-mate, pastagens ou turismo, e estas teriam um desvio superior a meta, portanto o problema foi bem resolvido. O valor da função objetivo do problema representa os desvios que houveram em relação à meta atingida e a meta proposta pela indústria. Os desvios não foram grandes, isto significa que quase todas as metas foram atingidas. O vetor X do Anexo 4 mostra quais manejos devem ser aplicados em cada talhão e em quantos hectares.

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 manejos que incluem o corte de *Pinus*. Atribuindo peso 1000 para a diversidade os manejos escolhidos aumentam a diversidade. A relação dos manejos escolhidos encontra-se no Anexo 5.

As Figuras 09 e 10 mostraram a influência dos pesos nas metas de diversidade da flora e diversidade da fauna.

FIGURA 09: A INFLUÊNCIA DOS PESOS NAS METAS DE DIVERSIDADE DA FLORA

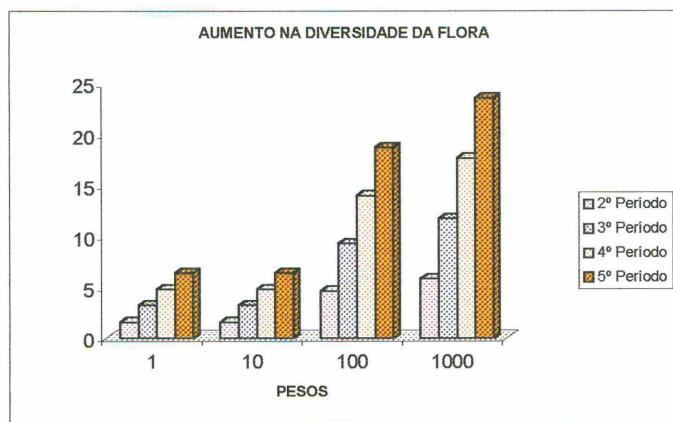
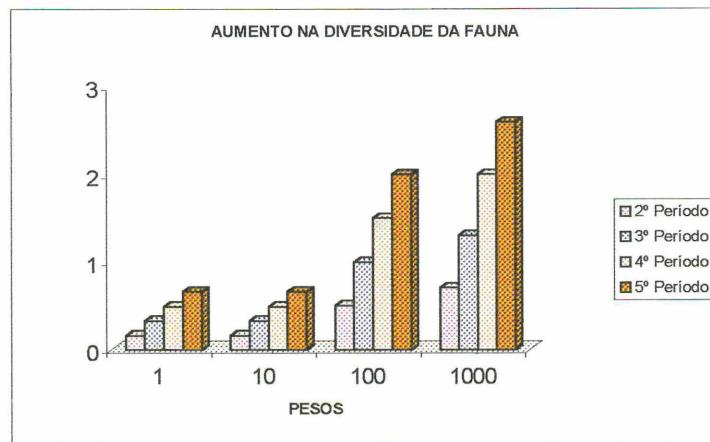


FIGURA 10: A INFLUÊNCIA DOS PESOS NAS METAS DE DIVERSIDADE DA FAUNA



Utilizando um peso grande $\alpha = 1000$, as metas atingidas de diversidade aumentaram, porém não chegaram ao valor máximo. Provavelmente isto ocorreu devido ao fato de que a meta de diversidade é muito pequena (em valor absoluto) em relação às demais. Com o aumento da diversidade, observou-se que o turismo também aumentou, pois as metas são complementares. As áreas de reflorestamento possuem um índice menor de turismo, se convertidas para preservação este índice aumenta, aumentando também o turismo. Segundo SCHULER et al. (1977), quando as metas são complementares, à medida que uma meta aumenta, a outra também aumenta, ao contrário do que ocorre quando as metas são conflitantes.

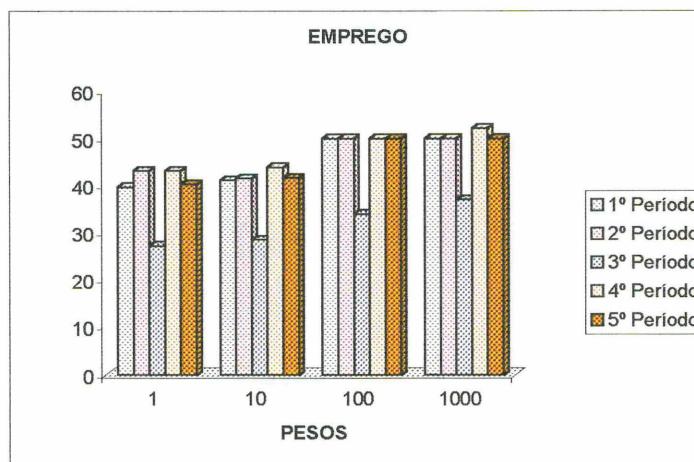
Se o principal objetivo é manter o número de empregos, atribuímos pesos maiores para a meta emprego. Os pesos atribuídos foram 1, 10, 100 e 1000. As soluções obtidas estão apresentadas na Tabela 43.

TABELA 43: SOLUÇÕES CONSIDERANDO-SE PESO MAIOR PARA A META DE EMPREGO

		Conjunto de metas I				
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	29260,56	29300	29300
	2	35300	35000	35000	34741,99	35000,07
	3	6750	6700	6701,12	3500	6700
	4	35300	35000	34981,46	31826,14	35000
	5	30000	30000	29981,46	29319,02	29998,55
Araucária	1	170	170	177,45	1002,63	170
	2	170	170	177,45	1002,63	170
	3	170	170	177,45	1002,63	170
	4	170	170	177,45	1002,63	170
	5	170	170	177,45	1002,63	170
Erva-mate	1	700	700	700	844,52	700
	2	700	700	636,83	584,64	499,58
	3	700	700	700	844,52	700
	4	700	700	636,83	584,64	499,58
	5	700	700	700	844,52	700
Turismo	1	200	200	227,95	251,14	299,19
	2	200	200	200	221,91	269,67
	3	200	200	228,84	239,32	297,24
	4	200	200	224,43	238,33	291,36
	5	200	200	229,3	249,52	295,28
Pastagens	1	2800	2800	2800,93	18931,01	2800
	2	2800	2800	2800,93	18931,01	2800
	3	2800	2800	2800,93	18931,01	2800
	4	2800	2800	2800,93	18931,01	2800
	5	2800	2800	2800,93	18931,01	2800
Emprego	1	50	39,66	41,11	50	50
	2	50	43,14	41,51	50	50
	3	50	27,2	28,5	34	37,08
	4	50	43,14	43,95	50	52,19
	5	50	40,32	41,67	50	50
Aumento na Diversidade da flora	2	7	1,61	0,12	1,14	1,43
	3	14	3,23	0,24	2,29	2,87
	4	21	4,84	0,36	3,43	4,3
	5	28	6,46	0,47	4,58	5,74
Aumento na Diversidade da fauna	2	1	0,16	0,01	0,12	0,15
	3	1	0,33	0,02	0,23	0,29
	4	2	0,49	0,04	0,35	0,44
	5	2	0,66	0,05	0,47	0,59

Atribuindo pesos maiores para a meta de emprego, os manejos escolhidos foram aqueles que necessitam de maior número de funcionários como o corte de *Pinus*. Para um peso igual a 100, atribuído à meta de emprego, houve um aumento na meta atingida de araucária. Este aumento foi devido à utilização de manejos que envolviam três usos, entre eles o uso para o corte de araucária, e necessitaria de maior número de funcionários. Com a utilização de peso 1000 para emprego, o volume cortado de araucária não foi tão alto, pois o manejo escolhido para aumentar o emprego neste caso foi o aumento do número de turistas. No 3.º período o emprego foi menor em relação aos demais períodos; isto foi devido ao baixo volume de *Pinus* que pode ser cortado neste período, necessitando um menor número de funcionários. O gráfico da Figura 11 mostra a influência dos pesos em relação à meta emprego. No eixo x, foram representados os pesos: 1, 10, 100 e 1000. Para cada peso, tem-se 5 colunas, cada coluna representando um período. As cinco primeiras colunas representam o número de funcionários encontrados se não for atribuída nenhuma prioridade, isto é, para um $\alpha = 1$.

FIGURA 11: A INFLUÊNCIA DOS PESOS NAS METAS DE MANUTENÇÃO DE EMPREGO ($\alpha = 1, 10, 100, 1000$)



No gráfico acima, verifica-se que o número de funcionários que mais se aproxima da meta é referente ao maior peso.

Observa-se, pelos resultados da Tabela 43, que, para atingir a meta emprego o mais próximo possível, procuraram-se pelas atividades que mais utilizam mão-de-obra tais como o corte de *Pinus* e turismo. O aumento na diversidade não foi priorizado pois não requer muita mão de obra.

Ao atribuir pesos maiores para a meta emprego houve um aumento no número de funcionários, mas não foi tão expressivo quanto o ocorrido na diversidade da flora e da fauna. Isto ocorreu devido ao fato do aumento da meta emprego depender do aumento de outras metas como a produção de *Pinus*, araucária, turismo, entre outras ao contrário do que acontece com o aumento das metas de diversidade que não dependem de outras metas para poderem ser atingidas.

4.5.1.2. Resultados para o conjunto de metas II

Foram também executados algumas situações com o conjunto de metas II. Alguns resultados estão apresentados a seguir. Na Tabela 44, estão os resultados com pesos unitários e com pesos diferentes para o aumento na diversidade da flora e da fauna.

TABELA 44: SOLUÇÕES DOS PROBLEMAS DE *GOAL PROGRAMMING* COM O CONJUNTO DE METAS II

Conjunto de metas II (Pesos para a diversidade da flora e da fauna)						
k	meta teórica	Meta atingida				
		Peso 1	Peso 10	Peso 100	Peso 1000	
<i>Pinus</i>	1	29300	29299,88	29299,88	14650	0
	2	42600	42599,89	42599,89	0	0
	3	6700	6699,85	6699,85	3500	0
	4	36700	36699,9	36699,9	0	0
	5	30000	29999,91	29999,91	0	0
	1	2100	2067,09	2067,09	2100	2062,63

CONTINUAÇÃO DA TABELA 44: SOLUÇÕES DOS PROBLEMAS DE *GOAL PROGRAMMING* COM O CONJUNTO DE METAS II

Araucária	2	2100	2067,09	2067,09	2100	2062,63
	3	2100	2067,09	2067,09	2100	2062,63
	4	2100	2067,09	2067,09	2100	2062,63
	5	2100	2067,09	2067,09	2100	2062,63
	1	700	680,4	680,4	700	676,07
Erva-mate	2	700	679,9	679,9	700	675,32
	3	700	680,4	680,4	700	676,07
	4	700	679,9	679,9	700	675,32
	5	700	680,4	680,4	700	676,07
	1	200	192,45	192,45	226,32	200
Turismo	2	200	197,45	197,45	226,32	200
	3	200	199,93	199,93	226,32	200
	4	200	202,42	202,42	226,32	200
	5	200	204,91	204,91	200	200
	1	24400	24400,36	24400,36	24400	22461,75
Pastagens	2	24400	24400,36	24400,36	24400	22461,75
	3	24400	24400,36	24400,36	24400	22461,75
	4	24400	24400,36	24400,36	24400	22461,75
	5	24400	24400,36	24400,36	24400	22461,75
	1	41	45,09	45,09	40,7	27,37
Emprego	2	56	53,18	53,18	34,03	30,02
	3	36	33,16	33,16	36	29,97
	4	53	50,61	50,61	34,03	30,29
	5	49	46,57	46,57	31,4	29,75
	2	7	0,27	0,27	4,12	4,74
Aumento na Diversidade da flora	3	14	0,54	0,54	8,23	9,48
	4	21	0,8	0,8	12,34	14,22
	5	28	1,07	1,07	16,46	18,95
	2	1	0,03	0,03	0,42	0,49
	3	1	0,06	0,06	0,85	0,98
Aumento na Diversidade da fauna	4	2	0,08	0,08	1,27	1,46
	5	3	0,11	0,11	1,69	1,96

Os resultados apresentados na Tabela 44 referem-se aos valores das metas obtidas através da resolução dos problemas de programação linear.

Ao ser utilizado um peso 1000 para o aumento na diversidade, não houve corte de *Pinus* em nenhum dos períodos para que toda a área de reflorestamento fosse convertida para proteção ambiental aumentando a diversidade da flora e da fauna existente. Os gráficos das

Figuras 12 e 13 mostram a influência dos pesos nas metas de diversidade da flora e da fauna, para o conjunto de metas II.

FIGURA 12: A INFLUÊNCIA DOS PESOS NAS METAS DE DIVERSIDADE DA FLORA

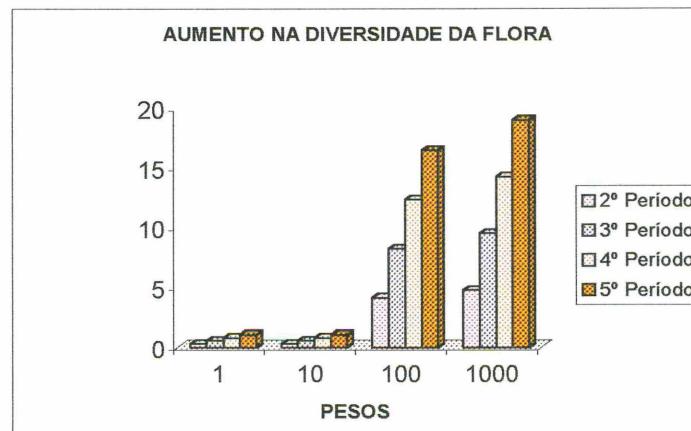
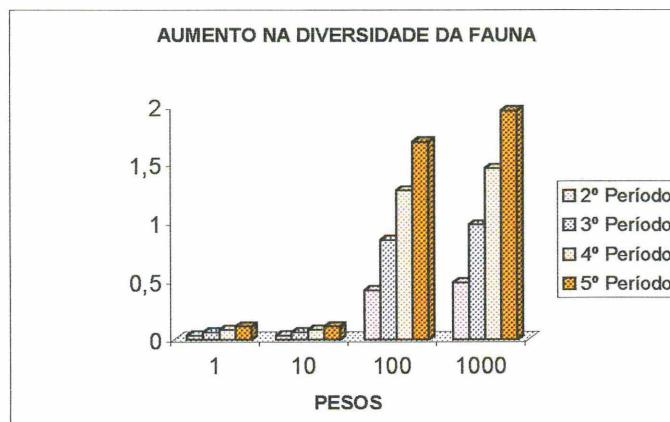


FIGURA 13: A INFLUÊNCIA DOS PESOS NAS METAS DE DIVERSIDADE DA FAUNA



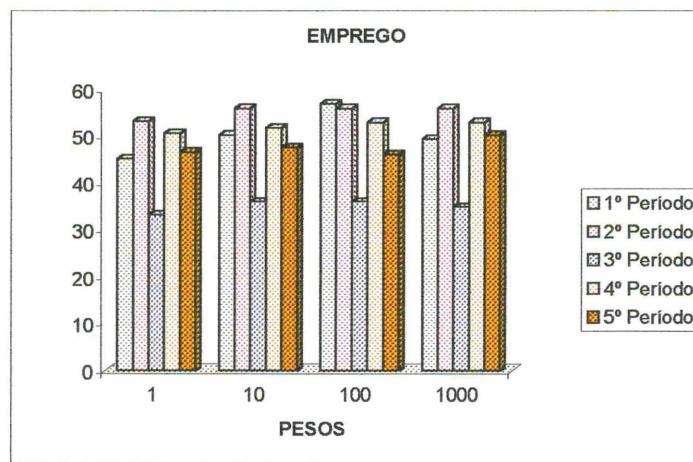
Na Tabela 45 estão representados os resultados quando se prioriza a meta emprego.

TABELA 45: SOLUÇÕES CONSIDERANDO-SE PESO MAIOR PARA A META DE EMPREGO

Conjunto de metas II (Pesos para a meta emprego)						
	k	meta teórica	meta atingida	Meta atingida	meta atingida	Meta atingida
			Peso 1	Peso 10	Peso 100	Peso 1000
<i>Pinus</i>	1	29300	29299,88	29297	29302	29373
	2	42600	42599,89	41496	37886	42600
	3	6700	6699,85	6700	3250	3250
	4	36700	36699,9	36697	36700	36700
	5	30000	29999,91	29997	30000	30000
<i>Araucária</i>	1	2100	2067,09	2067	2055	132
	2	2100	2067,09	2067	2055	132
	3	2100	2067,09	2067	2055	132
	4	2100	2067,09	2067	2055	132
	5	2100	2067,09	2067	2055	132
<i>Erva-mate</i>	1	700	680,4	700	700	700
	2	700	679,9	440	700	700
	3	700	680,4	700	700	700
	4	700	679,9	440	700	700
	5	700	680,4	700	700	700
Turismo	1	200	192,45	230	293	250
	2	200	197,45	220	252	251
	3	200	199,93	215	247	253
	4	200	202,42	208	225	254
	5	200	204,91	200	202	255
Pastagens	1	24400	24400,36	24419	24401	24400
	2	24400	24400,36	24419	24401	24400
	3	24400	24400,36	24419	24401	24400
	4	24400	24400,36	24419	24401	24400
	5	24400	24400,36	24419	24401	24400
Emprego	1	48	45,09	50,2	57,03	49,33
	2	56	53,18	56	56	56
	3	36	33,16	36	36	34,92
	4	53	50,61	51,8	53	53
	5	49	46,57	47,6	46,12	50,24
Aumento na Diversidade da flora	2	7	0,27	1	0	0
	3	14	0,54	2	0	0
	4	21	0,8	2	0	0
	5	28	1,07	3	0	0
Aumento na Diversidade da fauna	2	1	0,03	0	0	0
	3	1	0,06	0	0	0
	4	2	0,08	0	0	0
	5	3	0,11	0	0	0

Observa-se na Tabela 45 que as metas de diversidade caíram para zero pois tal uso não necessita de muitos funcionários. Atribuindo peso maior para a meta de emprego, o número de funcionários ultrapassou a solução máxima obtida no problema de programação linear. Isto ocorreu devido o problema de *goal programming* ter utilizado mais manejos incluindo turismo e ultrapassando a meta proposta de 200 turistas. No problema de programação linear, utilizou-se uma restrição que não permitia que o número de turistas fosse maior que 200. A variação ocorrida no número de funcionários de cada período pode ser verificada através do gráfico da Figura 14.

FIGURA 14: A INFLUÊNCIA DOS PESOS NAS METAS DE EMPREGO



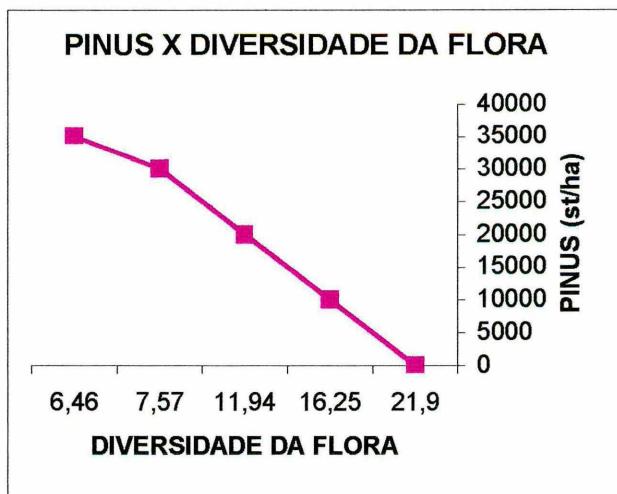
Além destes casos, também foram atribuídos pesos para a meta de *Pinus*, mas como a solução obtida quando todos os pesos são iguais já havia atingido a meta, não houve mudança na solução.

4.5.2 Gráficos com Metas Conflitantes

Nos problemas executados, 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 metas de *Pinus* e de diversidade da flora ou da fauna. Foi feita uma análise destas metas através de uma variação nos valores de *Pinus* e utilizados pesos unitários e metas propostas pela Indústria sendo alteradas apenas as metas de *Pinus*.

A Figura 15 mostra a relação existente entre metas de *Pinus* e diversidade da flora no 5.º período. À medida que aumenta a meta de *Pinus*, a diversidade da flora diminui.

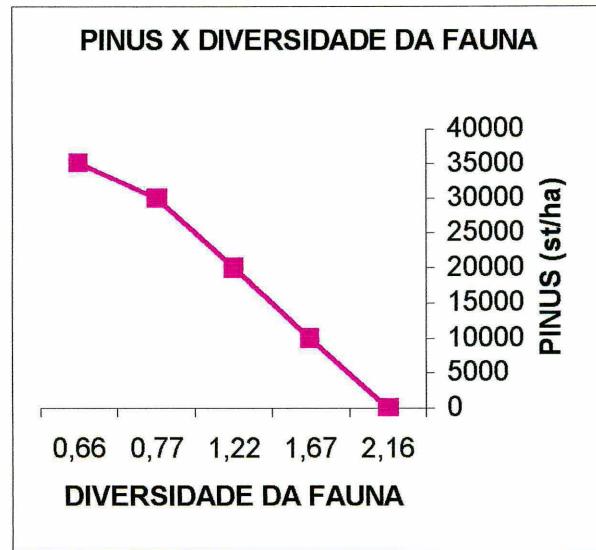
FIGURA 15 : PINUS X DIVERSIDADE DA FLORA



Na Figura 15 observa-se que as metas de produção de *Pinus* e aumento da diversidade da flora são conflitantes. Se nenhuma meta de *Pinus* é atendida o aumento na diversidade da flora é de aproximadamente 22 espécies, pois as áreas de reflorestamento são convertidas para proteção ambiental. Quando as metas de produção de *Pinus* são maiores observa-se que cai o número de espécies diferentes da flora. Por exemplo, com uma meta de *Pinus* de aproximadamente 35000 st, o aumento de espécies diferentes de flora cai para 6 espécies.

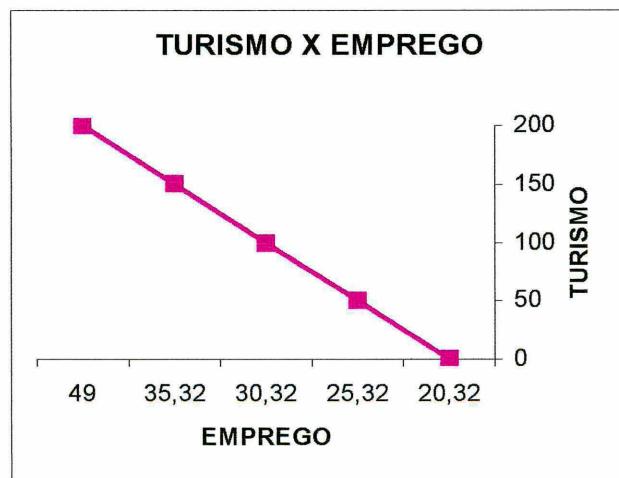
A Figura 16 mostra a relação existente entre metas de *Pinus* e diversidade da fauna no 5.º período.

FIGURA 16: *PINUS X DIVERSIDADE DA FAUNA*



Algumas metas podem ser complementares como é o caso das metas de turismo e emprego. Aumentando o número de turistas, a meta emprego também aumenta, como pode ser visto na Figura 17.

FIGURA 17: METAS COMPLEMENTARES



CAPÍTULO V

1. CONCLUSÕES

5.1 CONCLUSÕES GERAIS

Resolvendo os problemas através do algoritmo de programação linear, considerando apenas as restrições de área e otimizando um objetivo de cada vez, obteve-se a produção máxima, caso toda a área fosse utilizada com um único objetivo. Estas soluções são úteis para saber qual é o limite de produção de cada meta, mas possui a desvantagem de atingir um único objetivo.

Os problemas foram novamente resolvidos considerando, além das restrições de área, outras restrições, para poder contemplar todos os objetivos do problema. Neste caso, a programação linear tenta maximizar um objetivo considerando todos os outros nas restrições. As soluções obtidas são infactíveis.

Em seguida, foi aplicada uma das técnicas de programação multi-objetivo (*goal programming*) que tem a vantagem de atingir todos os objetivos o mais próximo possível. 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 dados a cada meta.

5.2 PROBLEMAS NAS SOLUÇÕES

A existência de algumas restrições de programação linear em modelos de *goal programming* pode fazer com que a solução obtida seja uma solução dominada. No modelo descrito, as restrições de área são restrições de programação linear. Segundo Schniederjans (1994) dependendo dos valores para as metas, a solução obtida pode ser dominada. Isto torna o problema instável, pois pequenas modificações das metas podem causar soluções dominadas.

No modelo utilizado, existem algumas metas muito maiores em relação a outras. Como é o caso das metas de *Pinus* e metas de diversidade. Isto faz com que a meta de *Pinus* seja mais facilmente atingida em relação à meta de diversidade que, mesmo não sendo atingida, terá um desvio pequeno, se comparada com a de *Pinus*. Multiplicar restrições e metas de diversidade por uma constante maior faz com que esta meta fique mais próxima da meta de *Pinus* e ela será mais facilmente atingida.

Em alguns testes realizados ocorreram problemas de mal condicionamento na matriz dos coeficientes, devido a alguns destes coeficientes serem muito próximos de zeros e outros com valores maiores. Quando o problema é mal condicionado, a solução obtida não é confiável. Para solucionar este problema foi utilizado um pré-condicionador na matriz dos coeficientes (matriz A), fazendo com que os valores dos coeficientes tornem-se mais próximos. Desta forma, a matriz deixou de ser mal condicionada e a resposta obtida é confiável.

Com a mesma matriz de coeficientes, foi alterado o conjunto de metas. Utilizando como meta a produção máxima obtida nos problemas de programação linear, o problema foi bem resolvido, mais estável numericamente, sem a necessidade do uso de pré-

condicionadores. Neste caso, a região factível foi modificada. Observou-se que a estabilidade da solução varia muito em função da região factível considerada.

5.3 A INFLUÊNCIA DOS PESOS NA SOLUÇÃO

Através de testes com pesos cardinais, observou-se que algumas metas não foram atingidas em todos os períodos, para atender outras em outros períodos. Para que uma meta fosse atingida em todos os períodos foi necessário atribuir um peso maior para todos os desvios desta meta. Desta forma todos os recursos disponíveis são usados para atender a meta de maior prioridade.

Esta é uma das vantagens da resolução de problemas com múltiplos objetivos através de *goal programming*; o decisor pode escolher a melhor solução dentre um conjunto de soluções, de acordo com o seu principal objetivo.

As desvantagens do uso de pesos são:

- (1) às vezes é difícil encontrar os pesos corretamente no sentido de representar o problema real;
- (2) em alguns testes realizados, pequenas mudanças nos pesos modificam bastante o resultado.

5.4. PROGRAMAÇÃO LINEAR VERSUS GOAL PROGRAMMING

A resolução de problemas com múltiplos objetivos através de *goal programming* possui as seguintes vantagens em relação à resolução por meio de programação linear.

- Todos os objetivos podem ser otimizados simultaneamente, sem a necessidade de selecionar apenas um deles para ser otimizado, constituindo-se o ponto mais forte do método;
- Em programação linear, somente um objetivo é otimizado e a região factível é definida pelas restrições;
- Em problemas de programação linear envolvendo muitos objetivos, existe a possibilidade do problema ser infactível e muitas vezes é difícil encontrar a restrição que causa a infactibilidade. O problema será factível se as restrições impostas pelo problema forem todas consistentes;
- A limitação de recursos pode impedir a possibilidade de atingir simultaneamente todas as metas. Em *goal programming*, as metas não precisam ser totalmente atingidas. São metas flexíveis e podem ser encontradas de acordo com a sua prioridade;
- Para tornar o problema de programação linear com todas as restrições e metas factíveis, teríamos que definir um valor possível para cada meta simultaneamente. Corre-se o risco de colocar metas muito inferiores para que o problema de programação linear seja factível.

Desvantagens observadas:

- Instabilidade da solução quando alterado o conjunto factível, através de mudanças em coeficientes da matriz A de dados e mudança de metas. Para algumas modificações foram constatados nos testes, problemas de instabilidade. Considera-se esta observação como o ponto mais fraco do método. No presente estudo de caso a instabilidade se deva talvez ao número baixo de regimes de manejo oferecidos;
- Gera muitas restrições de igualdade;
- Requer certa experiência do decisor em relação aos pesos.

5.5. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Resolver o problema para um período maior de planejamento;
- Acrescentar restrições econômicas no modelo;
- Considerar mais regimes de manejos;
- O mesmo método pode ser aplicado em outras áreas de estudo.

6. ANEXOS

ANEXO 1: DADOS DOS PROBLEMAS DE PROGRAMAÇÃO LINEAR

1) MAXIMIZAR O CORTE DE *PINUS* NO PERÍODO DE 5 ANOS

2) MAXIMIZAR O CORTE DE ARAUCÁRIA NO PERÍODO DE 5 ANOS

% DADOS DO PROBLEMA DE PROGRAMAÇÃO LINEAR:

3) MAXIMIZAR O CORTE DE FOLHAS DE ERVA MATE NO PERÍODO DE 5 ANOS

```
% DADOS DO PROBLEMA DE PROGRAMAÇÃO LINEAR:
% VOLUME MÁXIMO DE ERVA MATE
% RESTRIÇÕES DE ÁREA
% MATRIZ DAS ÁREAS
for i = 1:14
    for j = 1+(i-1)*18 : i*18
        AREAS(i,j)=1;
    end
end
A = [AREAS];
x = zeros (1,252);
vlb = zeros (1,252);
vub = [ ];
n = 0;
f1 = zeros (1,144);
f4 = zeros (1,18);
f2 = -[0 0 6 4 0 0 6 4 0 0 6 4 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 6 4 0 0 6 4 0 0 6 4 0 0 0 0 0 0 0 0 6 4 0 0 6 4 0 0 6 4 0 0 0 0 0 0];
f3 = -[0 0 2.4 1.6 2.4 1.6 2.4 1.6 2.4 1.6 2.4 1.6 2.4 1.6 2.4 1.6 0 0 0 0 0];
f = [f1,f2,f4,f3,f4];
b = [96.73 39 10 105 85.8 62.89 170.69 13 26.33 163.66 422.66 438.82 330.89 126.78];
[X,lambda,how]=lp(f,A,b,vlb,vub,x,n,-1);
```

```
C = cond(A);
Z = f*X;
A1 = A(:,1:252);
X1 = X(1:252,:);
meta = A1*X1;
```

4) MAXIMIZAR O NÚMERO DE TURISTAS NO PERÍODO DE 5 ANOS

5) MAXIMIZAR A PRODUÇÃO DE CARNE NO PERÍODO DE 5 ANOS

```

AREAS(i,j)=1;
end
end
A = [A1;AREAS];
x = zeros (1,252);
vlb = zeros (1,252);
vub = [ ];
n = 1;
f1 = zeros (1,216);
f3 = zeros (1,18);
f2 = -[0 0 0 0 370 370 0 0 370 370 0 0 370 370 0 0 370 0 ];
f = [f1, f2, f3];
b = [0 96.73 39 10 105 85.8 62.89 170.69 13 26.33 163.66 422.66 438.82 330.89 126.78];
[X,lambda,how]=lp(f,A,b,vlb,vub,x,n,-1);
C = cond(A);
Z = f*X;
A1 = A(:,1:252);
X1 = X(1:252,:);
meta = A1*X1;

```

6) MAXIMIZAR O NÚMERO DE FUNCIONÁRIOS EM CADA PERÍODO

```

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.93 3.6975 0 0, 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.93 3.6975 0 0, 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0.93 3.6975 0 0, 0 0 0 0 0 0 0 0 0 7.39 7.39 0 0 7.39 5.1325 0 0, 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 7.39 7.39 0 0 7.39 5.3125 0
0, 0 0 0 0 0 0 0 0 0 7.39 7.39 0 0 7.39 5.3125 0 0, 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 4.62 4.62 0 0, 0 0 0 0 0 0 0 0 0
6.77 6.77 6.77 6.77 5.1575 0 0, 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 3.39 3.39 0 0];
% 5º PERÍODO
%A3 = [0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.93 4.62 0 0, 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.93 4.62 0 0, 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0.93 4.62 0 0, 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.93 4.62 0 0, 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 4.62 0 0, 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0.93 4.62 0 0, 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.93 4.62 0 0, 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.93 4.62
0 0, 0 0 0 0 0 0 0 0 0 7.39 7.39 0 0 7.39 4.62 0 0, 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 7.39 7.39 0 0 7.39 4.62 0 0, 0 0 0 0 0 0
0 0 7.39 7.39 0 0 7.39 4.62 0 0, 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 4.62 4.62 0 0, 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 6.77 6.77 6.77
6.77 6.77 4.62 0 0, 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 3.39 3.39 0 0];
% MATRIZ DAS ÁREAS
for i = 1:14
    for j = 1+(i-1)*18 : i*18
        AREAS(i,j)=1;
    end
end
A = [A3;AREAS];
vlb = zeros (1,252);
vub = [];
x = [];
n = 0;
f = - [0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.093 0 0 0 , 0.197072 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.197072 0 0.197072, 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0.093 0.1757657 0 0.1757657, 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.093 0.1645495 0 0.1645495, 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0.093 0.152804 0 0.152804 , 0.1407657 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.1407657 0 0.1407657, 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.093 0.01286711 0 0.01286711, 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.093 0.1167567 0
0.1167567, 0 0.0045045 0.0070785 0.0045045 0 0 0.002574 0 0 0 0.741574 0.739 0 0 0.739 0.741 0 0.002, 0
0.0027027 0.0052767 0.0027027 0 0 0.002574 0 0 0 0.741574 0.739 0 0 0.739 0.741 0 0.002, 0 0.0018018
0.0043758 0.0018018 0 0 0.002574 0 0 0 0.741574 0.739 0 0 0.739 0.741 0 0.002, 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0.462 0.464 0 0.002, 0 0.0018018 0.0028314 0.0018018 0.0228314 0.0218018 0.0010296 0 0.0210296 0.02
0.6780296 0.677 0.6980296 0.697 0.677 0.679 0 0.02 0.002, 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.339 0.341 0 0.002];
%f = - [0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.093 0.116 0 0.002, 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.093 0.18725 0 0.002, 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0.093 0.18725 0 0.002, 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.093 0.18725 0 0.002, 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0.093 0.18725 0 0.002, 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.093 0.18725 0 0.002, 0.1407657 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0.18725 0 0.002 , 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.093 0.18725 0 0.002, 0.0045045 0.0045045 0.0070785 0 0 0
0.002574 0 0 0.739 0.741574 0 0 0.739 0.6718 0 0.002, 0 0.0027027 0.0027027 0.0052767 0 0 0 0 0.002574 0 0
0.739 0.741574 0 0 0.739 0.6718 0 0.002, 0 0.0018018 0.0018018 0.0043758 0 0 0 0 0.002574 0 0 0.739
0.741574 0 0 0.739 0.6718 0 0.002, 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.462 0.464 0 0.002, 0 0.0018018 0.0018018
0.0028314 0.0218018 0.0228314 0 0.0010296 0.02 0.0210296 0.677 0.6780296 0.697 0.6980296 0.677
0.6253 0.02 0.002, 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.339 0.341 0 0.002];
%f = - [0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.093 0.232 0 0.002, 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.093 0.2795 0 0.002 ,
0.197072 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.2795 0 0.002, 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.093 0.2795 0 0.002, 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0.093 0.2795 0 0.002, 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.093 0.2795 0 0.002, 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0.093 0.2795 0 0.002, 0.1407657 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.2795 0 0.002, 0 0.0045045 0.0045045 0.0070785 0.0045045
0 0.002574 0 0 0 0.741574 0.739 0 0 0.739 0.6025 0 0.002, 0 0.0027027 0.0052767 0.0027027 0 0 0.002574 0 0
0 0.741574 0.739 0 0 0.739 0.6025 0 0.002, 0 0.0010018 0.0043758 0.0018018 0 0 0.002574 0 0 0 0.741574
0.739 0 0 0.739 0.6025 0 0.002, 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.462 0.464 0 0.002, 0 0.0018018 0.0028314
0.0018018 0.0228314 0.0218018 0.0010296 0 0.0210296 0.02 0.6780296 0.677 0.6980296 0.697 0.677 0.5715
0.02 0.002, 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.339 0.341 0 0.002];
%f = - [0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.093 0.348 0 0.002, 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.093 0.37175 0 0.002 , 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0.093 0.37175 0 0.002, 0.197072 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.37175 0 0.002, 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0.093 0.37175 0 0.002, 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.093 0.37175 0 0.002, 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0.093 0.37175 0 0.002, 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.093 0.37175 0 0.002, 0 0.0045045 0.0045045 0.0070785 0 0
0 0.002574 0 0 0 0.739 0.741574 0 0 0.739 0.5333 0 0.002, 0 0.0027027 0.0052767 0.0052767 0 0 0 0.002574 0 0
0.739 0.741574 0 0 0.739 0.5333 0 0.002, 0 0.0018018 0.0018018 0.0043758 0 0 0 0 0.002574 0 0 0.739
0.741574 0 0 0.739 0.5333 0 0.002, 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.462 0.464 0 0.002, 0 0.0018018 0.0018018
0.0028314 0.0218018 0.0228314 0 0.0010296 0.02 0.0210296 0.677 0.6780296 0.697 0.6980296 0.677 0.5177
0.02 0.002, 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.339 0.341 0 0.002];

```

7) MAXIMIZAR O AUMENTO NA DIVERSIDADE DA FLORA

```

f = [f1 f1 f1 f1 f1 f1 f1 f2 f2 f4 f3 f4];
b = [0 96.73 39 10 105 85.8 62.89 170.69 13 26.33 163.66 422.26 438.82 330.89 126.78];
[X,lambda,how]=lp(f,A,b,vlb,vub,x,n);
Z = f*X;
A1 = A(:,1:252);
X1 = X(1:252,:);
meta = A1*X1;

```

8) MAXIMIZAR O AUMENTO NA DIVERSIDADE DA FAUNA

ANEXO 2: SOLUÇÕES DOS PROBLEMAS DE PROGRAMAÇÃO LINEAR

Volume máximo de erva-mate que pode ser cortado durante 1º período.

<u>Valor máximo da função objetivo</u>	X =	0		0
		0	T6	0
	T1	0		0
		0		0
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"><u>Z =</u> 0.00 0 -1490.01</div>		0		0
		0		0
		0		0
		0		0
		0		0
<u>Número de condição da matriz A</u>	0	0		0
	0	0		0
	0	0		0
	0	0		0
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"><u>C =</u> 1.00</div>		0		0.00
		0		0.00
		0		M3= 8.78
		0		0.00
		0		0
		0		0.00
meta atingida	0	0		0.00
	0	0		M7= 8.78
	0	0		0.00
0.00	0	0		0.00
0		0		0.00
0		0		M11= 8.78
0		0		0.00
0		0		0.00
0		0		0.00
0		0		0.00
0		0		0.00
26.33		0		0.00
163.66		0		0
422.66		0		0
0		0		0
330.89		0		T10
0		0		0
meta teórica	0	0		0
	0	0		0
96.73		0		0.00
39.00		0		0.00
10.00		0		M7= 54.55
105.00		0		0.00
85.80		0		0.00
62.89		0		0.00
170.69		0		M11=54.55
13.00		0		0.00
26.33		0		0.00
163.66		0		0.00
422.66		0		0.00
438.82		0		0.00
330.89		0		0.00
126.78		0		0.00
	0	0		0

T11	0.00	0	0	0
	0.00	0	0	0
0	0.00	0	0	0
0	0.00	0	0	0
M3= 140.89		0	0	0
0		0	0	0
0		0	0	0
0		0	0	0
M7=140.89	T14	0	0	0
0		0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
M11= 140.89	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
T12	0	0	0	2.00
	0	0	0	2.00
0	0	0	0	0
0	0	0	0	2.00
0	0	0	0	2.00
0	0	0	0	2.00
0	0	0	0	0
0	0	0	0	2.00
0	0	0	0	2.00
0	0	0	0	2.00
0	0	0	0	2.00
0	0	0	0	2.00
0	0	0	0	2.00
0	0	0	0	2.00
0	0	0	0	0
0	0	0	0	2.00
0	0	0	0	2.00
0	0	0	0	2.00
0	0	0	0	2.00
0	0	0	0	2.00
0	0	0	0	0
0	0	0	0	2.00
0	0	0	0	2.00
0	0	0	0	2.00
0	0	0	0	2.00
0	0	0	0	2.00
0	0	0	0	0
T13	0	0	0	2.00
	0	0	0	2.00
0	2.00	0	0	0
0	2.00	0	0	2.00
M3= 55.15	2.00	0	0	2.00
0.00	0	0	0	2.00
M5= 55.15	0.80	0	0	0
0.00	0	0	0	2.00
M7= 55.15	0	0	0	2.00
0.00	0	0	0	2.00
M9= 55.15	0	0	0	2.00
0.00	0	0	0	2.00
M11=55.15	0	0	0	2.00
0.00	0	0	0	2.00
M13= 55.15	0	0	0	2.00
0.00	0	0	0	2.00

0	0	0	0.80	0
2.00	0	0	0.80	0
2.00	0	0.80	0.80	0
2.00	0	0.80	0.80	0
0	0	0	0	0
2.00	0	0.80	0	0
2.00	0	0	0	0
2.00	0	0.80	0	»
0	0	0	0	
2.00	0	0.80	0	
2.00	0	0	0	
2.00	0	0.80	0	
2.00	0	0	0	
2.00	0	0.80	0	
2.00	0	0	0	
2.00	0	0.80	0	
2.00	0	0	0	
2.00	0	0.80	0	

ANEXO 3: DADOS DOS PROBLEMAS DE GOAL PROGRAMMING

```

atn= 100* [0 0 0 0 0 0 0 0 0 7.39 7.39 0 0 7.39 7.39 0 0, 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 7.39 7.39 0 0 7.39 7.39 0 0, 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 7.39 7.39 0 0 7.39 7.39 0 0;
0 0 0 0 0 0 0 0 0 7.39 7.39 0 0 7.39 6.6975 0 0, 0 0 0 0 0 0 0 0 0 7.39 7.39 0 0 7.39 6.6975 0 0, 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 7.39 7.39 0 0 7.39 6.6975 0 0;
0 0 0 0 0 0 0 0 0 7.39 7.39 0 0 7.39 6.0050 0 0, 0 0 0 0 0 0 0 0 0 7.39 7.39 0 0 7.39 6.0050 0 0, 0 0 0 0
0 0 0 0 0 7.39 7.39 0 0 7.39 6.0050 0 0;
0 0 0 0 0 0 0 0 0 7.39 7.39 0 0 7.39 5.1325 0 0, 0 0 0 0 0 0 0 0 0 7.39 7.39 0 0 7.39 5.3125 0 0, 0 0 0 0
0 0 0 0 0 7.39 7.39 0 0 7.39 5.3125 0 0;
0 0 0 0 0 0 0 0 0 7.39 7.39 0 0 7.39 4.62 0 0, 0 0 0 0 0 0 0 0 0 7.39 7.39 0 0 7.39 4.62 0 0, 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 7.39 7.39 0 0 7.39 4.62 0 0];
atp= 100* [0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 4.62 4.62 0 0;
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 4.62 4.62 0 0;
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 4.62 4.62 0 0;
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 4.62 4.62 0 0];
atc= 100* [0 0 0 0 0 0 0 0 0 6.77 6.77 6.77 6.77 6.77 0 0;
0 0 0 0 0 0 0 0 0 6.77 6.77 6.77 6.77 6.77 6.2325 0 0;
0 0 0 0 0 0 0 0 0 6.77 6.77 6.77 6.77 6.77 5.6950 0 0;
0 0 0 0 0 0 0 0 0 6.77 6.77 6.77 6.77 6.77 5.1575 0 0;
0 0 0 0 0 0 0 0 0 6.77 6.77 6.77 6.77 6.77 4.62 0 0];
atb= 100* [0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 3.39 3.39 0 0;
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 3.39 3.39 0 0;
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 3.39 3.39 0 0;
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 3.39 3.39 0 0];
apc= [0 0 0 0 74 74 0 0 74 74 0 0 74 74 0 0 74 0;
0 0 0 0 74 74 0 0 74 74 0 0 74 74 0 0 74 0;
0 0 0 0 74 74 0 0 74 74 0 0 74 74 0 0 74 0;
0 0 0 0 74 74 0 0 74 74 0 0 74 74 0 0 74 0;
0 0 0 0 74 74 0 0 74 74 0 0 74 74 0 0 74 0];
aer= [0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.093 0 0 0 , 0.197072 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.093 0 0 0 , 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.093 0 0 0 , 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.093 0 0 0 , 0.1407657 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.093 0 0 0 , 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.093 0 0 0 ; 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.093 0.116 0 0.002, 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.093 0.18725 0 0.002 ,
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.093 0.18725 0 0.002 , 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.093 0.18725 0 0.002 , 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.093 0.18725
0 0.002 , 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.093 0.18725 0 0.002 , 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.093 0.18725
0 0.002 , 0.1407657 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.093
0.18725 0 0.002;
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.093 0.232 0 0.002, 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.093 0.2795 0 0.002 ,
0.197072 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.2795 0 0.002 , 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.093 0.2795 0
0.002 , 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.093 0.2795 0 0.002 , 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.093 0.2795
0.002 , 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.093 0.2795 0 0.002 , 0.1407657 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0.2795 0 0.002;
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.093 0.348 0 0.002, 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.093 0.37175 0 0.002 ,
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.093 0.37175 0 0.002 , 0.197072 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.093 0.37175 0
0.002 , 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.093 0.37175 0 0.002 , 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.093 0.37175
0.002 , 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.093 0.37175 0 0.002 , 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.093 0.37175
0.37175 0 0.002;
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.093 0.464 0 0.002, 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.093 0.464 0 0.002 , 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.093 0.464 0 0.002 , 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.093 0.464 0 0.002 ,
0.197072 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.464 0 0.002 , 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.093 0.464 0 0.002
, 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.093 0.464 0 0.002 , 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.093 0.464 0 0.002];
aen = [0 0.0045045 0.0070785 0.0045045 0 0 0.002574 0 0 0 0.741574 0.739 0 0 0.739 0.741 0 0.002,
0 0.0027027 0.0052767 0.0027027 0 0 0.002574 0 0 0 0.741574 0.739 0 0 0.739 0.741 0 0.002, 0
0.0018018 0.0043758 0.0018018 0 0 0.002574 0 0 0 0.741574 0.739 0 0 0.739 0.741 0 0.002;
```

```

0 0.0045045 0.0045045 0.0070785 0 0 0 0.002574 0 0 0.739 0.741574 0 0 0.739 0.6718 0 0.002, 0
0.0027027 0.0027027 0.0052767 0 0 0 0.002574 0 0 0.739 0.741574 0 0 0.739 0.6718 0 0.002, 0
0.0018018 0.0018018 0.0043758 0 0 0 0.002574 0 0 0.739 0.741574 0 0 0.739 0.6718 0 0.002;
0 0.0045045 0.0070785 0.0045045 0 0 0.002574 0 0 0.741574 0.739 0 0 0.739 0.6025 0 0.002, 0
0.0027027 0.0052767 0.0027027 0 0 0.002574 0 0 0.741574 0.739 0 0 0.739 0.6025 0 0.002, 0
0.0010018 0.0043758 0.0018018 0 0 0.002574 0 0 0.741574 0.739 0 0 0.739 0.6025 0 0.002;
0 0.0045045 0.0045045 0.0070785 0 0 0 0.002574 0 0 0.739 0.741574 0 0 0.739 0.5333 0 0.002, 0
0.0027027 0.0052767 0.0052767 0 0 0 0.002574 0 0 0.739 0.741574 0 0 0.739 0.5333 0 0.002, 0
0.0018018 0.0018018 0.0043758 0 0 0 0.002574 0 0 0.739 0.741574 0 0 0.739 0.5333 0 0.002;
0 0.0045045 0.0070785 0.0045045 0 0 0.002574 0 0 0.741574 0.739 0 0 0.739 0.464 0 0.002, 0
0.0027027 0.0027027 0.0027027 0 0 0.002574 0 0 0.741574 0.739 0 0 0.739 0.464 0 0.002, 0
0.0018018 0.0043758 0.0018018 0 0 0.002474 0 0 0.741574 0.739 0 0 0.739 0.464 0 0.002];
aep= [0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.462 0.464 0 0.002;
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.462 0.464 0 0.002;
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.462 0.464 0 0.002;
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.462 0.464 0 0.002];
aec = [0 0.0018018 0.0028314 0.0018018 0.0228314 0.0218018 0.0010296 0 0.0210296 0.02
0.6780296 0.677 0.6980296 0.697 0.677 0.679 0.02 0.002;
0 0.0018018 0.0018018 0.0028314 0.0218018 0.0228314 0 0.0010296 0.02 0.0210296 0.677
0.6780296 0.697 0.6980296 0.677 0.6253 0.02 0.002;
0 0.0018018 0.0028314 0.0018018 0.0228314 0.0218018 0.0010296 0 0.0210296 0.02
0.6780296 0.677 0.6980296 0.697 0.677 0.5715 0.02 0.002;
0 0.0018018 0.0018018 0.0028314 0.0218018 0.0228314 0 0.0010296 0.02 0.0210296 0.677
0.6780296 0.697 0.6980296 0.677 0.5177 0.02 0.002;
0 0.0018018 0.0028314 0.0018018 0.0228314 0.0218018 0.0010296 0 0.0210296 0.02
0.6780296 0.677 0.6980296 0.697 0.677 0.464 0.02 0.002];
aeb= [0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.339 0.341 0 0.002;
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.339 0.341 0 0.002;
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.339 0.341 0 0.002;
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.339 0.341 0 0.002];
dflor1= [0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.0081261 0 0.0081261 ;
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.0162523 0 0.0162523 ;
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.0243785 0 0.0243785 ;
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.0325047 0 0.0325047 ];
dflor = [dflor1 dflor1 dflor1 dflor1 dflor1 dflor1 dflor1];
dflon1= [0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.001195 0 0.001195 ;
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.00239 0 0.00239 ;
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.003585 0 0.003585 ;
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.0047801 0 0.0047801];
dflon = [dflon1 dflon1 dflon1];
dflop= zeros(4,18);
dfloc= [0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.0047801 0 0.0047801 ;
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.0095602 0 0.0095602 ;
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.0143403 0 0.0143403 ;
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.0191204 0 0.0191204 ];
dflob= zeros(4,18);
dfaurl= [0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.0008365 0 0.0008365 ;
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.001673 0 0.001673 ;
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.0025095 0 0.0025095 ;
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.003346 0 0.003346 ];
dfaurl = [dfaurl dfaurl dfaurl dfaurl dfaurl dfaurl dfaurl];
dfaun1= [0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.000239 0 0.000239 ;
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.000478 0 0.000478 ;
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.000717 0 0.000717 ;
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.000956 0 0.000956 ];
dfaun = [ dfaun1 dfaun1 dfaun1];

```



```
%b = [0 29300 35000 6700 35000 30000, 170 170 170 170 170, 700 700 700 700 700, 200 200 200 200 200,  
2800 2800 2800 2800, 50 50 50 50 50, 7 14 21 28, 1 1 2 2, 96.73 39 10 105 85.8 62.89 170.69 13 26.33  
163.66 422.26 438.82 330.89 126.78];  
f = [f1,f2];  
[X,lambda,how]=lp(f,A,b,vlb,vub,x,n);  
Z = f*X;  
A1 = A(:,1:252);  
X1 = X(1:252,:);  
meta = A1*X1;
```

ANEXO 4: SOLUÇÕES DOS PROBLEMAS DE *GOAL PROGRAMMING*

<u>Conjunto de metas I</u>	meta atingida	meta teórica	X =	
	0.00	0	T1	0.00
	29300.00	29300.00		0.00
<u>Valor da função objetivo</u>	35000.00	35000.00	0.00	0.00
	6700.00	6700.00	0.00	0.00
	35000.00	35000.00	0.00	0.00
	30000.00	30000.00	0.00	0.00
Z =	170.00	170.00	0.00	
	170.00	170.00	0.00	T4
	170.00	170.00	0.00	
	170.00	170.00	0.00	
	170.00	170.00	0.00	M1=100.00
<u>Número de condição da matriz A</u>	170.00	170.00	0.00	0.00
	700.00	700.00	0.00	0.00
	700.00	700.00	0.00	0.00
	700.00	700.00	0.00	0.00
	700.00	700.00	0.00	0.00
C =	700.00	700.00	0.00	0.00
	200.00	200.00	0.00	0.00
322.32	200.00	200.00	0.00	0.00
	200.00	200.00	0.00	0.00
	200.00	200.00	M18= 96.73	0.00
	200.00	200.00		0.00
	2800.00	2800.00	T2	0.00
	2800.00	2800.00		0.00
	2800.00	2800.00	M1= 39.00	0.00
	2800.00	2800.00	0.00	0.00
	2800.00	2800.00	0.00	0.00
	39.66	50.00	0.00	M18=5.00
	43.14	50.00	0.00	
	27.20	50.00	0.00	T5
	43.14	50.00	0.00	
	40.32	50.00	0.00	M1= 85.71
	1.61	7.00	0.00	0.00
	3.23	14.00	0.00	0.00
	4.84	21.00	0.00	0.00
	6.46	28.00	0.00	0.00
	0.16	1.00	0.00	0.00
	0.33	1.00	0.00	0.00
	0.49	2.00	0.00	0.00
	0.66	2.00	0.00	0.00
	96.73	96.73	0.00	0.00
	39.00	39.00	0.00	0.00
	10.00	10.00		0.00
	105.00	105.00	T3	0.00
	85.80	85.80		0.00
	62.89	62.89	M1= 10.00	0.00
	170.69	170.69	0.00	0.00
	13.00	13.00	0.00	0.00
	26.33	26.33	0.00	M18= 0.09
	163.66	163.66	0.00	
	422.26	422.26	0.00	
	438.82	438.82	0.00	T6
	330.89	330.89	0.00	
	126.78	126.78	0.00	M1= 62.60
			0.00	0.00

0.00		0.00	0.00	0.00
0.00	T9	0.00	0.00	0.00
0.00		0.00	0.00	0.00
0.00		0.00	0.00	0.00
0.00		0.00	0.00	Pastagens
0.00		0.00	0.00	0.00
0.00		0.00	0.00	0.00
0.00		0.00	0.00	0.00
0.00		0.00	0.00	0.00
0.00	M7= 26.33	0.00	M18= 126.78	0.00
0.00		0.00		0.00
0.00		0.00	Desvios	0.00
0.00		0.00	d-, d+	0.00
0.00		0.00		0.00
0.00		0.00		0.00
M18=0.29		0.00	Pinus	0.00
		0.00		
		0.00		
T7		0.00		Emprego
		0.00		10.34
M1=140.00		0.00		0.00
0.00		0.00		6.86
0.00		0.00		0.00
0.00		0.00		22.80
0.00	T10	0.00		0.00
0.00		0.00		6.86
0.00		0.00		0.00
0.00		0.00		9.68
0.00		0.00	Araucária	0.00
0.00		0.00		
0.00		0.00		Diversidade da
0.00		0.00		flora
0.00	M7= 163.66	0.00		5.39
0.00		0.00		0.00
0.00		0.00		10.77
0.00		0.00		0.00
0.00		0.00		16.16
0.00		0.00	M7= 119.87	0.00
M18=30.69		0.00	M8= 61.67	0.00
		0.00		21.54
		0.00		0.00
T8		0.00	M10= 37.84	Erva-mate
		0.00		Diversidade da
M1=12.80		0.00		fauna
0.00		0.00		0.84
0.00		0.00		0.00
0.00	T11	0.00		0.67
0.00		0.00		0.00
0.00		0.00		1.51
0.00		0.00	M18=111.52	0.00
0.00	M3= 85.00			0.00
0.00		0.00		1.34
0.00		0.00	T14	0.00
0.00		0.00		
0.00		0.00	Turismo	how =
0.00		0	0.00	
0.00	M8= 310.20	0.00	0.00	
0.00		0.00		ok
0.00		0.00		»
0.00	M11= 27.06	0.00	0.00	
0.00		0.00	0.00	
M18= 0.20		0.00	0.00	

ANEXO 5: MANEJOS ESCOLHIDOS PARA O CONJUNTO DE METAS I

Conjunto de Metas I, peso 1 para todas as 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	-

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	-	-	-	438,82	111,52	126,78

Conjunto de Metas I, peso 1000 para metas de diversidade e peso 1 para as demais 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

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	-

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. 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, October 1982.
2. 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.
3. BRANS, J.P; MARESCHAL B. Multicriteria decision aid: the promethee - gaia solution SOBRAPO, v.19, n.1, p.1-23, Junho 1999.
4. BUONGIORNO, J.; GILLESS, J. K. Forest management and economics. New York Ed. Macmillan Publishing Co. , 1987, p.109-125.
5. CARNIERI, C, GAVINHO, L. MAESTRI, R. Um sistema de planejamento florestal. In: II. Encontro de Planejamento florestal. Anais. Curitiba, 1991.
6. CHARNES, A; COOPER, W. W. "Goal programming and Multiple Objective Optimization Part 1," European Journal of Operational Research, v.1, p.39 – 54, 1977.
7. CHARNES, A; COOPER, W. W. Management models and industrial applications of linear programming. New York: John Wiley & Sons, v.1. p.1 - 471, 1961.
8. CHARNES, A.; COOPER W.W.; R. O. FERGUSON. Optimal estimation of executive compensation by linear programming. Manage Science, v.1, p.138 – 151, 1955.
9. DANE, C.W.; N.C. MEADOR; J.B. WHITE. Goal programming in land-use planning. Journal of Forestry, v.75, n.1, p.325-329, June 1977.
10. FIELD, D. Goal programming for forest management. Forest Science, v.19, n.2, p.125-135, 1973.
11. FIELD, R.; DRESS, P.E.; FORTSON, J.C. Complementary linear and goal programming procedures for timber harvést scheduling. Forest Science, v.26, n.1, p.121 - 133, 1980.
12. GOICOECHEA, A; HANSEN, D. R; DUCKSTEIN, L. Multiobjective decision analysis with engineering and business applications, New York John Wiley & Sons, p.17 - 165, 1982
13. GRACE, A. Optimization Toolbox User's Guide MATLAB. Massachusetts The math works Inc. p.33 – 42, 1994.
14. HOTVED, J.A.; LEUSCHNER, W.A.; BUHYOFF, G. A heuristic weight determination procedure for goal programs used for harvest scheduling models. Can.J. For. Res, v.12, n.2, p.292 – 298, 1982.

15. IJIRI, Y. Management goals and accounting for control. In studies in mathematical and managerial economics. Ed. Henri T Heil, Amsterdam: North Holland, Publishing Co, p.1 - 191, 1965.
- 16 KANGAS, J.; KUUSIPALO, J. Integrating biodiversity into forest management planning and decision - making. Forest Ecology and Management, 61.ed. Amsterdam: Elsevier Science Publishers. B. V., p.1-15, 1993.
17. KAO, C.; BRODIE, J.D. Goal Programming for reconciling economic even-flow, and regulation objectives in forest harvest scheduling. Can. J. For. Res, v.9, n.4, p.525-531, 1979.
18. LEUSCHNER, W.; PORTER, J. R.; REYNOLDS, M. R.; BURKHART, H. E. A linear Programming model for multiple-use planning. Can. J. For. Res. v.5, n.1, p.485 - 491, 1975.
19. MARQUES, J. R. Criação de Búfalos, Brasília: Embrapa – SPI,. Belém: Embrapa - SPATU, p. 31-51, 1998. (Coleção CRIAR; 5).
20. MENDOZA, G.; BARE,B. B.; CAMPBELL, G. E. Multiobjetive programming for generating alternatives: a multiple-use planning example. Forest Science, v.33, n.2 p.458-491, June 1987.
21. PRESTON, F. W. Time and space and the variation of species. Ecology, v.41, p. 611-627, 1960.
22. PUCCINI, A L. Programação Linear. 2. ed. Rio de Janeiro : Copyright, 1990. p.50-51
23. 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.
24. 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.
25. SAUNDERS, J. F. Bioregenerative Systems. NASA. SP165. Washington, D.C.: Superintendent of Documents, U.S. Govt. Printing Office, 153 p, 1968.
26. SCHNIEDERJANS, M.J. Goal programming methodology and applications. Rio de Janeiro : Copyright, p.26, 1994.
27. SCHULER, A. T.; WEBSTER H. H. ; MEADOWS J. C. Goal programming in forest management. Journal of Forestry, v.75, n.1, June p. 320 – 324, 1977.
28. 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.