

RUI BRANCO

**A UTILIZAÇÃO DA PROGRAMAÇÃO LINEAR NA
SIMULAÇÃO DE REGIMES DE MANEJO EM
FUNÇÃO DA PRODUTIVIDADE E LOCALIZAÇÃO
DOS POVOAMENTOS FLORESTAIS.**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, área de concentração Manejo Florestal, do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do Título de "Mestre em Ciências Florestais".

Orientador: Prof. Dartagnan Baggio Emerenciano

CURITIBA

1997



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E DO DESPORTO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

P A R E C E R

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, reuniram-se para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado, apresentada pelo candidato RUI BRANCO, sob o título "A UTILIZAÇÃO DA PROGRAMAÇÃO LINEAR NA SIMULAÇÃO DE REGIMES DE MANEJO EM FUNÇÃO DA PRODUTIVIDADE E LOCALIZAÇÃO DOS POVOAMENTOS FLORESTAIS", para obtenção do grau de Mestre em Ciências Florestais, no Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, Área de Concentração MANEJO FLORESTAL.

Após haver analisado o referido trabalho e argüido o candidato são de parecer pela "APROVAÇÃO" da Dissertação, com média final:(8,5), correspondente ao conceito:(A).

Curitiba, 16 de maio de 1997.

Profa. Dra. Maria Teresinha Arns Steiner
Primeira Examinadora
Departamento de Matemática- UFPR

Prof. Dr. Celso Carnieri
Segundo Examinador
Departamento de Matemática -UFPR

Prof. Dr. Dartagnan Baggio Emerenciano
Orientador e Presidente da Banca
UEPR/ SCA/DSM

À memória do meu pai Arlindo Branco
e do sogro Attilo Klein

À minha mãe Tocilda Winkel Branco
e à sogra Ivonne Eggers Klein

À avó Ida Winkel

À esposa Setêmia
e ao filho Hubert

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À UnC - Universidade do Contestado, Campus Canoinhas, por permitir a realização do curso.

Aos colegas da empresa RIGESA, Celulose, Papel e Embalagens Ltda., pelo auxílio, desde a montagem do projeto de dissertação.

À UFPR - Universidade Federal do Paraná em aceitar a proposta de realização do curso.

Aos colegas de mestrado e doutorado, em especial aos colegas Laerte Bonetes e Luiz Cláudio Fossati, pelo apoio e auxílio encontrado nos momentos que o exigiam.

Ao Professor Dartagnan Baggio Emerenciano, orientador, amigo e conselheiro, o meu reconhecimento e apreço.

Aos coorientadores, Professor Celso Carnieri e Professor Décio José de Figueiredo, pelo comprometimento com a causa, pelo tempo despendido e pela paciência que tiveram, principalmente nos momentos iniciais do trabalho.

A ACAFE - Associação Catarinense das Fundações Educacionais, pelos encaminhamentos dados e que permitiram a obtenção de bolsa CAPES bem como a esta, a minha gratidão.

A EMBRAPA - Colombo (PR), em especial ao Eng^o Agr^o Edilson Batista de Oliveira que gentilmente cedeu o Sistema SISPINUS e assim permitiu a realização das simulações.

Ao Professor Ederson Luiz Matos Mota e ao Professor Irineu Anacleto Tokarski, pelas correções realizadas no texto.

De certo, em todos os lugares por onde se circulou em momentos de preparação deste trabalho de conclusão, de alguma forma favores nos foram feitos que nos permitiram continuar no intento. À todos o meu agradecimento.

Por fim, à família que soube respeitar, reconhecer a importância da formação e entender a necessidade de sacrificar alguns momentos de lazer em troca da satisfação de um ideal.

BIOGRAFIA DO AUTOR

RUI BRANCO, filho de Arlindo Branco e Tocilda Winkel Branco, nasceu no dia 15 de abril de 1952, em Teutônia, RS.

Realizou o curso primário na Escola D. Pedro II (Teutônia, RS) e o segundo grau, Técnico em Agropecuária, no Colégio Agrícola Teutônia (Teutônia, RS), o curso superior na Universidade Federal de Pelotas (Pelotas, RS), onde graduou-se Engenheiro Agrônomo em dezembro de 1979.

Entre 1972 e 1976, como técnico agrícola, desempenhou as atividades ligadas à Associação para o Desenvolvimento Rural Estrela - ADERE (Estrela, RS).

Como acadêmico foi monitor da Disciplina Estatística tendo participação ativa no desenvolvimento das atividades relacionadas aos cursos com os quais estava envolvido.

Em 1980 ingressou na empresa MANAH S.A. deixando a empresa em 1982 depois de ser promovido ao cargo de gerente de filial em Canoinhas, SC.

Em 1983 em diante voltou a dedicar-se ao magistério, sempre à disciplina Estatística na Fundação das Escolas do Planalto Norte Catarinense, instituição de ensino que integra hoje a Universidade do Contestado e mantém, no Campus Canoinhas, o Curso Engenharia Florestal, do qual é Professor da Disciplina Estatística e Experimentação Florestal.

Desde a volta ao Magistério lecionou também a disciplina Estatística no Colégio Comercial de Canoinhas - Canoinhas, SC e a disciplina Irrigação e Drenagem no Colégio Agrícola Vidal Ramos (Canoinhas, SC).

Realizou cursos de especialização no Ensino da Matemática e de Aplicações da Informática na Matemática pela Faculdade de Ciências e Letras de Guarapuava (Guarapuava, PR) e Licenciatura das matérias do Curso Técnico Agrícola pela Universidade para o Desenvolvimento de Santa Catarina - UDESC (Lages, SC), conhecendo nestas duas instituições procedimentos pedagógicos diversos e que vieram a contribuir na sua formação profissional.

Em 1993 ingressou no Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, nível de Mestrado, na área de concentração Manejo Florestal.

Atualmente é Coordenador do Curso de Engenharia Florestal da Universidade do Contestado, Campus Canoinhas, membro do Conselho Diretor e do Conselho de Ensino, Pesquisa e Extensão.

SUMÁRIO

	LISTA DE FIGURAS	xi
	LISTA DE TABELAS	xii
	RESUMO	xv
	ABSTRACT	xvi
1.	INTRODUÇÃO.....	01
1. 1.	Objetivos.....	02
2.	REVISÃO DE LITERATURA.....	04
2. 1.	Sítios Florestais.....	04
2. 1. 1.	Altura dominante.....	06
2. 2.	Desbastes.....	07
2. 3.	Objetivos dos Desbastes	12
2. 4.	Caracterização dos desbastes.....	13
2. 5.	Rotação.....	14
2. 6.	Regime de manejo.....	15
2. 7.	Resultados dos desbastes.....	15
2. 8.	Escolha do regime de desbaste.....	20
2. 9.	Comparação de regimes de desbaste.....	22
2. 10.	Divisão da área segundo os regimes de manejo	23
2. 11.	Escolha dos talhões a cortar.....	24
2. 12.	Aspectos econômicos do manejo.....	25
2. 12. 1.	Cálculo do valor do povoamento.....	25
2. 12. 2.	Análise econômica dos desbastes.....	25

2. 12. 3.	Valor Presente.....	29
2. 12. 4.	Valor Uniforme Líquido.....	31
2. 12. 5.	Escolha da taxa de interesse ou taxa de atratividade.....	32
2. 12. 6.	Distância máxima de transporte economicamente viável.....	32
2. 13.	Sistemas Computacionais.....	34
2. 14.	O Modelo de Programação Linear.....	35
2. 14. 1.	O Método Simplex.....	37
2. 14. 1. 1.	Simplex Original.....	37
2. 14. 1. 2.	Simplex Revisado.....	40
2. 15.	Simulação.....	42
3.	MATERIAL E MÉTODOS.....	44
3. 1.	Obtenção dos dados.....	44
3. 1. 1.	Sítio.....	45
3. 1. 2.	Regimes de Manejo.....	46
3. 1. 3.	Descrição dos Regimes utilizados.....	48
3. 1. 4.	Os talhões e os regimes de manejo.....	50
3. 1. 5.	Funções de Forma e de Crescimento.....	50
3. 1. 6.	Dimensões das toras e preços da madeira.....	52
3. 1. 7.	Distâncias.....	53
3. 1. 8.	Taxa de Interesse.....	54
3. 1. 9.	Custos associados aos regimes de manejo.....	54
3. 2.	Métodos.....	56
3. 2. 1.	Montagem da Matriz Final	60
3. 2. 2.	Operacionalização do algoritmo.....	63

4.	RESULTADOS OBTIDOS.....	65
4. 1.	Resultados Preliminares	65
4. 1. 1.	Volumes dos Sortimentos obtidos, para montagem da matriz	65
4. 1. 2.	Valor Presente Líquido dos Sortimentos	65
4. 1. 3.	Valor Presente Líquido e Valor Uniforme Líquido de acordo com os regimes de manejo e a localização dos talhões	66
4. 2.	Primeiro Plano de Simulação.....	66
4. 3.	Segundo Plano de Simulação.....	71
4. 4.	Terceiro Plano de Simulação	76
5.	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	81
5. 1.	Do valor presente líquido dos regimes.....	81
5. 2.	Do valor uniforme líquido dos regimes.....	82
5. 3.	Da distância que anula o Valor Presente Líquido.....	83
5. 4.	Da relação dos regimes e distâncias com o Valor Presente Líquido dos regimes.....	84
5. 5.	Dos talhões apontados para corte.....	85
5. 6.	Das prioridades de escolha dos talhões para o corte	87
5. 7.	Dos sortimentos resultantes do corte dos talhões apontados na simulação.....	89
5. 8.	Da evolução da Receita (Função Objetivo).....	90
6.	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	93
	ANEXOS	96
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	115

LISTA DE FIGURAS

1. FUNÇÃO DE PRODUÇÃO COM UM DESBASTE SIMPLES	11
2. FLUXOGRAMA DO ALGORITMO SIMPLEX ORIGINAL	39
3. FLUXOGRAMA DO ALGORITMO SIMPLEX REVISADO	41
4. FLUXOGRAMA DO PROCESSAMENTO DOS DADOS	60
5. VALOR PRESENTE LÍQUIDO DO REGIME 1, NO SÍTIO 1 À TAXA DE 8%, EM FUNÇÃO DA LOCALIZAÇÃO DO POVOAMENTO	83
6. VALOR PRESENTE LÍQUIDO DOS REGIMES SEGUNDO A DISTÂNCIA DOS TALHÕES, À TAXA DE 8% E EM SÍTIO DE CLASSE 1	85
7. VALOR PRESENTE LÍQUIDO (US\$/ha) OBTIDO À TAXA DE 8%, RESULTANTE DA UTILIZAÇÃO DO REGIME 1 NOS SÍTIOS 1, 2 E 3	88
8. VOLUME DOS SORTIMENTOS OBTIDOS DOS TALHÕES INDICADOS, SEGUNDO AS DISTÂNCIAS ADMITIDAS E MAXIMIZAÇÃO DO VALOR PRESENTE LÍQUIDO, COM RESTRIÇÃO DE VOLUME MÁXIMO	89
9. VOLUME TOTAL OBTIDO DOS TALHÕES, SEGUNDO A CLASSE DE SÍTIO E A DISTÂNCIA PERCORRIDA PERMITIDA	90
10. COMPARATIVO DA EVOLUÇÃO DA RECEITA (FUNÇÃO OBJETIVO) DE LIMITES MÁXIMOS DE DEMANDA DEFINIDA E NÃO DEFINIDA EM FUNÇÃO DA DISTÂNCIA MÁXIMA PERMITIDA	91
11. COMPARATIVO DA EVOLUÇÃO DO VALOR DA FUNÇÃO OBJETIVO E DA ÁREA TOTAL DOS TALHÕES INDICADOS PARA O CORTE	92

LISTA DE TABELAS

1.	REGIMES DE MANEJO SEGUNDO A IDADE DO POVOAMENTO NA REALIZAÇÃO DO DESBASTE E CORTE FINAL	47
2.	PESO DOS DESBASTES E NÚMERO DE ÁRVORES REMANESCENTES EM FUNÇÃO DO NÚMERO DE DESBASTES REALIZADOS NO TALHÃO	48
3.	NÚMERO ATRIBUÍDO AO TALHÃO DE ACORDO COM A QUALIDADE DE SÍTIO, DISTÂNCIA E REGIME UTILIZADO NA SIMULAÇÃO	51
4.	SORTIMENTOS RESULTANTES SEGUNDO AS DIMENSÕES DA TORA	52
5.	PREÇOS MÉDIOS DA MADEIRA SEGUNDO OS DIFERENTES FINS	53
6.	RELAÇÃO DOS CUSTOS UNITÁRIOS POR CENTRO DE CUSTOS	55
7.	MATRIZ DE PROCESSAMENTO COMPLETA, UTILIZADA NA SIMULAÇÃO	67
8.	RESULTADOS OBTIDOS NO PRIMEIRO PLANO DE SIMULAÇÃO	68
9.	RESULTADOS OBTIDOS NO SEGUNDO PLANO DE SIMULAÇÃO	71
10.	RESULTADOS OBTIDOS NO TERCEIRO PLANO DE SIMULAÇÃO	77
11.	DISTÂNCIAS DOS POVOAMENTOS QUE ANULAM O VALOR PRESENTE LÍQUIDO DOS REGIMES CONSIDERADOS, À TAXA DE 8%	84
12.	VALOR PRESENTE LÍQUIDO (US\$/ha) A TAXA DE 8%, OBTIDO DO REGIME 1, SEGUNDO A DISTÂNCIA E O SÍTIO.	87
13.	VOLUMES DOS SORTIMENTOS OBTIDOS (m ³) NA SIMULAÇÃO DE REGIMES ATRAVÉS DO SISTEMA SISPINUS, EM SÍTIO DE CLASSE 1 (25m), SEGUNDO A IDADE E POR CLASSE DE PRODUTO	97
14.	VOLUMES DOS SORTIMENTOS OBTIDOS (m ³) NA SIMULAÇÃO DE REGIMES ATRAVÉS DO SISTEMA SISPINUS, EM SÍTIO DE CLASSE 2 (21m), SEGUNDO A IDADE E POR CLASSE DE PRODUTO	98
15.	VOLUMES DOS SORTIMENTOS OBTIDOS (m ³) NA SIMULAÇÃO DE REGIMES ATRAVÉS DO SISTEMA SISPINUS, EM SÍTIO DE CLASSE 3 (17m), SEGUNDO A IDADE E POR CLASSE DE PRODUTO	99

16. VALOR PRESENTE LÍQUIDO (VPL, US\$/ha) DOS PRODUTOS DE ACORDO COM O REGIME DE DESBASTE E A LOCALIZAÇÃO DOS TALHÕES (DISTÂNCIA EM km), À TAXA DE 8% EM SÍTIO 1.	100
17. VALOR PRESENTE LÍQUIDO (VPL, US\$/ha) DOS PRODUTOS DE ACORDO COM O REGIME DE DESBASTE E A LOCALIZAÇÃO DOS TALHÕES (DISTÂNCIA EM km), À TAXA DE 8% EM SÍTIO 2.	102
18. VALOR PRESENTE LÍQUIDO (VPL, US\$/ha) DOS PRODUTOS DE ACORDO COM O REGIME DE DESBASTE E A LOCALIZAÇÃO DOS TALHÕES (DISTÂNCIA EM km), À TAXA DE 8% EM SÍTIO 3.	104
19. VALOR PRESENTE LÍQUIDO (VPL, US\$/ha) E VALOR UNIFORME LÍQUIDO (VUL, US\$/ha) DE ACORDO COM O REGIME DE DESBASTE E A LOCALIZAÇÃO DOS TALHÕES (DISTÂNCIA EM km), À TAXA DE 5%, EM SÍTIO 1	106
20. VALOR PRESENTE LÍQUIDO (VPL, US\$/ha) E VALOR UNIFORME LÍQUIDO (VUL, US\$/ha) DE ACORDO COM O REGIME DE DESBASTE E A LOCALIZAÇÃO DOS TALHÕES (DISTÂNCIA EM km), À TAXA DE 5%, EM SÍTIO 2.	107
21. VALOR PRESENTE LÍQUIDO (VPL, US\$/ha) E VALOR UNIFORME LÍQUIDO (VUL, US\$/ha) DE ACORDO COM O REGIME DE DESBASTE E A LOCALIZAÇÃO DOS TALHÕES (DISTÂNCIA EM km), À TAXA DE 5%, EM SÍTIO 3.	108
22. VALOR PRESENTE LÍQUIDO (VPL, US\$/ha) E VALOR UNIFORME LÍQUIDO (VUL, US\$/ha) DE ACORDO COM O REGIME DE DESBASTE E A LOCALIZAÇÃO DOS TALHÕES (DISTÂNCIA EM km), À TAXA DE 8%, EM SÍTIO 1	109
23. VALOR PRESENTE LÍQUIDO (VPL, US\$/ha) E VALOR UNIFORME LÍQUIDO (VUL, US\$/ha) DE ACORDO COM O REGIME DE DESBASTE E A LOCALIZAÇÃO DOS TALHÕES (DISTÂNCIA EM km), À TAXA DE 8%, EM SÍTIO 2.	110
24. VALOR PRESENTE LÍQUIDO (VPL, US\$/ha) E VALOR UNIFORME LÍQUIDO (VUL, US\$/ha) DE ACORDO COM O REGIME DE DESBASTE E A LOCALIZAÇÃO DOS TALHÕES (DISTÂNCIA EM km), À TAXA DE 8%, EM SÍTIO 3.	111
25. VALOR PRESENTE LÍQUIDO (VPL, US\$/ha) E VALOR UNIFORME LÍQUIDO (VUL, US\$/ha) DE ACORDO COM O REGIME DE DESBASTE E A LOCALIZAÇÃO DOS TALHÕES (DISTÂNCIA EM km), À TAXA DE 12%, EM SÍTIO 1	112

26. VALOR PRESENTE LÍQUIDO (VPL, US\$/ha) E VALOR UNIFORME LÍQUIDO (VUL, US\$/ha) DE ACORDO COM O REGIME DE DESBASTE E A LOCALIZAÇÃO DOS TALHÕES (DISTÂNCIA EM km), À TAXA DE 12%, EM SÍTIO 2.	113
27. VALOR PRESENTE LÍQUIDO (VPL, US\$/ha) E VALOR UNIFORME LÍQUIDO (VUL, US\$/ha) DE ACORDO COM O REGIME DE DESBASTE E A LOCALIZAÇÃO DOS TALHÕES (DISTÂNCIA EM km), À TAXA DE 12%, EM SÍTIO 3.	114

RESUMO

O trabalho teve como objetivo verificar a aplicabilidade da Programação Linear no manejo de diferentes regimes utilizados em diferentes sítios florestais, e em povoamentos situados a diferentes distâncias da indústria. Foi proposto também definir os procedimentos aplicáveis ao manejo de povoamentos através da Programação Linear quando dispostos como descrito acima e, indicar uma metodologia que permita determinar as distâncias economicamente viáveis em função dos regimes utilizados e do sítio considerado. O trabalho experimenta, através de simulação, a utilização de 10 regimes de manejo de diferentes rotações e com até 4 desbastes além do corte raso final, aplicados a *Pinus taeda*, em três qualidades de sítio (bom, médio e pobre) e em talhões localizados em 5 diferentes distâncias em relação à indústria. Os regimes foram simulados no Sistema SISPINUS, obtendo-se os volumes dos sortimentos (madeira para laminado, serraria, celulose e resíduos). Foram determinados o Valor Presente Líquido e o Valor Uniforme Líquido dos regimes à taxa de 5%, 8% e 12%. Os volumes dos sortimentos foram utilizados para determinar o Valor Presente Líquido de cada intervenção, à taxa de interesse de 8%. Experimentou-se a simulação de intervenções impondo uma certa demanda de madeira e uma distância máxima a percorrer a fim de verificar a ordem de prioridade na escolha dos talhões e em função desta escolha refazer as restrições, utilizando a Programação Linear para definir os talhões a cortar e a respectiva área. O Valor Presente Líquido e o Valor Uniforme Líquido dos regimes foi comparado para verificar o efeito das taxas. As áreas obtidas da simulação pelo método Simplex e o Valor da Função Objetivo foram analisados a fim de orientar as simulações seguintes. Observou-se que a Programação Linear responde perfeitamente às restrições impostas servindo de forma eficiente no manejo da floresta, quando ocorreu o uso adequado de restrições compatíveis. A simulação mostrou que o uso destas restrições (de demanda, de distância a percorrer no transporte, de área total a cortar, de demanda por sítio) é fundamental para o êxito do uso da Programação Linear na atividade florestal. Dos indicadores usados, o Valor Uniforme Líquido foi o mais eficiente na escolha do melhor regime dentre os testados pois enquanto o Valor Uniforme Líquido fornece a renda anual, o Valor Presente Líquido varia com a rotação. Observou-se que a taxa de interesse escolhida interfere no regime a ser apontado como o melhor. Uma vez escolhida a taxa de interesse de 8%, verificou-se que a distância do povoamento em relação à indústria e o sítio influem no resultado do Valor Presente Líquido e do Valor Uniforme Líquido enquanto que o regime de manejo não varia significativamente dentro de um mesmo sítio. Para o uso da Programação Linear, além do conhecimento da floresta e formulação correta das restrições, de acordo com as necessidades e objetivos da empresa, sugere-se a escolha da taxa de interesse adequada de forma a não influenciar as decisões no que diz respeito ao uso da floresta.

ABSTRACT

This work had the purpose of verify the aplicability of Linear Programming on management of different regimes used in different forest sites, and in stands situated at different distances of industry. It was also proposed to define the applied procedures to the management of stands through the Linear Programming when they are disposed as described above and, to indicate the methodology that allows to determine the distances economically feasible in function of used regimes and given site. The work tests, through simulation, the application of 10 regimes of management of different rotations and with 4 harvestings beyond the final clearcutting, used to *Pinus taeda*, in three qualities of site (good, medium and poor) and in stands located in 5 different distances relating to industry. The regimes were simulated in SISPINUS system, getting the volumes of supplies (wood for veneer, sawlogs, pulpwood and waste). The Net Present Value and the Net Uniform Value of regimes were determined to the rate of 5%, 8% and 12%. The volumes of supplies were used to determine the Net Present Value of each intervention, to the rate of interest of 8%. The simulation of interventions was tried, imposing a certain demand of timber and maximum distance to be running in order to check the order of priority in the choice of stands and in function of this choice, to redo the constraints, using the Linear Programming to define the stands to be cut and the respective area. The Net Present Value and the Net Uniform Value of the regimes were compared in order to check the effect of the rates. The obtained areas of the simulation by Simplex Method and the Value of Objective Function were analysed in order to orientate the following simulations. It was seen that the Linear Programming perfectly answers to the imposed constraints, serving as efficient form to the fores management, when the adequate application of feasible constraints happened. The simulation showed that the application of these constraints (of demand, of distance to be running in the transport, of total area to be harvested, of demand of site) is principal to the success of the application of Linear Programming in forest activity. From the used indicators, the Net Uniform Value was the most efficient in the choice of the better regime among the tested ones, since while the Net Uniform Value supplies the annual amount, the Net Present Value varies with the rotation. It was seen that the chosen interest rate interferences in the regime to be indicated as the best. After chosen the interest rate of 8%, it was checked that the distance of the stand in relation to the industry and the site influence on the result of Net Present Value and of Net Uniform Value, while the regime of management doesn't vary meaningfully within a same site. For the use of Linear Programming, besides Forestry knowledge and correct formulation of constraint, in accord with the need and purposes of the company, it is suggested the choice of adequate interest rate so that it doesn't influence the decisions relating to the use of the forest.

1. INTRODUÇÃO

Apenas recentemente engenheiros florestais tem despertado para aplicação de modernas técnicas na tomada de decisões como auxílio na solução de problemas de manejo de florestas. Além disso, uma revisão de literatura indica que a maioria dos trabalhos recentes são dirigidos a unidades ou povoamentos com tratamento individual e não junto à floresta no seu todo.

Aliado ao normal estreitamento dos lucros obtidos atualmente nas diversas atividades da economia, pelo aumento crescente do custo dos insumos, a empresa florestal regional se depara com o aumento dos custos de transporte causado pelo aumento da distância da área de floresta à indústria.

Em épocas passadas as áreas de exploração da madeira se localizavam em áreas próximas à indústria, muitas das quais de florestas nativas que, pela fertilidade natural encontrada, deram lugar a culturas anuais depois do aproveitamento da madeira. Hoje as áreas de exploração da madeira, matéria prima base para as fábricas de papel e celulose, localizam-se distantes das mesmas, encarecendo sobremaneira o produto a ser entregue na indústria. Dados obtidos junto aos técnicos da região ligados às empresas do ramo informam que este custo chega a 50% do valor final, posto indústria.

Baseado nisso, há que se tomar medidas urgentes para minimizar estes custos, tanto na escolha de novas áreas mais próximas à indústria como utilizar racionalmente as já existentes, procurando minimizar as distâncias percorridas mesmo que isto, por vezes, resulte em sacrifício de alguma área a ser apontada para colheita e que não esteja ainda em seu ponto ótimo econômico.

O ideal, neste caso, é que alguns valores máximos e mínimos fossem determinados com a finalidade de limitar as variáveis, como por exemplo gasto máximo admissível em combustíveis, área mínima (para compensar deslocamentos) e área máxima admitida de corte (que não cause desequilíbrios), idade mínima de corte admitida, volume total e por produto necessários.

Segundo CLUTTER et al. (1983), o veículo para implementação do planejamento da gestão a nível florestal é um documento conhecido como programa de colheita ou plano de corte. Este documento lista os povoamentos a serem colhidos durante cada ano num período de planejamento que se estende por alguns anos para o futuro. Dados como os tipos e intensidades de colheita previstos para cada povoamento são incluídos neste com uma tabela cronológica para regeneração de áreas não produtivas e povoamentos programados para subsequente corte raso. Dados das operações características da floresta (por exemplo, volumes de corte anual, fluxo de caixa anual, distribuição de classes de idade em determinado ano) e a estrutura da floresta que deverá existir ao final do período de planejamento são saídas diretas das atividades especificadas no programa de corte. A extensão com que algumas florestas satisfazem os objetivos do proprietário ou proprietários é portanto largamente dependente do programa de colheita usado para gerir a floresta.

1.1. OBJETIVOS

Considerando que os estoques de madeira encontram-se cada vez mais limitados com previsões de anularem-se num prazo relativamente curto, além de ser providenciada a imediata reposição das florestas sob pena de comprometer a

continuidade da produção das indústrias transformadoras, faz-se necessário planejar o aproveitamento dos estoques existentes e manejar adequadamente as áreas como forma de resultar no máximo rendimento possível, consideradas as condições potenciais locais.

Entre as ferramentas atualmente utilizadas para equacionar e solucionar o complexo universo de informações que se apresentam numa área de florestas cultivadas, uma das mais promissoras é a programação linear. A Programação Linear tem se mostrado excelente recurso no manejo e planejamento das áreas de florestas.

No presente trabalho, ao submeter à Programação Linear a floresta composta de diferentes talhões, com três classes de sítio e localizados a diferentes distâncias da indústria, verificando a aplicabilidade desta técnica, teve-se especificamente os seguintes objetivos:

- definir metodologia na formulação de modelos a serem propostos nos procedimentos que envolvem Programação Linear visando a regularização das distâncias mensais percorridas e áreas cortadas;
- indicar uma metodologia que permita avaliar regimes de manejo viáveis em função da sua localização e da produtividade dos sítios florestais; e
- definir metodologia que permita obter as distâncias máximas economicamente viáveis para os povoamentos florestais em função do regime de manejo aplicado e da produtividade das florestas.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. SÍTIOS FLORESTAIS

Segundo CLUTTER et al. (1983), qualidade de sítio pode ser definida como o potencial de produção de madeira de um sítio para uma espécie particular ou tipo florestal. As palavras “bom” e “pobre” são freqüentemente usadas indicando respectivamente um alto e baixo potencial produtivo.

Os autores citam FORD-ROBERTSON¹ (1971) que define sítio como uma área considerada em termos de seu meio, particularmente como este determina o tipo e qualidade da vegetação que a área pode alcançar. Segundo o mesmo autor, primeiro o termo sítio recebe uma conotação de locação geográfica. O segundo significado da palavra envolve a totalidade de condições ambientais (biótico, edáfico e climático) existente num local particular.

COILE (1952), define “sítio” como uma área de terras apresentando combinações características de fatores do solo, da topografia, do clima e biológicos. Refere-se a capacidade produtiva desta área como qualidade de sítio e a expressa por um índice de sítio através de uma relação da altura em função da idade. De acordo com o autor, a altura das árvores dominantes é a melhor medida direta da produtividade de um solo.

¹ FORD-ROBERTSON, F.C.(Ed.). **Terminology of forest science, technology, practice, and products.** Washington : Soc. Amer. Foresters, 1971.

BARNES e RALSTON (1955)², citados por MENEGOL (1991), mencionaram que na floresta a capacidade de um sítio para produzir madeira é expressa em termos da média das alturas das árvores dominantes produzidas na área em um dado período de tempo.

De acordo com BRUM (1979), a qualidade do sítio tem sido analisada através de fatores do ambiente que tenham uma estreita relação com o crescimento, ou então medindo-se diretamente este crescimento como resultado das condições ambientais.

Os autores ressaltam a importância de tomar a altura como índice orientativo, considerando que seu incremento não é, dentro de certos limites, influenciado pela densidade do povoamento. Assim, afirmam que a razão de se usar a altura dominante como indicador da produtividade do sítio, é por ser pouco influenciada pelo fator densidade e pelos desbastes e por possuir alta correlação com a produção total do povoamento.

BURGER (1980) observa que o conhecimento da qualidade de sítio é de extrema importância para o manejo florestal, pois da mesma depende: a) a quantidade e a qualidade da produção; b) as possibilidades de manejo.

Um modelo matemático muito utilizado para descrever a altura das dominantes nas diferentes idades e para classificar os sítios florestais é o de PRODAN, utilizado por MENEGOL (1991) para *Pinus elliottii* var. *elliottii* por apresentar uma superioridade na análise visual de resíduos, R^2 (coeficiente de determinação) e Sxy (erro padrão da estimativa), sendo o mesmo igualmente usado

² BARNES, R.L. e RALSTON, C.W. Soil factors related to growth and yield of slash pine plantation. **Florida Agric. Exp. Stations**, 559, 1955. 23p.

com estimativas satisfatórias por muitos pesquisadores, entre eles MACHADO (1978), SCHNEIDER & SILVA (1980), sendo expresso por:

$$h_{dom} = t^2 / (b_0 + b_1 t + b_2 \cdot t^2)$$

onde: h_{dom} = altura média das 100 árvores mais grossas por hectare;

t = idade em anos;

b_0, b_1, b_2 são os coeficientes da equação.

MENEGOL (1991) observa que a classificação de sítio deve ser efetuada a partir de 6 anos de vida do povoamento, pois o mesmo já se encontra estabelecido e não foram encontradas diferenças significativas nas idades inferiores.

2.1.1. ALTURA DOMINANTE

A altura dominante é utilizada para indicar a capacidade de sítio e é definida como sendo a média das alturas das 100 árvores mais grossas e bem formadas, por hectare [SCHNEIDER e SILVA (1980)].

De acordo com CAMPOS e TURNBULL (1980), a relação entre idade e altura das árvores dominantes ou codominantes é um dos indicadores mais utilizados da capacidade produtiva de um povoamento florestal.

Segundo CHAPMAN e MEYER (1949), para facilitar o uso de tabelas de produção, os povoamentos florestais são distribuídos em classes de sítio. Estas tabelas devem ser específicas para cada local.

2.2. DESBASTES

Os desbastes são cortes parciais feitos em povoamentos imaturos, com o objetivo de estimular o crescimento das árvores remanescentes e aumentar a produção de madeira utilizável. Isto significa que, ao remover as árvores excedentes, o potencial produtivo do povoamento concentra-se em um número limitado de indivíduos selecionados [SIMÕES et al. (1981)].

HOSOKAWA (1980) descrevendo o crescimento de uma árvore afirma que é o resultado da interação dos incrementos em altura, diâmetro e forma em função do tempo, e assume a natureza sigmóide. Esta curva possui quatro pontos bem definidos:

- a origem que coincide com a idade zero;
- um ponto de inflexão, onde culmina o incremento corrente anual;
- um ponto de tangência com a reta que passa pela origem, onde culmina o incremento médio anual; e
- uma assíntota, onde os incrementos (correntes e médios) diminuem progressivamente.

Segundo o mesmo autor, de forma análoga, o crescimento de um povoamento apresenta as mesmas peculiaridades, dado o fato de o mesmo ser constituído de "n" árvores por unidade de área.

BURGER (1980) destaca a importância do conhecimento profundo da teoria e da prática dos desbastes de modo que o Engenheiro Florestal, trabalhando no campo ou na pesquisa, possa influenciar na produção de um povoamento.

Segundo LAMPRECHT (1990) os desbastes não visam em primeira linha uma seleção orientada para os indivíduos qualitativamente melhores, mas

sobretudo uma regulação mais ou menos geométrica do espaçamento entre as árvores individuais, de maneira a evitar concorrências recíprocas indesejadas. Outros autores, como SCHNEIDER (1993), consideram que a finalidade do desbaste é concentrar a produção, em termos de incremento, nas árvores que constituirão o corte final ou as que serão aproveitadas nos desbastes comerciais.

Segundo HAROU (1985), desbaste é sinônimo de floresta manejada. Os desbastes visam atingir a capacidade produtiva dos sítios e assegurar nenhum espaço aberto na cobertura da floresta e a total exploração do potencial nutricional do solo. Em condições de totalmente estocado, árvores estagnam ou seu crescimento é reduzido pela competição e eventualmente morrem. Neste caso parte do volume comercial do seu crescimento acumulado é perdido.

Ao realizarem medições em povoamentos de *Pinus taeda*, MANN & DELL (1971) verificaram que a qualidade de sítio e o espaçamento inicial tem um efeito importante sobre ambos, volume e crescimento em diâmetro. FEDUCCIA & MANN (1976) em seus trabalhos com a mesma espécie desbastaram povoamentos para uma ampla série de níveis de estoque residual em todos os espaçamentos e, estes foram remeidos em 5 anos para determinar o efeito dos primeiros desbastes no crescimento. Observaram que, depois do desbaste, o crescimento em diâmetro é inversamente relacionado com o número de árvores remanescentes comercializáveis por área.

SMITH & HAFLEY (1984) simularam o crescimento de povoamentos desbastados usando a Tendência da Curva Correlata, método desenvolvido para *Pinus taeda*, *Pinus elliottii* e outras espécies do gênero *Pinus*. O método é baseado na hipótese que a resposta para desbaste pode ser encontrada comparando o

crescimento de povoamentos desbastados com o crescimento de povoamentos não desbastados, da mesma densidade. A medida mais direta desta correlação é determinada pela relação:

$$Cr = \frac{I(t)}{I(n)}$$

onde: Cr = Coeficiente de resposta

$I(t)$ = Incremento de um povoamento desbastado para uma densidade específica

$I(n)$ = Incremento de um povoamento estabelecido àquela densidade

Quando o incremento é expresso como mudança de DAP^2 , isto é, área basal por árvore, o coeficiente de resposta, Cr, pode ser aceito como sendo unitário. Então, segue-se que a resposta do desbaste pode ser simulado dando a relação:

$$I(t) = Cr \cdot I(n)$$

onde $I(n)$ é o incremento do povoamento não desbastado. Neste caso o incremento estimado pelo modelo de crescimento sem desbaste.

SIMÕES et al. (1981) mencionam que há dois tipos de povoamentos jovens: os ainda não desbastados e sem considerar qualquer característica biológica ou silvicultural das árvores e os que implicam a seleção dos indivíduos de acordo com o destino da produção. Os autores concluem que um dos grandes problemas que envolve a cultura do *Pinus* e *Araucaria* é determinar a época dos

desbastes, para a obtenção de madeira de melhor qualidade e maior rentabilidade do investimento.

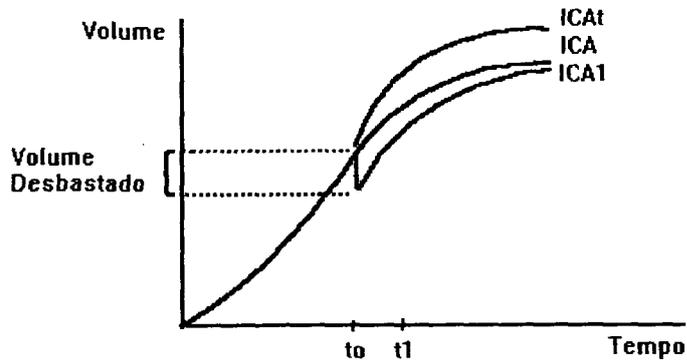
CLUTTER et al. (1983), observam que em organizações orientadas para o lucro, os critérios de decisão seriam estabelecidos de acordo com medidas de utilidade econômica, taxa de retorno ou custo.

A realização do primeiro desbaste é discutida por muitos autores. SCHNEIDER (1993) observa que sua realização, normalmente, é determinada por critérios silviculturais, baseados na experiência do profissional, mas pode ser determinada levando em consideração critérios como:

- a) no desbaste deve ser cortada uma quantidade mínima de madeira para ser econômico e a percentagem cortada não deve afetar a estabilidade do povoamento, nem afetar o incremento futuro, critério fixado pela Forestry Commission da Inglaterra;
- b) determinar a idade do primeiro desbaste através do incremento corrente anual em diâmetro. Na idade que ocorrer o ponto de máximo do incremento corrente em diâmetro situa-se a idade do primeiro desbaste;
- c) determinar a idade do primeiro desbaste através do índice de espaçamento relativo S% de Hart-Becking que considera o espaçamento médio entre árvores em relação a altura dominante, expresso em porcentagem.

A FIGURA 1 ilustra o incremento corrente anual (ICA) atingido em t_0 o qual corresponde ao ponto de inflexão da produção para um povoamento não manejado em um sítio específico, de um dado estoque. Segundo HAROU (1985), através dos desbastes os florestais esperam manter este alto crescimento corrente enquanto for economicamente viável.

FIGURA 1. FUNÇÃO DE PRODUÇÃO COM UM DESBASTE SIMPLES



A produção depois do primeiro desbaste é descrita pelo ICA_1 e culmina em t_1 . Os desbastes subsequentes juntos com o volume de crescimento residual são descritos pelo ICA_t , mostrando um incremento corrente anual superior ao ICA o qual corresponde ao crescimento não manejado.

Segundo o autor, existem várias vantagens em desbastar um povoamento, dentre elas:

- o crescimento acumulado das árvores desbastadas não é perdido pela mortalidade;
- a colheita final consiste em árvores de melhor qualidade; e
- o investimento inicial, em regeneração (em florestas naturais), é menos freqüente quando aumenta a idade de rotação.

De qualquer forma, de acordo com a teoria de Moeller [JOHNSTON et al. (1977)], dentro de uma certa margem de intensidade de desbaste, a produção total não é afetada pelo desbaste.

2.3. OBJETIVOS DOS DESBASTES

Segundo BENNETT (1971) os objetivos do desbaste em plantações são enunciados por si só em uma ou mais das seguintes considerações:

1. recuperação precoce dos custos de estabelecimento (ou implantação);
2. redução de investimento no estoque em crescimento;
3. um aumento em qualidade quando medida por tamanho de árvore; e
4. saneamento da floresta e salvamento de árvores.

Se a madeira para polpa é o produto objetivo, o valor do desbaste é questionável para povoamentos de densidade média.

Referindo-se a plantações de *Pinus elliottii* var. *elliottii*, observa que para produção de polpa muitos proprietários estão selecionando espaçamentos que não devem requerer desbaste durante a rotação e que outros insistem que desbastes precisam ser financeiramente vantajosos até em rotações destinadas à produção de polpa porque um retorno cedo dos custos do estabelecimento é assim obtido. A duração da rotação analisada em função das taxas de crescimento é também questionável e a liquidação precoce pode ser uma tentação para aquelas incertezas de taxas de produção nas diversas idades.

2.4. CARACTERIZAÇÃO DOS DESBASTES

JOHNSTON et al. (1977) caracterizam os desbaste da seguinte forma:

- a) Tipo de desbaste - caracterizado pelo tipo de árvores removidas em desbaste; desbaste pelo baixo, neutral e desbaste pelo alto - são identificados por relações do tipo v/V onde v é o volume médio do desbaste e V é o volume médio do povoamento em pé antes do desbaste. Assim, o desbaste em linhas tem relação $v/V = 1,0$ isto é, o tipo neutral, onde se verifica a remoção mecânica de um número n , fixo, de árvores.
- b) Peso do desbaste - volume retirado num único desbaste;
- c) Ciclo de desbaste ou periodicidade de desbaste - intervalo médio de uma sucessão de desbastes;
- d) Nível de existência - número de árvores, área basal ou volume por unidade de superfície;
- e) Intensidade de desbaste - volume médio anual retirado em desbaste, o que corresponde ao peso do desbaste dividido pelo número de anos do ciclo de desbaste.

O mesmo autor cita a utilização de um regime correspondente à situação de "não desbaste", incluído no experimento com o objetivo de servir de testemunho para comparação dos resultados dos outros regimes.

Observa que a repetição de um mesmo peso de desbaste, isto é, a aplicação de uma intensidade constante, durante toda a vida do povoamento não se torna praticável, pelo que, utilizou (como nas tabelas de manejo) uma variação, através do tempo, do peso e da intensidade.

WILLIAMS (1988) observa que desbastes podem ser feitos mas não colhidos, deixando as árvores caídas deitadas no chão da floresta. Obviamente, nenhum corte cruzado pode ser feito.

Segundo o autor, quando apenas árvores de pequeno tamanho não são comercializáveis, um primeiro desbaste poderia ser feito para espaçar e os desbastes subsequentes serão de forma normal. Isto é conhecido como um desbaste pré-comercial.

SMITH & HAFLEY (1984), nos seus trabalhos com *Pinus taeda*, assim determinaram a idade do desbaste:

- 1) o DAP médio das árvores removidas no desbaste precisa ser maior que um mínimo definido.
- 2) o volume total comercializável removido no desbaste precisa ser superior a um volume mínimo por área.

2.5. ROTAÇÃO

A determinação de uma série ótima de produção sustentada envolve a definição inicial da rotação do povoamento. HILEY (1956) define rotação como o período de tempo compreendido entre a formação de uma floresta e seu corte final.

CHAPMAN (1947) conceitua o termo como a expressão do relacionamento fundamental entre tamanho/qualidade dos produtos florestais e o período requerido para fazê-los crescer.

Para a definição da rotação, LEUSCHNER (1984) relaciona os seguintes critérios: incremento médio anual, renda florestal, valor esperado da terra, valor presente líquido, taxa interna de retorno e maturidade financeira.

2.6. REGIME DE MANEJO

Segundo CLUTTER et al. (1983), o conceito de regime de manejo é um componente chave na formulação de problemas de planejamento de colheita. Basicamente, cada regime de manejo define uma estratégia envolvendo uma série de colheitas e práticas silviculturais que podem ser implementadas durante o período de planejamento.

O período de planejamento é dividido em p períodos de corte. O período de planejamento é definido para n anos de duração e, na prática, o valor usado para n são, tipicamente, 1,5 a 2 tempos de rotação para o tipo de floresta que está sendo manejada.

Segundo BUONGIORNO e GILLESS (1987), o regime de manejo deve incluir pelo menos os seguintes componentes:

- a) um espaçamento inicial (ou, de forma análoga, o número de mudas a plantar por unidade de área);
- b) um regime de desbaste;
- c) um regime de poda (necessário somente se houver interesse na produção de madeira livre de nós); e
- d) uma idade para rotação.

2.7. RESULTADOS DOS DESBASTES

CLUTTER et al. (1983), comparando regimes de manejo com e sem desbaste, coloca:

1. O desbaste fornece receitas precoces na rotação. Entretanto, o volume removido no desbaste possui um baixo preço de venda e um alto custo de colheita.
2. A produção total de um regime de desbaste é, muitas vezes, não maior que aquela para um regime sem desbaste. Entretanto, o volume removido na colheita final de um povoamento desbastado possui um preço de venda superior e um custo médio de colheita, por unidade de volume, inferior.

O momento no qual um determinado volume pode remover-se em primeiro desbaste, por exemplo, depende fundamentalmente do nível de existência. A remoção de mais de 30 a 40 por cento do volume em pé envolve, entre outros riscos, ou o de reaparecimento da vegetação competitiva, existente anteriormente, ou o de elevação do nível do lençol freático em alguns locais, ou o de danificação pelo vento [JOHNSTON et al. (1977)].

FEDUCCIA & MANN (1976) em seus trabalhos com tratamentos com desbastes em sítio bom e sítio pobre, estes tinham um maior número total de árvores por área que sítios bons. Explicam que isto pode ser esperado uma vez que a competição em plantações de espaçamentos fechados no sítio melhor inicia em idades menores e, para atingir um determinado nível de densidade-desbaste, menos árvores são conservadas em sítios bons que em pobres devido ao maior diâmetro médio das árvores.

Concluem que a tendência encontrada neste estudo não é novidade. Tem sido mostrado repetidamente que desbastes pesados estimulam crescimento em diâmetro, mas reduzem o crescimento em volume.

Respostas em diâmetro e volume depois do primeiro desbaste geralmente tendem a ser mais irregulares que depois de um subsequente. Isto é devido a variações no povoamento antes do corte.

Segundo BENNETT (1971), o desbaste estimularia toras para serraria e para produção de lâminas. Se estes produtos são o objetivo primeiro da produção, um amplo espaçamento deverá ser empregado inicialmente. Na conclusão observa que, na suposição de que um povoamento desbastado deverá crescer à mesma taxa que um povoamento não desbastado com o mesmo número de árvores por área, o desbaste parece ter pouco efeito na produção total em volume.

O mesmo autor observa que o produto objetivo primário deveria determinar o espaçamento inicial e o desbaste, sob esta condição, assume pequena importância como regulador de crescimento em rotações de curta e média duração.

No manejo objetivando produtos múltiplos, envolvendo grandes e pequenas toras, a função tradicional do desbaste como um regulador do vigor do povoamento e crescimento do diâmetro deverá ser considerada.

Conforme HARPER (1985), o preço da madeira de um povoamento deve crescer com o crescimento do tamanho da árvore média. Esta relação é denominada de curva do tamanho e preço.

Com relação a preços conclui que não existe diferença significativa nos preços dos produtos de mesmo tamanho de povoamentos desbastados comparados com aqueles não desbastados.

JOHNSTON et al. (1977), pesquisando diversos pesos de desbaste, verificaram que o acréscimo em volume por unidade de superfície não é afetado e concluiu:

- a) a dimensão média das árvores do povoamento que se mantém em pé aumenta com a elevação do peso do desbaste;
- b) a dimensão média das árvores do povoamento que se mantém em pé aumenta com a diminuição do quociente v/V ; e
- c) o atraso na realização do primeiro desbaste não é compensado, no que se refere ao acréscimo, em diâmetro, pela remoção de um maior volume, a menos que o volume represente uma maior percentagem da existência em relação à do desbaste realizado mais cedo.

Pesquisando peso, ciclo e idade do primeiro desbaste, utilizando um tipo neutral de desbaste ($v/V = 1$) e uma mesma intensidade de desbaste, concluiu que a dimensão média das árvores na idade de corte final aumentam:

- a) com a realização do primeiro desbaste mais cedo do que mais tarde; e
- b) com um ciclo de desbaste mais longo do que mais curto (o que equivale a dizer com um desbaste mais forte do que mais leve, quando a intensidade permanece a mesma).

SMITH & HAFLEY (1986) em seus estudos com *Pinus taeda* limitaram-se a questões relacionadas com intensidade de desbaste seletivo, intensidade de desbaste de linhas (sistemático), desbaste de linha versus seletivo e produção acelerada de madeira para serraria. Obtiveram os seguintes resultados:

- a) Intensidade de desbaste: o maior efeito do aumento da intensidade de desbaste foi uma diminuição na produção total e um acréscimo no diâmetro médio no corte final.
- b) Desbaste sistemático: em geral, desbaste sistemático sem desbaste seletivo subsequente reduz a produção total proporcionalmente a intensidade do desbaste.

Embora os tratamentos tenham pequeno efeito sobre o crescimento do diâmetro médio, eles influem significativamente no crescimento do diâmetro das árvores dominantes.

O crescimento em volume depois do desbaste foi reduzido em 41%, 30% e 23% aos níveis de desbaste 1/2, 1/3, 1/4 e 1/5 (linhas desbastadas dentro das linhas consideradas), respectivamente. O crescimento em diâmetro das árvores dominantes ao mesmo nível foi aumentado em 22%, 14%, 9% e 8%, respectivamente.

c) Método de desbaste: método de desbaste tem pequeno efeito na produção total, mas realmente teve substancial impacto (superior a 1 polegada) no diâmetro do povoamento final quando seguido por leve desbaste seletivo. As diferenças entre desbaste sistemático e seletivo e desbaste seletivo puro são mínimas e, com respeito ao incremento em volume e distribuição em tamanho, podem ser considerados equivalentes. O impacto de baixo plantio inicial foi um decréscimo na produção total comparado ao desbaste sistemático apenas, com tamanho de troncos iguais àqueles produzidos com desbaste seletivo.

Os autores ratificam a idéia de que as comparações demonstram a incapacidade de definir desbastes baseado apenas na área basal residual.

d) Produção acelerada de toras para serraria (com desbastes destinados a acelerar a produção de toras): O estudo compara desbastes para 247 árvores/hectare aos 9, 12 e 15 anos com desbastes por baixo (para 19,5m²/hectare) à idade 12 e com intervalos de 3 anos daí em diante. No decorrer do experimento, os autores já esperavam que os valores básicos médios não deveriam fornecer adequada resposta a tais avaliações econômicas.

HAIGHT (1993), comparando o valor presente e a densidade de plantio ótima para regimes de manejo com e sem desbaste sugere que uma alta densidade de plantio combinado com uma opção de desbaste comercial é um regime de manejo superior. Regimes com opção de desbaste são mais vantajosos que aqueles sem desbaste preliminar por causa do volume adicional de madeira para celulose que fornecem retornos cedos contribuindo para o aumento do volume de madeira para serraria na segunda metade do regime.

2.8. ESCOLHA DO REGIME DE DESBASTE

A seleção de um regime de desbaste é tão importante para a futura produtividade e desenvolvimento do povoamento que ele não pode ser abordado casualmente. Uma escolha pode ser baseada num esmerado conhecimento de respostas em crescimento a várias alternativas [FEDUCCIA & MANN (1976)].

Antes do desbaste do povoamento, a densidade de plantio e sítio possuem uma forte influência no volume e diâmetro médio [MANN & DELL (1971)]. Estes dois fatores também afetam o tempo do primeiro corte.

Com base nos estudos de desbaste em *Pinus taeda*, FEDUCCIA & MANN (1976) concluíram que um desbaste comercial pode ser atrasado até que o povoamento totalmente ocupe o espaço de crescimento avaliado e enquanto a área basal seja menor que 23 m² por hectare (100 pés² /acre). Povoamentos plantados em espaçamentos fechados e/ou crescendo em bons sítios têm relativamente maiores áreas basais e podem ser desbastadas em idades mais precoces. Entretanto, o custo de manejo das toras será alto por causa do grande número de pequenos troncos que precisam ser operadas.

Segundo JOHNSTON et al. (1977), a escolha de um regime padrão está de certo modo tão dependente do efeito do desbaste sobre a qualidade do lenho e sobre a taxa de desconto utilizada pela empresa como dos fatores mais diretos que caracterizam o próprio desbaste. Observa que uma intensidade constante, através do período normal de desbaste, não oferece resultados significativamente diferentes dos produzidos por uma mudança de padrão através do tempo. Adotou, por conseguinte, uma intensidade de desbaste constante como modelo padrão de desbaste, visto neste estar a vantagem da simplicidade, especialmente na previsão das produções.

Conforme HOSOKAWA (1980), o processo decisório se baseia principalmente em dois aspectos: em indicadores silviculturais e em indicadores econômicos, os quais se completam mutuamente para se definir dentro de um consenso geral a sucessão de cortes e, respectivamente, a otimização.

Analisando os fatores que afetam a seleção do regime de desbaste, HARPER (1985) concluiu que a decisão de qual é o regime ótimo é particularmente sensível ao nível de preços e à taxa de troca.

AHRENS (1987) considera regimes alternativos para as seguintes situações:

a) para produção de madeira para processamento de fibras (processamento químico ou mecânico de cavacos/fibras para produção de celulose/papel, chapas de fibras, chapas de partículas de madeira aglomerada, etc.);

b) para produção de madeira para processamento mecânico (toras para processamento em serrarias e indústrias de produção de desenrolados e faqueados); e

c) para produção simultânea de madeira para processamento de fibras e para processamento mecânico, em uma mesma propriedade florestal.

Para a primeira opção, recomenda reduzir o número de desbastes ao mínimo, podendo-se evitar, mesmo por completo a adoção de qualquer regime de desbaste. Sugere rotações curtas de 15 anos em regimes sem desbastes ou 20 anos quando um ou dois desbaste serão necessários.

Para a segunda opção, recomenda adotar rotações mais longas, talvez entre 20 e 30 anos, considerando regimes de desbaste para situações de espaçamentos amplos e para situações de espaçamentos tradicionais, sendo que em espaçamentos iniciais amplos serão aplicados um ou dois desbaste comerciais pesados.

2.9. COMPARAÇÃO DE REGIMES DE DESBASTE

OLIVEIRA (1995), na comparação de dois regimes de desbaste que não têm as mesmas durações, salienta que deve ser admitida a repetibilidade dos ciclos e adotada como duração comum o Mínimo Múltiplo Comum das duas durações originais.

Este procedimento é válido para todos os critérios de análise estudados (Taxa Interna de Retorno, Valor Esperado da Terra, Valor Presente Líquido). Entretanto, para alguns deles torna-se dispensável, porque os resultados são coincidentes, não sendo necessário que os fluxos de caixa dos regimes de manejo sejam repetidos.

Apresenta os resultados dos critérios de análise para comparação dos regimes de manejo com 20 e 30 anos de duração, e com repetibilidade dos ciclos

para que os fluxos sejam equivalentes, tendo ambos um horizonte de planejamento de 60 anos.

Utilizou também o Valor Uniforme Líquido (VUL) que constitui-se no Valor Presente Líquido de um fluxo financeiro à taxa mínima de atratividade transformado em uma série uniforme anual equivalente. O resultado deste procedimento é uma parcela uniforme no final de cada um dos períodos (anos), cuja somatória dos valores descontados é o Valor Presente Líquido do Fluxo Financeiro.

2.10. DIVISÃO DA ÁREA SEGUNDO OS REGIMES DE MANEJO

CLUTTER et al. (1983), dividiu as florestas em áreas geográficas a serem tratadas com um mesmo regime de manejo denominando-as como unidades de manejo e referiu-se a elas como unidades de corte. Relata vários métodos de criação de unidade de corte:

1. cada povoamento existente constitui uma unidade de corte;
2. unidades de corte são criadas por povoamentos de situação geográfica contígua que, depois do corte inicial, são manejadas como um único povoamento. O povoamento inicial envolvido pode diferir consideravelmente em espécie, densidade e, até alguma extensão, em idade. É, entretanto, assumido que os povoamentos subseqüentes consolidados são homogêneos para serem manejados como um único povoamento; e
3. unidades de corte são criados pela combinação de povoamentos semelhantes da mesma propriedade. Nesta situação, uma unidade de corte única pode conter todas as plantações da mesma espécie com idade, índice de sítio e densidade próximos.

Unidades de corte formadas desta forma são usualmente chamadas como *estratos florestais*.

A aplicação de um (ou uma combinação) destes procedimentos para alguma floresta particular resulta em uma subdivisão da floresta em N unidades de corte. O desenvolvimento de um programa de corte, então, envolve a atribuição de um regime de manejo para cada unidade de corte.

2.11. ESCOLHA DOS TALHÕES A CORTAR

HOSOKAWA (1980) define uma ordem de prioridade no procedimento para a definição da sucessão de corte dos talhões que consiste na seguinte escala:

- a) cortar talhões que apresentam as necessidades silviculturais;
- b) quando se objetiva a produção em massa, a idade de corte dos talhões deve girar em torno do ponto de culminação da curva de incremento médio da classe de manejo (CM);
- c) o mesmo procedimento é válido para o objetivo da renda. Neste caso, a norma será constituída de renda marginal e renda média, havendo necessidade também de se calcular a renda marginal de cada talhão individualmente; e
- d) quando o objetivo visa a uma determinada composição de sortimentos, então o talhão que possuir as classes de madeira mais próxima da almejada apresenta prioridade.

O mesmo autor, ao definir a dimensão da área que resulte na persistência de produção e, em conseqüência, de rendas nas empresas florestais indica como um dos métodos o sugerido por MANTEL (1959), segundo o qual a superfície total ocupada pelos povoamentos deve ser dividida pelo período de rotação. Com isto é

determinada a mesma área para o corte anual. O método é apropriado para florestas baixas e médias, devido à pouca variação no povoamento e à, geralmente, curta rotação.

Sugere também a divisão em volumes, procedimento semelhante ao da divisão em áreas, sendo as variáveis os volumes dos povoamentos.

2.12. ASPECTOS ECONÔMICOS DO MANEJO

2.12.1. CÁLCULO DO VALOR DO POVOAMENTO

Segundo HOSOKAWA (1980), o cálculo do valor de um povoamento se baseia principalmente nos sortimentos exigidos pelo mercado consumidor.

Definindo os valores percentuais do volume de madeira serrada, de madeira para celulose, de lenha e das perdas, através do fuste modelo representativo do povoamento, extrapola-se estas percentagens para o mesmo, com o auxílio da tabela de distribuição percentual de volume. Obtém-se, desta forma, a percentagem volumétrica de cada classe de madeira em relação ao total do povoamento. Com estas percentagens distribui-se o volume absoluto total em diversos sortimentos, os quais são as bases para o cálculo do valor do povoamento.

2.12.2. ANÁLISE ECONÔMICA DOS DESBASTES

BRIGATTI e GARLIPP³, citado por GOMEZ (1989), utilizaram os critérios do Valor Presente Líquido e Taxa Interna de Retorno, para avaliar economicamente

³ BRIGATTI, R.A. e GARLIPP, R.C.D. Tomada de decisões face à alternativa de manejo de uma floresta de *Eucalyptus spp.* Circular Técnica nº 142. IPEF. São Paulo, fevereiro, 1982. 12 p.

três alternativas de manejo de uma floresta de *Eucalyptus spp*, para a obtenção dos seguintes produtos.

- a) madeira para celulose;
- b) madeira para celulose e serraria; e
- c) madeira para celulose, serraria e produção de sementes.

Concluíram que a tripla utilização da floresta propicia as melhores rentabilidades.

Segundo COZZO (1976), o elemento custo-transporte do produto da floresta é o que geralmente decide na integração da indústria com a floresta. O autor estima que a participação do frete não deveria ser maior do que o 20% do preço do produto posto na fábrica. Recomenda o estudo dos mercados nacionais e regionais, e suas perspectivas de expansão futura para se decidir quais os manejos silviculturais mais adequados a serem aplicados.

LEONARDIS (1984) salienta que a maior porcentagem dos custos de implantação se dão nos dois primeiros anos (quase 80% dos custos totais), enquanto que na segunda rotação e subseqüentes, há tarefas que não precisam ser executadas, pelo que o custo financeiro inicial tem muita influência na rentabilidade do investimento.

Trabalhando com *Pinus elliottii* e *Pinus taeda*, EMERENCIANO (1990) verificou que a capacidade do sítio, a qualidade genética das árvores e os tratamentos do povoamento podem influir diretamente nos valores da renda líquida. Verificou renda líquida positiva já no primeiro desbaste quando utilizou o critério de estabelecimento de pesos do volume desbastado e de sortimentos (fatores) aos custos.

JOHNSTON et al. (1977), na análise econômica dos desbastes, consideram vantajoso o estudo, em primeiro lugar, dos efeitos de um único desbaste e só em segundo lugar os efeitos de uma série de desbastes, de maneira a entrar em linha de conta com os padrões de crescimento e de variação de preços ao longo do tempo. Quando se examinam os efeitos de determinado fator, tal como o peso, o tipo ou a periodicidade do desbaste, convém considerar que os fatores restantes intervenientes se mantêm constantes.

Os mesmos autores, no cálculo do Rendimento Líquido Descontado (ou Valor Presente Líquido) máximo e Rendimento Descontado (Valor Presente) máximo, utilizaram a taxa de 3,5%. Concluíram que o rendimento descontado:

- a) decresce com o adiamento do desbaste;
 - b) aumenta com a elevação do peso do desbaste; e
 - c) aumenta com a diminuição dos quocientes v/V (desbaste pelo baixo);
- e ainda, que é mais rentável:

- a) desbastar mais cedo do que mais tarde;
- b) desbastar mais intensivamente do que menos; e
- c) desbastar pelo baixo de preferência a desbastar pelo alto.

Segundo JOHNSTON et al. (1977), a determinação da idade para além da qual não se revela lucrativo prolongar determinado investimento é, obviamente, uma decisão importante na gestão florestal. Para o investidor que deseja obter o máximo lucro, é justificável manter o investimento contando sempre que o custo de o prolongar outro ano seja inferior ao aumento do seu valor no decurso desse ano.

WILLIAMS (1988) observou que na elaboração de tabela de volume, de produção e da Tabela de Renda Descontada, pode ser visto que, em termos de

volume e resultado financeiro, os desbastes contribuem em grande parte na produção total. A contribuição em termos de receita descontada é muito superior que aquela em termos de volume. Isto é devido ao efeito do desconto ser menor, resultando em retorno financeiro precoce mais valioso que um retorno tardio maior. Resultados de experimento mostraram que o corte final contribuiu com 54% do total e os desbaste em 46%. Em termos de receita descontada, o corte principal contribuiu com 43% e os desbastes 57%. Isto ocorreu com uma rotação de 55 anos, usando uma taxa de desconto de 5%.

De uma forma geral, dentro de certos limites, o volume total produzido de um povoamento não é grandemente afetado pelo número de árvores por hectare. O mesmo volume total pode ser obtido de um grande número de árvores menores ou de um pequeno número de árvores grandes. Entretanto, onde existe um grande número de pequenas árvores, muitas delas podem não ser comercializáveis, ou mesmo imensuráveis. A biomassa total pode ser a mesma, mas o montante de madeira de dimensões demandadas deverá ser menor.

A despeito das vantagens dos desbastes já mencionados, em certas circunstâncias pode ser preferível dedicar-se ao não desbaste ou regime de corte raso. Isto é verdadeiro quando a demanda do mercado é para celulose, ao invés de madeira serrada ou laminado, e o gradiente preço/tamanho está em nível. Se nenhum preço superior é pago para árvores de tamanho maior, então não existe razão para produção destas e um grande número de pequenas árvores poderia produzir o mesmo volume e valor.

2.12.3. VALOR PRESENTE

Segundo CLUTTER et al. (1983), decisões sobre investir no solo e floresta ou na preparação para o plantio de um sítio particular devem ser realizadas em tempo presente. O fluxo de caixa associado com um ou outros destes investimentos ocorrerão no futuro bastante distante. Assim, coloca a questão: Quanto é prometido para futura receita em valores atuais? Isto envolve o conceito de valor presente. A relação entre o valor aplicado hoje e o valor que retorna no futuro computado no presente, pode ser expresso:

$$V_0 = \frac{V_n}{(1+i)^n} = V_n (1+i)^{-n}$$

onde: V_0 = valor presente

V_n = valor aplicado

i = taxa

n = número de períodos

Segundo BENNETT (1971), uma taxa de atratividade muito alta aplicada ao retorno do desbaste pode forçar o retorno total do povoamento desbastado à idade rotação acima daquela plantação não desbastada.

Para calcular a Receita Líquida Descontada ou Valor Presente Líquido (VPL) é necessário obter o Valor Presente dos benefícios e o Valor presente dos custos (WILLIAMS (1988)). Se considerarmos B_t os benefícios econômicos no ano t e C_t os custos correspondentes, i a taxa de interesse ou taxa de atratividade (anual) e n a duração do projeto (em anos) temos, para valor presente dos custos:

$$VP(\text{custos}) = \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+i)^t}$$

enquanto o valor presente dos benefícios:

$$VP(\text{benefícios}) = \sum_{t=0}^n \frac{B_t}{(1+i)^t}$$

A diferença entre ambas fornece o Valor Presente Líquido.

$$VPL = VP(\text{benefícios}) - VP(\text{custos})$$

ou

$$VPL = \sum_{t=0}^n \frac{B_t - C_t}{(1+i)^t}$$

É preciso ressaltar que o VPL é a soma monetária por unidade de área a uma particular taxa de interesse [WILLIAMS (1988)]. É importante observar que todos os custos e receitas são expressas como valor presente à um ponto comum no tempo. Normalmente é utilizado o início da rotação como ponto de referência mas, pode também ser utilizado o fim da rotação. O projeto com um valor presente líquido positivo é financeiramente viável.

Segundo o mesmo autor, o principal inconveniente do uso do VPL é que ele é dependente de uma taxa de interesse arbitrada. O resultado positivo de um projeto pode depender apenas da taxa de interesse usada.

Entre as diversas utilizações do VPL, o autor indica o seu uso na decisão sobre a rotação financeiramente ótima.

Referindo-se à taxa de interesse utilizada, DE FRANCISCO (1986), observa que se o VPL é positivo, então a taxa de retorno do capital investido é maior que a taxa mínima de atratividade. Se, entretanto, a diferença for negativa, o investimento não será atrativo, pois a taxa de retorno do capital será menor do que

a taxa mínima de atratividade. A melhor alternativa de investimento será, então, aquela que fornecer a maior diferença positiva entre os valores atuais das receitas e das despesas.

2.12.4. VALOR UNIFORME LÍQUIDO

O Valor Uniforme Líquido também é denominado Valor Anual Líquido de um Fluxo Financeiro conforme DE FRANCISCO (1986). Por este critério, o Valor Presente Líquido de um fluxo financeiro, à Taxa Mínima de Atratividade (i), é transformado em uma série uniforme anual equivalente. Tem-se, no final de cada um dos períodos (anos), uma parcela uniforme, cuja somatória dos valores descontados resulta no Valor Presente Líquido do fluxo financeiro.

CLUTTER et al. (1983) consideram o VUL como sendo uma sequência de fluxo de caixa envolvendo um número finito de períodos, de igual valor em todos os períodos. Descrevem o processo de determinação do Valor Uniforme Líquido como sendo:

$$VUL = VPL \left[\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right]$$

onde:

i = taxa de interesse

n = número de períodos

2.12.5. ESCOLHA DA TAXA DE INTERESSE OU TAXA DE ATRATIVIDADE

Segundo DUERR (1952), o proprietário florestal pode tomar três decisões em relação ao crescimento do estoque de seu povoamento: incrementá-lo, mantê-lo constante ou reduzi-lo e anulá-lo. Em qualquer dos casos, à título de comparação, há uma taxa alternativa de retorno, que expressa o retorno líquido potencial de empreender os recursos financeiros em outras atividades que não o crescimento do estoque florestal.

De acordo com LEUSCHNER (1984), a taxa de desconto deve representar pelo menos o que se deixa de ganhar pela não-inversão do capital em outra oportunidade de investimento. Caso contrário, estar-se-ia incorrendo no que se chama custo de oportunidade, que é representado pela diferença entre os retornos possíveis. O autor observa ainda que a taxa de desconto utilizada no setor privado deve ser aquela adotada no mercado de capitais.

CABRAL (1990), pesquisando taxas de atratividade para comparar economicamente alternativas de manejo de plantações florestais, observa que a taxa a ser adotada vai depender de fatores que variam conforme a situação. Observa que na área florestal as taxas de juros adotadas pela maioria dos autores se situam próximo de 8% ao ano.

2.12.6. DISTÂNCIA MÁXIMA DE TRANSPORTE ECONOMICAMENTE VIÁVEL

GOMEZ (1989), trabalhando com uma taxa de desconto de 10%, delimitou as áreas de influência dos centros de consumo, que podem ser definidas como as zonas onde é recomendável a implantação das florestas para que seus produtos

possam ser comercializados no respectivo centro consumidor, garantindo os retornos econômicos aos produtores. Considerou a taxa de 10%, por ser a mesma a mais representativa das condições econômicas da atividade florestal. Verificou ainda que as distâncias de transporte variam segundo a taxa de desconto utilizadas. Observou que na medida em que aumenta a taxa de desconto o raio de transporte diminui.

EMERENCIANO (1990) observa que as situações dos custos se modificam e aumentam a medida que se considera os custos de transporte do material a uma dada distância da área de corte, especificamente para os custos do material "Posto Pátio".

Da mesma forma, FENTON e TUSTIN (1972), trabalhando com *Pinus radiata*, consideram que o efeito da localização da floresta a 40 milhas (64 km) da indústria eleva o Valor Líquido Esperado da terra para 42%.

COZZO (1976), analisando a questão da distância do povoamento e limitando o custo do transporte como um percentual máximo do valor da venda, afirma que os custos de transporte não deverão ultrapassar 20% do preço de venda.

Conforme AHRENS (1987), em uma mesma propriedade florestal, e quando múltiplos forem os objetivos da produção, convém analisar as possibilidades de se desenvolver e praticar regimes de manejo de forma igualmente diferenciada, por talhão ou grupo de talhões, considerando tanto os níveis de produtividade (sítio) como a sua distribuição espacial ou localização. Quanto à localização dos talhões, indica reservar aqueles próximos às unidades de processamento, com melhor crescimento, homogeneidade e forma dos troncos das árvores, para produção de

madeira para processamento mecânico mesmo que, pelos preços mais elevados das toras de maiores condições, possam ser transportadas a maiores distâncias.

Quando o objetivo é produção de madeira para processamento de fibras, sugere que as distâncias de transporte de madeira sejam maiores.

2.13. SISTEMAS COMPUTACIONAIS

OLIVEIRA (1986) desenvolveu um sistema computacional composto de seis programas interrelacionados, de modo a possibilitar a simulação e a comparação econômica das operações de reforma, adensamento e interplântio em povoamentos de *Eucalyptus*, manejados em regime de alto fuste na primeira rotação, e talhadia ou alto fuste nas duas outras rotações, todas elas com duração de cinco anos.

OLIVEIRA e OLIVEIRA (1993) descrevem o sistema que permite a predição do crescimento e produção de *Pinus*, denominado SISPINUS (1994)⁴, utilizado no sul do país. O modelo utilizado no sistema baseia-se na Distribuição Bivariada de Johnson, conforme HAFLEY e BUFORD (1985), sendo o sistema preparado para as espécies *Pinus taeda* e *Pinus elliottii* do Sul dos Estados Unidos, e adequado às condições brasileiras pela inclusão de parcelas permanentes de empresas nacionais.

CARNIERI et al. (1992), descreve um programa desenvolvido para auxiliar na tomada de decisões relacionadas ao planejamento florestal de longo prazo,

⁴ SISPINUS. Managed Pine Plantation growth and yield simulator as modified in cooperation with EMBRAPA/CNPF for Brazilian grown southern Yellow Pine. Versão 2.0. William Lecoy Hafley; Edilson Batista de Oliveira; Yeda Maria Malheiros de Oliveira. EMBRAPA. Colombo (PR), 1994. 1 disquete 3¹/₂

comentando os diferentes aspectos do sistema, como os dados necessários, a predição do crescimento e produção, o modelo matemático e sua solução e o programa computacional.

2.14. O MODELO DE PROGRAMAÇÃO LINEAR (P.L.)

Segundo CLUTTER et al. (1983), todo problema envolvendo uma otimização sujeita a restrições é conhecido como um problema de programação matemática. Existem atualmente técnicas efetivas para uma importante subclasse, chamada de problemas de programação linear ou P.L. A implementação prática destas técnicas é quase totalmente dependente da disponibilidade de modernos e rápidos computadores.

Segundo BARROS e WEINTRAUB (1982), os fatores para considerar homogêneos os estratos são: idade, localização e qualidade de sítio. Dentro de cada estrato definido, podem ser usadas equações de regressão para simular o crescimento e a produção sob diferentes tratamentos. Estes modelos de predição alcançaram sucesso e seus resultados são os coeficientes técnicos do uso do modelo de P.L.

O modelo de P.L. integrado ou conciliado a *Programação Linear Inteira* são as únicas técnicas usadas intensivamente no planejamento florestal.

Duas formulações básicas de modelo de P.L. são usadas para planejamento florestal. No Modelo I [CLUTTER et al. (1983)], atividades de manejo da terra são definidas para cada estrato com inventários específicos ou tratamentos silviculturais em diferentes períodos através do horizonte. Assim, decisões

correspondem à área do estrato recebendo tratamentos silviculturais fixos em dados períodos.

No Modelo II [JOHNSON et al. (1980)], atividades administrativas são definidas em períodos de plantio e corte. Nesta forma, a identificação física do estrato não ocorre porque estes são reagrupados para todas as áreas de corte e plantio no mesmo período. Decisões correspondem a variações do valor de X_{ij} - dimensão da área plantada em dado período i e corte raso em outro período j .

Diz-se que a expressão $Z = c_1 X_1 + c_2 X_2 + \dots + c_n X_n$ é denominada função objetivo e que o problema é linear porque só há funções lineares das variáveis X na função objetivo e nas restrições.

Uma solução viável satisfaz simultaneamente a todas as restrições, isto é, pertence a interseção dos conjuntos que satisfazem a cada restrição.

Uma vez estabelecido o problema, o passo seguinte é resolvê-lo. Observa-se imediatamente que o conjunto de restrições dos problemas em forma-padrão, é um sistema de equações lineares. É natural, então, que se utilizem os resultados da teoria de resolução desses sistemas para tentar obter soluções.

BUONGIORNO & GILLESS (1987) ilustram aplicações da Programação Linear com múltiplos objetivos e observam que um objetivo figura como função a ser otimizada enquanto que os demais objetivos, representados no modelo pelas respectivas funções, devem ser expressas como restrições. Qual função será a Função Objetivo e quais serão consideradas restrições é geralmente uma decisão arbitrária.

2.14.1. O MÉTODO SIMPLEX

Embora o procedimento simplex para solução de problemas de programação linear tenha sido desenvolvido durante os anos de 1940 [DANTZIG⁵, citado por CLUTTER et al. (1983)], aplicações práticas do procedimento foram inicialmente limitadas pelo montante de computação requerido para solucionar problemas de dimensões reais. Entretanto, com a melhoria dos microcomputadores entre 1950 e 1960, trabalhos publicados de 1960 em diante sugerem a solução dos problemas de planejamento florestal com métodos de programação linear.

O método simplex é um procedimento algébrico e iterativo que fornece a solução exata de qualquer P.L., em um número finito de iterações. É também capaz de indicar se o problema tem solução ilimitada, se não tem solução ou se possui infinitas soluções.

Estas características do simplex permitiram sua codificação em programas extremamente rápidos e eficientes, possibilitando a solução de sistemas com centenas de variáveis. Extensões posteriores, como o simplex revisado e o princípio da decomposição, aumentaram sua capacidade para dezenas de milhares e, finalmente, centenas de milhares de variáveis.

2.14.1.1. SIMPLEX ORIGINAL

Segundo HILLIER e LIEBERMAN (1988), por ser mais conveniente lidar com equações do que com relações de desigualdade, o primeiro passo para estabelecimento do método simplex é converter as restrições funcionais de

⁵ DANTZIG, G.B. Maximization of a linear function of variables subject to linear inequalities. In T.C. Koopmans (ed.). **Activity analysis of production and allocation**. Wiley, New York, 1951.

desigualdade em restrições equivalentes de igualdade. Isto é feito introduzindo-se variáveis de folga ou seja, se

$$X_1 \leq K$$

transforma-se a desigualdade em $X_1 + X_f = K$ onde X_f é a variável de folga.

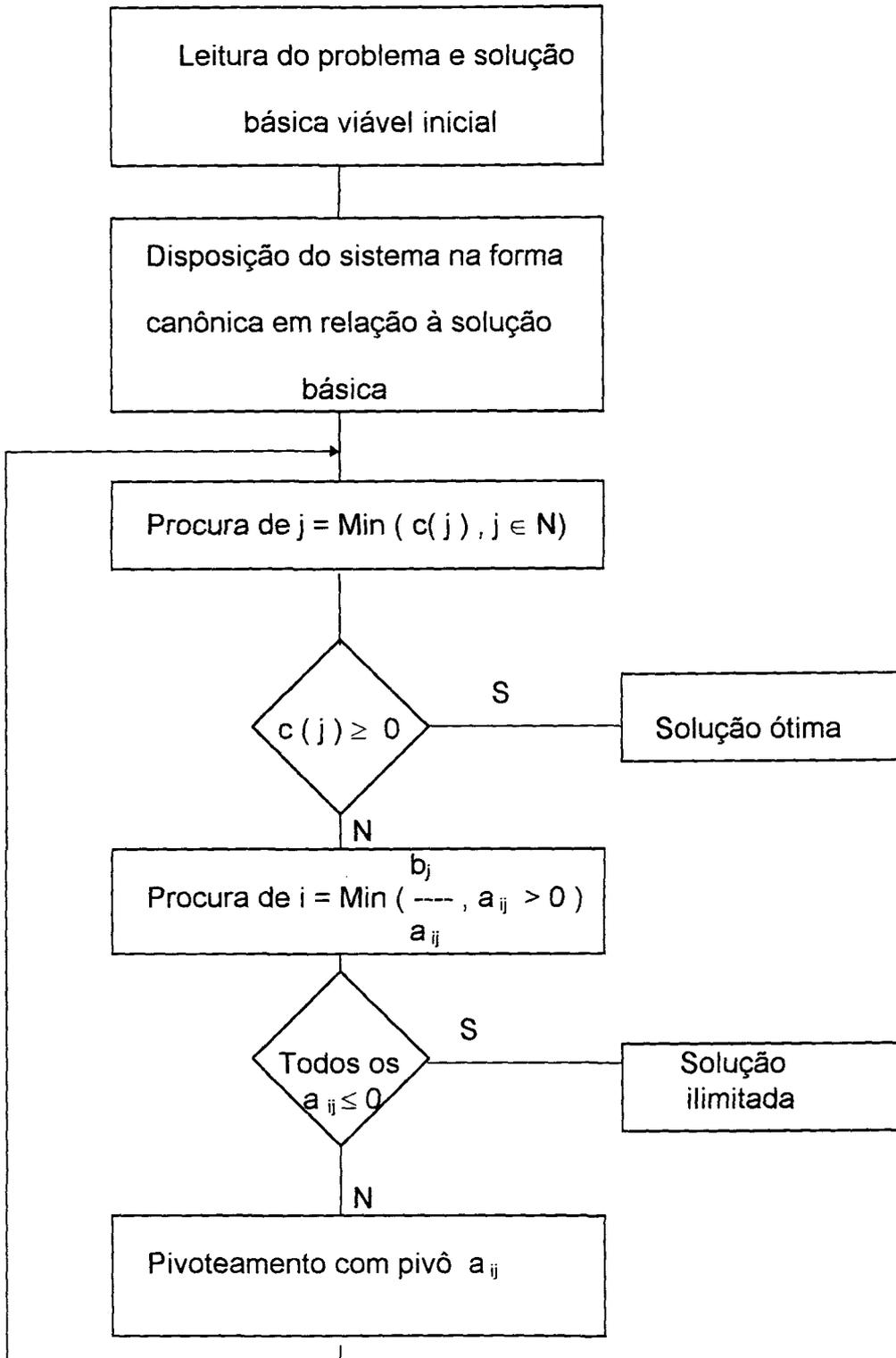
Pela introdução de variáveis de folga de maneira idêntica para todas as variáveis, o modelo de programação linear original pode ser substituído por um modelo equivalente de igualdades cuja forma é muito mais conveniente para manipulação algébrica.

O método simplex trabalha com dois tipos de variáveis: as básicas e as não-básicas. As não-básicas, em cada iteração, são nulas.

O sistema de equações resultante é resolvido repetidamente para uma seqüência de soluções básicas viáveis, cada uma melhor que a sua predecessora, até que seja alcançada uma solução (básica viável) ótima. Cada nova solução básica viável é obtida a partir de sua predecessora, transformando uma variável não-básica em variável básica (a variável básica entrando) e transformando uma variável básica em uma variável não-básica (a variável básica saindo). Soluções básicas viáveis, diferindo apenas por uma única troca de variáveis básica e não-básica, são chamadas de adjacentes. Uma solução básica viável é tida como ótima quando nenhuma das soluções básicas viáveis adjacentes é melhor que ela.

A seguir são seqüencialmente descritas as etapas do processamento de um problema pelo algoritmo simplex original, segundo MACULAN FILHO & PEREIRA (1980), de acordo com a FIGURA 2.

FIGURA 2: FLUXOGRAMA DO ALGORITMO SIMPLEX ORIGINAL



O método simplex também fornece outras informações valiosas para análises adicionais do modelo. Frequentemente é útil ter informações sobre contribuição dos recursos na função objetivo. O método simplex fornece essa informação sob a forma de preços-sombra para os respectivos recursos.

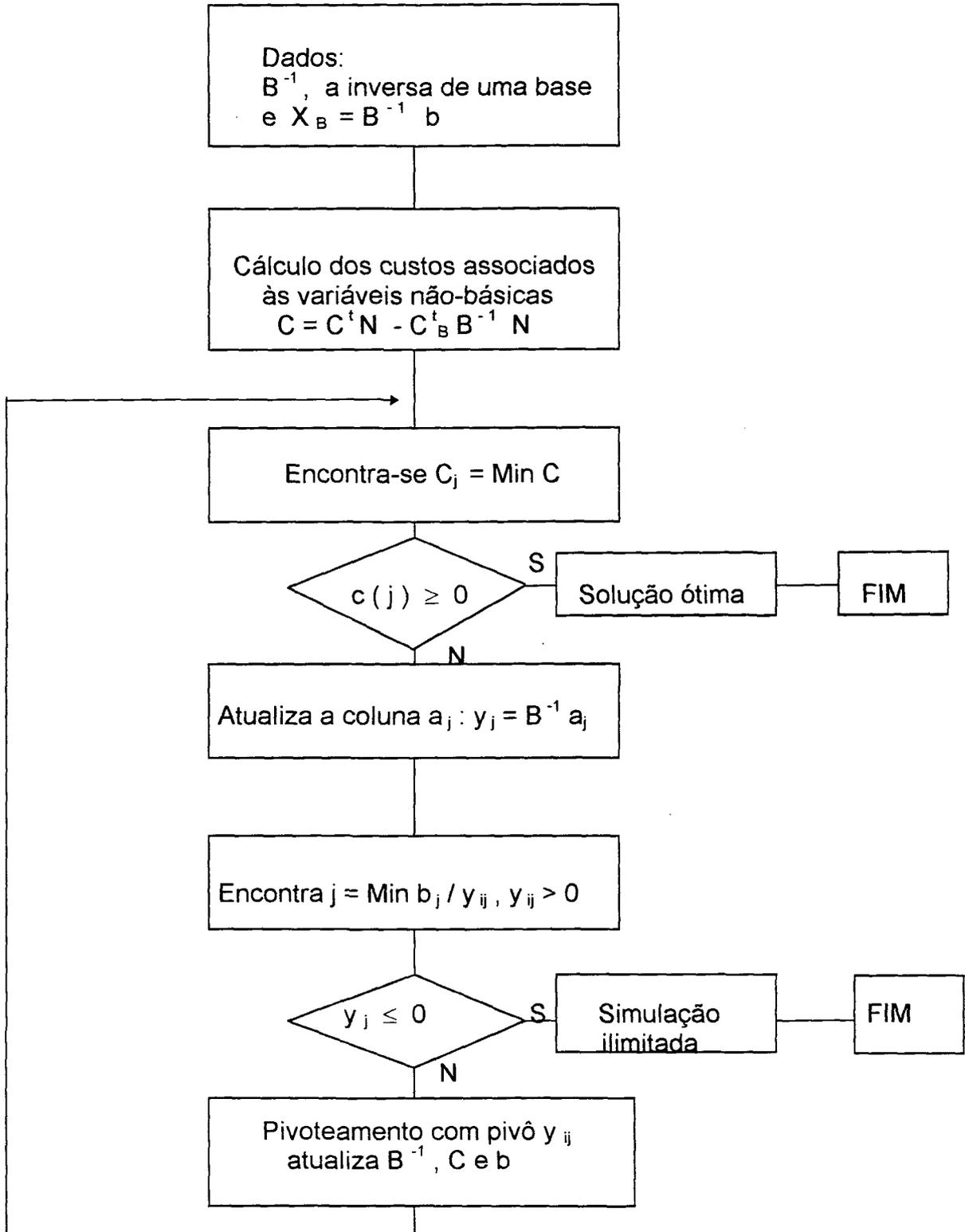
O preço-sombra mede o valor marginal do recurso, isto é, a taxa à qual Z (Função Objetivo) poderia ser aumentada, aumentando (ligeiramente) a quantidade do recurso feito disponível.

2.14.1.2. SIMPLEX REVISADO

O procedimento algébrico direto do método simplex original não é o procedimento computacional mais eficiente para os computadores eletrônicos digitais, porque calcula e armazena muitos números que não são necessários à iteração corrente e que podem mesmo não se tornar relevantes para a tomada de decisão em iterações subseqüentes. As únicas peças de informação relevantes a cada iteração são os coeficientes das variáveis não-básicas na Função Objetivo, os coeficientes da variável básica entrando nas outras equações e o lado direito das equações. O método simplex revisado foi projetado para executar as mesmas coisas que o método simplex original, mas calcula e armazena apenas as informações que são necessárias no momento e guarda os dados essenciais numa forma mais compacta.

A seguir são apresentadas as etapas do processamento do problema através do algoritmo simplex revisado, segundo MACULAN FILHO & PEREIRA (1980), de acordo com a FIGURA 3.

FIGURA 3: FLUXOGRAMA DO ALGORITMO SIMPLEX REVISADO



2.15. SIMULAÇÃO

Muitas aplicações florestais requerem um simulador para ser tanto, uma ferramenta para predição (ou prognose) quanto uma técnica para examinar a dinâmica do sistema. Isto requer que o simulador seja acurado, não somente no senso comportamental, mas também quantitativamente. Muitos dos componentes do sistema são lentos para reagir e, ajustados aos aspectos gerais e de longo intervalo da floresta, requerem longas séries de simulação para monitorar totalmente o comportamento do sistema real [HANN (1980)].

Segundo SPAIN (1982), a simulação, na sua forma mais simples, envolve implementação de um modelo matemático num computador para produzir dados. Desta forma, as saídas do modelo matemático podem ser prontamente comparados com os dados experimentais do sistema real a fim de que avalie o modelo. Por causa das complexas interrelações envolvidas, simulação é especialmente essencial para o entendimento do modelo do sistema de multicomponentes.

O processo de desenvolver um modelo de simulação força o pesquisador a descrever o sistema na sua forma mais simples. Ao descrever o sistema, o pesquisador deverá considerar detalhes que de outra forma não seriam considerados. Atinge, então, o objetivo que é obter novos entendimentos sobre a operação de um sistema.

Segundo SANQUETTA (1996), o processo de simulação expande a capacidade quantitativa da cadeia de pesquisa, gerando informações que podem ser comparadas aos dados coletados para se descobrir discrepâncias e, assim, melhorar ou reformular o modelo matemático. O autor considera que o processo de simulação permite um teste dos conceitos envolvidos na formulação do modelo

matemático e do modelo conceitual. Isto auxilia a compreensão da realidade em termos quantitativos. Observa ainda que a simulação não responde a todas as questões (especialmente aquelas não quantitativas por natureza), mas em geral pode ser considerada uma ferramenta muito útil para compreensão, planejamento e manejo de recursos florestais.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. OBTENÇÃO DOS DADOS

Partindo-se do objetivo de simular regimes de manejo em diferentes sítios e diferentes distâncias dos povoamentos à indústria, uma das limitações foi o intervalo das variáveis a se trabalhar. Procurou-se então, reduzir o número de regimes de manejo a estudar, os sítios florestais e as distâncias experimentadas de tal forma que diminuísse o número de informações, sem comprometer a visualização do fenômeno em pauta.

Para padronizar os procedimentos, de forma a facilitar a análise, e que os resultados obtidos fossem realmente devidos à variável estudada que foram os regimes de manejo e as distâncias dos povoamentos à indústria, algumas padronizações foram feitas. Primeiro foi a uniformização da densidade inicial em 2.000 plantas por hectare e o controle da variável sítio, dispondo todos os regimes de manejo nos três sítios, como visto na TABELA 3. Em segundo lugar, os dados de produções de diferentes regimes de manejo, que serviram de entrada para o algoritmo simplex, provém de simulações no Sistema SISPINUS (1994) que utiliza modelos comprovados para a região.

O modelo representativo da produção dos povoamentos, expressando a produção média, fornece valores médios enquanto os obtidos por amostragem de parcelas poderiam ser representativos de um sítio particular e alterar substancialmente os resultados da análise e, em consequência, as conclusões.

A espécie florestal, da qual analisou-se as produções pela aplicação dos diversos regimes de manejo, foi *Pinus taeda*, largamente cultivada na região de Canoinhas, SC.

Os dados de entrada no Sistema SISPINUS (1994) são: índice de sítio, densidade inicial, idade e peso dos desbastes e idade do corte final.

Os dados de entrada no sistema são descritos nos itens 3.1.1 a 3.1.3 e 3.1.5 e 3.1.6, a seguir. Os dados de entrada na Planilha Eletrônica, para cálculo do resultado financeiro dos regimes nos diferentes sítios e localizações são descritos nos itens 3.1.4 e 3.1.7 a 3.1.9.

3.1.1 SÍTIO

A curva de crescimento das dominantes utilizada pela EMBRAPA no SISPINUS (1994) toma como idade índice 15 anos, tendo índice de sítio médio de 21 metros.

Para efeito de caracterização do potencial dos solos da região de Canoinhas, Estado de Santa Catarina, através de um índice de sítio, obteve-se junto à RIGESA, Celulose, Papel e Embalagens Ltda., um índice de sítio igual a 25 m para sítios bons, 21 m para sítios médios e 17 m para sítios pobres, avaliados à idade índice 15 anos e considerados respectivamente como sítio 1, 2 e 3, que foram utilizados no SISPINUS (1994), na obtenção das produções.

3.1.2. REGIMES DE MANEJO

KLUYVER et al. (1980) selecionou regimes de manejo através da programação dinâmica, e testou estes regimes escolhidos através da programação linear.

No presente trabalho, os regimes de manejo selecionados para simulação originaram-se de regimes de desbaste utilizados por empresas florestais da região de Canoinhas, SC, e outros apontados em trabalhos como AHRENS (1992).

Este procedimento se justifica perfeitamente uma vez que a utilização de todos os regimes de desbaste aplicados às florestas, neste tipo de pesquisa resultaria numa matriz de dimensões impróprias para processamento em microcomputadores de pequeno porte. Por outro lado, a eliminação de alguns regimes pela programação dinâmica ocorreria da mesma forma na programação linear, neste caso com mais dificuldade e maiores custos de processamento.

Reforçando este procedimento temos que, nas florestas exploradas, os regimes utilizados em cada empresa florestal são em número reduzido.

Conforme AHRENS (1987), os regimes de desbastes adotados na época pelas empresas são bastante semelhantes no que diz respeito a densidade inicial, a sua rotação e a idade do primeiro desbaste, variando em peso dos desbastes e idades do segundo e terceiro desbaste.

Os regimes de desbaste que iniciam com uma densidade de 2.000 plantas por hectare, têm o primeiro desbaste em torno dos 8 anos e uma rotação de 20 anos, sendo utilizados mais um segundo e um terceiro desbaste.

Desta forma, no presente trabalho considerou-se os regimes de desbaste caracterizados pelas suas datas de intervenção, peso do desbaste e época do corte final, variando as rotações de 16 anos até 24 anos.

A TABELA 1 apresenta os regimes de manejo utilizados, informando a época do desbaste (D) e a época do corte raso final(C), para aplicação aos três sítios.

TABELA 1. REGIMES DE MANEJO SEGUNDO A IDADE DO POVOAMENTO NA REALIZAÇÃO DO DESBASTE E CORTE RASO FINAL.

Regime	Idade (anos)												
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26
1								C					
2									C				
3					D					C			
4				D			D			C			
5				D				D				C	
6					D			D		C			
7					D			D				C	
8				D		D		D		C			
9				D		D		D				C	
10				D		D		D		D		C	

D - Desbaste

C - Corte raso final

A TABELA 2 apresenta o número de árvores remanescentes resultantes da aplicação de um certo número de desbastes, com peso de desbaste definido para cada número de desbastes, partindo de uma densidade inicial de 2.000 plantas por hectare.

TABELA 2. PESO DOS DESBASTES E NÚMERO DE ÁRVORES REMANESCENTES EM FUNÇÃO DO NÚMERO DE DESBASTES REALIZADOS NO TALHÃO.

Número de desbastes	Peso dos desbastes (%) Árvores remanescentes			
	1º	2º	3º	4º
1	50,0% 1000			
2	37,5% 1250	40,0% 750		
3	33,0% 1340	45,0% 737	40,0% 442	
4	37,5% 1250	37,6% 780	37,2% 490	38,8% 300

3.1.3. DESCRIÇÃO DOS REGIMES UTILIZADOS.

De acordo com o tipo de intervenção no povoamento e a idade em que ela ocorre, os regimes podem ser assim descritos:

Regime 1: Somente corte final aos 16 (dezesseis) anos.

Regime 2: Somente corte final aos 18 (dezoito) anos.

Regime 3: Desbaste aos 10 (dez) anos e corte final aos 20 (vinte) anos.

Regime 4: Desbaste aos 8 (oito) e 14 (quatorze) anos e corte final aos 20 (vinte) anos.

Regime 5: Desbaste aos 8 (oito) e 16 (dezesseis) anos e corte final aos 24 (vinte e quatro) anos.

Regime 6: Desbaste aos 10 (dez) e 16 (dezesseis) anos e corte final aos 20 (vinte) anos.

Regime 7: Desbaste aos 10 (dez) e 16 (dezesseis) anos e corte final aos 24 (vinte e

quatro) anos.

Regime 8: Desbaste aos 8 (oito), 12 (doze) e 16 (dezesesseis) anos e corte final aos 20 (vinte) anos.

Regime 9: Desbaste aos 8 (oito), 12 (doze) e 16 (dezesesseis) anos e corte final aos 24 (vinte e quatro) anos.

Regime 10: Desbaste aos 8 (oito), 12 (doze), 16 (dezesesseis) e 20 (vinte) anos e corte final aos 24 (vinte e quatro) anos.

Enquanto que os regimes que se constituem apenas de corte final são utilizados por empresas que tem a produção de celulose como objetivo e visam mais a produção de volume que a qualidade da madeira, os regimes que apresentam quatro desbastes visam mais a produção de madeira de boa qualidade destinada à laminação e à serraria. Este é o objetivo dos regimes 9 e 10, que possuem rotações longas e maior número de intervenções com a finalidade de produção de madeira para serraria. São utilizados na empresa Comfloresta - Companhia Catarinense de Empreendimentos Florestais, citados no trabalho de EMERENCIANO (1990).

Mesmo que de acordo com HILEY (1956) , para cada espécie e qualidade de sítio deve haver um regime, neste caso foram aplicados os mesmos regimes a fim de permitir a apreciação do comportamento das variáveis em estudo.

Utilizando-se o SISPINUS (1994), os regimes de manejo constantes da TABELA 1 foram simulados observando-se os pesos constantes da TABELA 2, e obteve-se os sortimentos para os respectivos sítios.

3.1.4. OS TALHÕES E OS REGIMES DE MANEJO

Para fins de simulação e efeito de processamento no sistema criado, os regimes foram dispostos em talhões e organizados sistematicamente de forma a facilitar os testes e simulações a serem realizadas, conforme TABELA 3.

Observa-se na estrutura dos dados mostrada anteriormente que o regime de manejo 1 está presente nos talhões de número 1, 11, 21, 31, 41, 51, ..., 141.

A distância de 10 km da indústria ocorre nos talhões de número 1 a 10, 51 a 60, 101 a 110.

Os talhões considerados como de sítio 1 são os de número 1 a 50 enquanto que os de sítio 2 são os de número 51 a 100.

3.1.5. FUNÇÕES DE FORMA E DE CRESCIMENTO

As funções de forma e de crescimento que geraram os sortimentos nos diversos desbastes simulados são as sugeridas pela EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária), inseridas no próprio sistema SISPINUS (1994). A função de crescimento utilizada refere-se ao modelo:

$$ht = S * EXP (b * [(1/I)^c - (1/15)^c])$$

onde:

ht = altura total

S = altura dominante aos 15 anos

I = idade

b, c = coeficientes da equação

TABELA 3. NÚMERO ATRIBUÍDO AO TALHÃO DE ACORDO COM A QUALIDADE DE SÍTIO, DISTÂNCIA E REGIME UTILIZADO NA SIMULAÇÃO.

Talhão	Sítio (i)	Distância - j		Regime (k)
1	1	10	1	1
2	1	10	1	2
3	1	10	1	3
4	1	10	1	4
5	1	10	1	5
6	1	10	1	6
7	1	10	1	7
8	1	10	1	8
9	1	10	1	9
10	1	10	1	10
11	1	30	2	1
12	1	30	2	2
13	1	30	2	3
.
20	1	30	2	10
21	1	50	3	1
22	1	50	3	2
23	1	50	3	3
.
31	1	70	4	1
32	1	70	4	2
33	1	70	4	3
.
41	1	90	5	1
42	1	90	5	2
43	1	90	5	3
.
51	2	10	1	1
52	2	10	1	2
53	2	10	1	3
.
61	2	30	2	1
62	2	30	2	2
63	2	30	2	3
.
101	3	10	1	1
102	3	10	1	2
103	3	10	1	3
.
111	3	30	2	1
112	3	30	2	2
113	3	30	2	3

sendo para *P. elliotii* $b = -5.2258$ e $c = 0.30$

e para *P. taeda* $b = -5.7404$ e $c = 0.36$

A função de Forma utilizada foi:

$$D_i = (D_{1,3}) \cdot (1.2096 X + 1.7761 X^2 - 4.6178 X^3 + 2.8225 X^4)$$

onde:

D_i = diâmetro qualquer

$D_{1,3}$ = Diâmetro à altura do peito (DAP em cm)

$X = h_i/h_t$ ou seja, relação entre uma altura qualquer e a altura total

Para determinar o volume total ou de uma certa parcela do tronco entre duas alturas consideradas, a função de forma é integrada entre os limites considerados h_2 (limite superior) e h_1 (limite inferior).

Os sortimentos originados no processamento pelo SISPINUS (1994), considerando a Função de Forma e as dimensões definidas conforme a TABELA 4, foram incluídos no cálculo das receitas e despesas para avaliação do resultado financeiro da rotação de um regime de desbaste.

3.1.6. DIMENSÕES DAS TORAS E PREÇOS DA MADEIRA

Os volumes dos sortimentos resultantes das simulações no SISPINUS (1994) foram obtidas considerando as seguintes dimensões de toras:

TABELA 4. SORTIMENTOS RESULTANTES SEGUNDO AS DIMENSÕES DA TORA.

Destino da tora	Comprimento	Diâmetro mínimo
Laminação	1,35 m	25,0 cm
Serraria	2,40 m	15,0 cm
Celulose	1,20 m	8,0 cm

Os valores médios utilizados como pagamento da madeira originada dos sortimentos constam da TABELA 5.

TABELA 5. PREÇOS MÉDIOS DA MADEIRA SEGUNDO DIFERENTES FINIS.

Finalidade	Preço (US\$/m ³)
Laminação	40,00
Serraria	17,81
Celulose	8,94
Energia	5,00

3.1.7. DISTÂNCIAS

Consultando as empresas de celulose e papel, as informações indicam que as distâncias dos povoamentos florestais até a indústria variam até 100 km. Para fins de simulação utilizou-se distâncias variando de 20 em 20 km, utilizando-se 5 distâncias diferentes que são 10, 30, 50, 70 e 90 km.

Para determinar a média mensal de distâncias percorridas, viável para a área de florestas, utilizou-se o cálculo da média das distâncias ponderadas pelas áreas, ou seja,

$$\bar{X} = \frac{\sum A_i \cdot D_i}{\sum A_i} \quad \text{Am}$$

onde: \bar{X} = Distância mensal admitida

A_i = Área do talhão i

D_i = Distância do talhão i

A_m = Área mensal a ser explorada

3.1.8. TAXA DE INTERESSE

Utilizou-se a taxa de interesse de 5%, 8% e 12% para fins de determinação do valor presente líquido dos regimes à data início da rotação, e apenas a taxa de 8% na determinação do valor presente líquidos dos sortimentos obtidos, indicada nos trabalhos de CABRAL (1990), como a mais apropriada.

3.1.9. CUSTOS ASSOCIADOS AOS REGIMES DE MANEJO

O custo dos diversos tratamentos culturais que ocorrem desde a implantação da floresta até o corte final foram aproveitados do trabalho de EMERENCIANO (1990), que criou uma planilha de custos com a distribuição por centro de custos. Estes custos foram atualizados de acordo com informações obtidas na empresa RIGESA, Celulose, Papel e Embalagens Ltda. e com dados da EPAGRI - Empresa de Pesquisa Agropecuária e Difusão de Tecnologia de Santa Catarina S.A., tendo ainda os custos de frete determinados por quilômetro para apreciação da influência da distância dos povoamentos, em vez de custo médio por metro cúbico daquele trabalho. Os valores considerados constam da TABELA 6.

TABELA 6: RELAÇÃO DOS CUSTOS UNITÁRIOS POR CENTRO DE CUSTOS

	Unidade	Valor (US\$)	Total (US\$/ha)
1. Infra-estrutura			
Aceiros internos	ha	3,19	
Aceiros externos	ha	3,22	
Estradas secundárias	ha	16,71	
Estradas de exploração	ha	22,29	
Serviços de topografia	ha	7,18	52,59
2. Preparo do terreno			
Desmatamento mecânico	ha	133,02	
Gradeação	ha	4,74	137,76
3. Plantio			
Manual/balizamento	ha	22,37	
Custo mudas (2000)	ha	62,83	
Combate à formiga	ha	10,83	
Replântio	ha	6,26	102,29
4. Manutenção Geral			
Floresta/coroamento	ha	18,99	
Roçada mecânica 2 vezes	ha	89,92	
Roçada manual 3 vezes	ha	69,73	
Roçada manual 2 vezes	ha	46,49	
Roçada manual 1 vez	ha	23,24	
Alargamento estradas secund.	ha	293,55	
Manutenção bueiros/sarjetas	km	6,59	
5. Proteção Florestal			
Guarda Florestal	hom./ano	2.280,00	
Combate a incêndios	ha	1,31	1,65
6. Exploração Florestal			
Exploração e empilhamento	m3	2,71	
Carregamento (mecânico)	m3	0,37	3,08
Transporte	km	1,40	
7. Supervisão			
1º ano	ha	16,14	
2º ano	ha	14,51	
3º ano	ha	13,06	
4º ano	ha	11,75	
5º ano	ha	5,89	
6º ano	ha	5,89	
7º ano	ha	5,89	
8º ano	ha	5,89	
9º ano	ha	16,14	95,16
8. Administração Geral			
Fotos aéreas (material)	ha/ano	41,44	
	ha/ano	0,02	41,46

3.2. MÉTODOS

O modelo matemático utilizado para processar os dados e definir os talhões para o corte é constituído de uma função que leva os valores resultantes da exploração de 1,0 ha de cada talhão e em seguida as restrições, que são apresentadas em forma de inequações, modelo próprio para processamento pelo algoritmo simplex, descrito anteriormente. A variável de decisão é o número de hectares do povoamento sujeito a um determinado regime de manejo num dado período de tempo.

O problema de programação linear resultante possui a seguinte estrutura:

a. FUNÇÃO OBJETIVO:

Dentre as muitas combinações de regimes de manejo que atendam as demandas estabelecidas, há que se escolher aquela que maximiza o valor presente líquido, expressa por:

$$Z = \sum_{ijkz=1}^{3,5,10,4} P_{ijkz} X_{ijk}$$

onde P_{ijkz} representa o valor presente líquido do sortimento z produzido em 1,0 ha.

X_{ijk} representa a área em hectares do talhão situado no sítio i e distância j

onde foi utilizado o regime k .

Na simulação realizada os índices i , j , k e z assumem os seguintes valores:

para $i = 1, 2, 3$ (sítios)

$j = 1, 2, 3, 4, 5$ (distâncias: 10, 30, 50, 70, 90 km)

$k = 1, 2, \dots, 10$ (regimes de manejo)

$z = 1, 2, 3, 4$ (sortimentos: laminado, serraria, celulose, energia)

b. RESTRIÇÕES:

b.1. Restrições de Demanda:

Para cada sortimento z tem-se uma inequação:

$$\text{Laminado: } \sum_{ijk=1}^{3,5,10} V_{ijk1} X_{ijk} \geq D1$$

$$\text{Serraria: } \sum_{ijk=1}^{3,5,10} V_{ijk2} X_{ijk} \geq D2$$

$$\text{Celulose: } \sum_{ijk=1}^{3,5,10} V_{ijk3} X_{ijk} \geq D3$$

$$\text{Energia: } \sum_{ijk=1}^{3,5,10} V_{ijk4} X_{ijk} \geq D4$$

onde V_{ijkz} representa o volume por hectare do sortimento z obtido do regime k que está à distância j e no sítio i , associado à restrição de demanda Dz .

b.2. Restrições de área:

Para cada área ijk (sítio i , distância j e regime k), tem-se uma inequação sendo, para efeito de simulação, utilizada a área de 5,0 ha ou seja,

$$X_{ijk} \leq 5$$

b.3. Restrição de Distância máxima percorrida:

A soma das distâncias percorridas para transportar os sortimentos até a indústria, resultante de todas as áreas apontadas para o corte, deve limitar-se a um valor máximo (KT) estipulado ou seja,

$$\sum_{ijk=1}^{3,5,10,4} d_{ijkz} X_{ijk} \leq KT$$

onde d_{ijkz} representa a distância a percorrer para retirar os sortimentos z do regime k à distância j no sítio i .

b.4. Restrição de área total cortada:

A soma das áreas cortadas deve limitar-se a uma área total (AT) máxima estipulada:

$$\sum_{ijk=1}^{3,5,10} X_{ijk} \leq AT$$

Como não ocorre a variação do tempo, o modelo apresenta limitações quanto a sua utilização no planejamento do programa de cortes. Para torná-lo um instrumento de planejamento mais eficiente torna-se necessário incluir mais um índice, relativo ao tempo, além dos índices de sítio, distância, regimes de manejo e sortimentos já presentes no modelo.

No caso presente pretendeu-se maximizar o Valor Presente Líquido, satisfeitas determinadas demandas e observado um limite de distâncias totais percorridas para transporte da madeira, representadas no modelo pelas distâncias dos povoamentos à indústria.

Ainda que tivéssemos como proposta a regularização das distâncias mensais percorridas e, como meio de regularizar as despesas com exploração, procurássemos a regularização das áreas exploradas, estes objetivos devem ser aceitos como restrições uma vez que o objetivo maior presente no modelo é o de maximizar a renda ou o resultado financeiro. Portanto, o modelo toma o formato de múltiplos objetivos descrito por BUONGIORNO & GILLESS (1987).

Considerando como fixa a densidade do povoamento, o uso da programação linear, neste caso, visou testar a viabilidade técnica e econômica de explorar povoamentos situados em determinado sítio e em certo local, a distâncias da indústria conhecidas.

Os indicadores econômicos quais sejam, o Valor Presente Líquido e o Valor Uniforme Líquido, também ofereceram uma alternativa de resposta a respeito dos resultados obtidos no processamento dos dados através do modelo de programação linear.

Para processamento rápido dos resultado foi utilizada a planilha eletrônica SUPERCALC 3, obtendo o valor presente líquido e o valor uniforme líquido para cada talhão que, para efeito do presente trabalho, tem definido um determinado sítio, uma certa distância e no qual foi utilizado um determinado regime de desbaste.

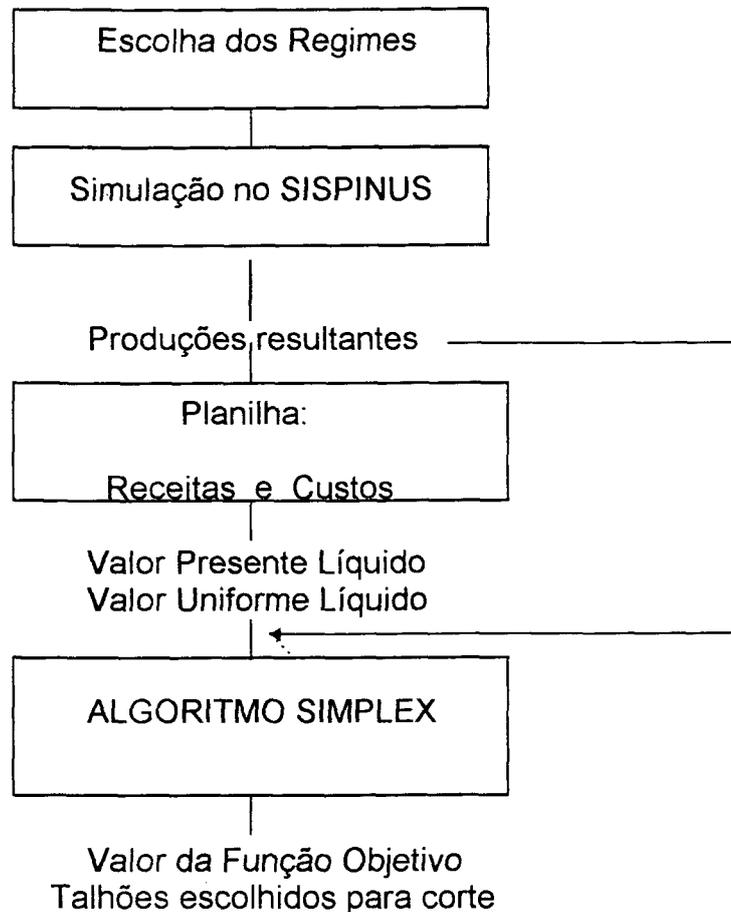
O valor presente líquido da intervenção (desbaste ou corte final) assim obtidos foram utilizados na Função Objetivo da rotina do algoritmo simplex de programação linear. Este valor serviu para escolher os talhões que tornam máxima a soma montante dos valores presentes de todos os talhões escolhidos para o corte.

A limitação de distâncias percorridas pelos caminhões, para transporte da madeira à indústria, foi incluída no processamento como uma restrição.

Para processar as informações através do método simplex de programação linear foi utilizado um sistema em linguagem Basic compilado, chamado SIMULA, que permitiu, com maior velocidade, fazer a busca automática dos talhões que apresentam produções.

A obtenção dos dados e o processamento dos mesmos pode ser visto como apresentado no fluxograma a seguir.

FIGURA 4: FLUXOGRAMA DO PROCESSAMENTO DOS DADOS



3.2.1. MONTAGEM DA MATRIZ FINAL

Como se observa na matriz para processamento apresentada a seguir, a primeira equação é a Função Objetivo que é constituída das variáveis indicativas dos talhões associados ao seu respectivo valor presente líquido obtido à taxa de 8%. O coeficiente de X_{111} (Talhão 1) na função objetivo é o valor presente líquido

do corte final do talhão localizado no sítio 1, com regime de desbaste 1, num talhão localizado a 10 km distância da indústria. O coeficiente de X_{121} (talhão 11) é o valor presente líquido do corte final do talhão localizado no sítio 1, com regime de desbaste 1, num talhão localizado a 30 km. Da mesma forma, o coeficiente de X_{123} é o valor presente líquido do corte final do talhão localizado no sítio 1, com regime de desbaste 3 localizado a 30 km de distância da indústria.

Na matriz observam-se valores 0 e 1 que indicam a presença (1) ou ausência (0) do talhão no modelo. No caso de haver área para corte, no lado direito da inequação (RHS) aparece a área disponível do talhão. Deve-se ressaltar que a grande dimensão da matriz resultante deve-se exatamente à descrição dos talhões com possibilidade de corte onde cada talhão participa com uma linha na matriz resultante.

Os valores da distância percorrida para retirada dos produtos por hectare obtém-se somando os volumes dos sortimentos obtidos no regime, dividindo o valor obtido pela capacidade do caminhão (considerado com 40 m^3) e multiplicando por 2 (caminho de ida e volta do caminhão). Esta restrição apresenta na matriz a distância máxima indicada por 20.000 km no lado direito da inequação.

As linhas seguintes apresentam os volumes dos sortimentos obtidos nos diversos regimes que somados devem atender a uma demanda mínima e não ultrapassar a uma demanda máxima, apresentadas em linhas separadas. Na primeira e segunda linhas deste bloco aparecem os volumes de laminado obtidos dos diferentes regimes. Na terceira e quarta linhas aparecem os volumes de madeira para serraria e assim por diante. No lado direito da inequação aparecem as

MATRIZ DE PROCESSAMENTO COMPLETA, UTILIZADA NA SIMULAÇÃO.

Variável	X ₁₁₁		X ₁₁₃		X ₁₁₄		X ₁₁₈		X ₁₂₁		X ₁₂₃		X ₁₂₄		X ₁₂₈		X ₁₃₁		.....	X ₃₅₄		X ₃₅₈		RHS	
F.Objetivo	P ₁₁₁	X ₁₁₁	P ₁₁₃	X ₁₁₃	P ₁₁₄	X ₁₁₄	P ₁₁₈	X ₁₁₈	P ₁₂₁	X ₁₂₁	P ₁₂₃	X ₁₂₃	P ₁₂₄	X ₁₂₄	P ₁₂₈	X ₁₂₈	P ₁₃₁	X ₁₃₁	.....	P ₃₅₄	X ₃₅₄	P ₃₅₈	X ₃₅₈		
	1		0		0		0		0		0		0		0		0		0	.....	0		0		≤ 5
	0	1			0		0		0		0		0		0		0		0	.....	0		0		≤ 5
	0	0			1		0		0		0		0		0		0		0	.....	0		0		≤ 5
	0	0			0		1		0		0		0		0		0		0	.....	0		0		≤ 5
	0	0			0		0		1		0		0		0		0		0	.....	0		0		≤ 5
	0	0			0		0		0		1		0		0		0		0	.....	0		0		≤ 5
	0	0			0		0		0		0		1		0		0		0	.....	0		0		≤ 5
	0	0			0		0		0		0		0		1		0		0	.....	0		0		≤ 5
	0	0			0		0		0		0		0		0		1		0	.....	0		0		≤ 5

	0	0			0		0		0		0		0		0		0		0	.....	1		0		≤ 5
	0	0			0		0		0		0		0		0		0		0	.....	0		1		≤ 5
Distâncias	d ₁₁₁		d ₁₁₃		d ₁₁₄		d ₁₁₈		d ₁₂₁		d ₁₂₃		d ₁₂₄		d ₁₂₈		d ₁₃₁		.....	d ₃₅₄		d ₃₅₈		≤ 20000	
Laminado	V ₁₁₁₁		V ₁₁₂₁		V ₁₁₄₁		V ₁₁₈₁		V ₁₂₁₁		V ₁₂₃₁		V ₁₂₄₁		V ₁₂₈₁		V ₁₃₁₁		.....	V ₃₅₄₁		V ₃₅₈₁		≥ D1	
Laminado	V ₁₁₁₁		V ₁₁₂₁		V ₁₁₄₁		V ₁₁₈₁		V ₁₂₁₁		V ₁₂₃₁		V ₁₂₄₁		V ₁₂₈₁		V ₁₃₁₁		.....	V ₃₅₄₁		V ₃₅₈₁		≤ D1+5%	
Serraria	V ₁₁₁₂		V ₁₁₂₂		V ₁₁₄₂		V ₁₁₈₂		V ₁₂₁₂		V ₁₂₃₂		V ₁₂₄₂		V ₁₂₈₂		V ₁₃₁₂		.....	V ₃₅₄₂		V ₃₅₈₂		≥ D2	
Serraria	V ₁₁₁₂		V ₁₁₂₂		V ₁₁₄₂		V ₁₁₈₂		V ₁₂₁₂		V ₁₂₃₂		V ₁₂₄₂		V ₁₂₈₂		V ₁₃₁₂		.....	V ₃₅₄₂		V ₃₅₈₂		≤ D2+5%	
Celulose	V ₁₁₁₃		V ₁₁₂₃		V ₁₁₄₃		V ₁₁₈₃		V ₁₂₁₃		V ₁₂₃₃		V ₁₂₄₃		V ₁₂₈₃		V ₁₃₁₃		.....	V ₃₅₄₃		V ₃₅₈₃		≥ D3	
Celulose	V ₁₁₁₃		V ₁₁₂₃		V ₁₁₄₃		V ₁₁₈₃		V ₁₂₁₃		V ₁₂₃₃		V ₁₂₄₃		V ₁₂₈₃		V ₁₃₁₃		.....	V ₃₅₄₃		V ₃₅₈₃		≤ D3+5%	
Energia	V ₁₁₁₄		V ₁₁₂₄		V ₁₁₄₄		V ₁₁₈₄		V ₁₂₁₄		V ₁₂₃₄		V ₁₂₄₄		V ₁₂₈₄		V ₁₃₁₄		.....	V ₃₅₄₄		V ₃₅₈₄		≥ D4	
Energia	V ₁₁₁₄		V ₁₁₂₄		V ₁₁₄₄		V ₁₁₈₄		V ₁₂₁₄		V ₁₂₃₄		V ₁₂₄₄		V ₁₂₈₄		V ₁₃₁₄		.....	V ₃₅₄₄		V ₃₅₈₄		≤ D4+5%	
Área	1		1		1		1		1		1		1		1		1		.....	1		1		≤ AT	

demandas mínimas e máximas, neste caso 5% acima da demanda mínima, adotado arbitrariamente como limite. Da mesma forma como a primeira e segunda linha do bloco apresenta no lado direito da inequação as demandas mínima e máxima de madeira para laminado, os valores mínimos e máximos de demanda de madeira para serraria, celulose e energia foram incluídos nas linhas seguintes.

Optou-se por testar os regimes 1, 3, 4 e 8 identificados entre os regimes utilizados como os de maior Valor Presente Líquido, entre os regimes sem desbaste, com um desbaste, com dois desbastes e com três desbastes respectivamente, em suas diferentes situações de sítios e distâncias. Conforme TABELA 3, os talhões que receberam estes regimes são 1, 3, 4, 8, 11, 13, 14, 18, 21, 23, 24, 28, ..., 141, 143, 144 e 148.

Optou-se também em simular o aproveitamento dos regimes em seu corte final ainda que áreas em condições de desbaste possam ser incluídas. A inclusão dos volumes vindos de desbastes é perfeitamente administrado pelo modelo mas, no caso presente, não serviria para estabelecer qualquer termo de comparação que permitisse visualizar alguma tendência.

3.2.2. OPERACIONALIZAÇÃO DO ALGORITMO

No presente estudo, onde áreas de mesma dimensão foram definidas e os regimes dispostos sistematicamente numa malha de talhões com distâncias igualmente regulares e apropriadas à análise, as tendências ficam evidentes e alguns aspectos devem ser considerados:

a) quando a função objetivo visa maximizar o valor presente líquido, a opção por áreas que têm maior produção de madeira de melhor qualidade será

prioritária em vez de optar por áreas de baixa qualidade de madeira. Em consequência, áreas situadas em sítios superiores serão os primeiros a serem indicados para o corte;

b) se limitarmos a distância total percorrida para transportar a madeira, a escolha de talhões próximos acontecerá afim de obter o maior volume com a mesma distância total percorrida.

4. RESULTADOS OBTIDOS

4.1. RESULTADOS PRELIMINARES

4.1.1. VOLUMES DOS SORTIMENTOS OBTIDOS (TABELAS 13, 14, 15, EM ANEXO) PARA MONTAGEM DA MATRIZ

Como foi descrito em 3.2., os volumes V_{ijkz} que compõem a matriz de processamento, referente às demandas de laminado, serraria, celulose e energia são os volumes dos sortimentos obtidos da simulação dos regimes de manejo no Sistema SISPINUS, relatados nas TABELAS 13, 14, 15.

Assim, os valores $271,6\text{m}^3$, $517,3\text{m}^3$, $491,9\text{m}^3$ e $420,6\text{m}^3$ aparecem respectivamente como coeficientes das variáveis X_{111} , X_{113} , X_{114} e X_{118} por serem os volumes de madeira para laminado obtidos dos regimes 1, 3, 4 e 8 no sítio 1. Os mesmos volumes aparecem como coeficientes das variáveis X_{121} , X_{123} , X_{124} e X_{128} onde varia a distância e não o regime e sítio.

4.1.2. VALOR PRESENTE LÍQUIDO (VPL) DOS SORTIMENTOS

A cada volume dos sortimentos obtidos pode ser apropriado um custo e assim pode ser calculado o VPL dos sortimentos. Para o cálculo do VPL dos sortimentos, entende-se que um custo qualquer aplica-se a todo o volume que está por ser colhido.

Os valores do VPL foram calculados para todos os 10 regimes, nos 3 sítios considerados e para as 5 distâncias consideradas, para os respectivos sortimentos, para a intervenção e para o regime de manejo, conforme as TABELAS 16, 17 e 18, em anexo.

Estes valores aparecem na primeira linha da matriz da TABELA 7 como coeficientes da Função Objetivo. Assim, os valores US\$ 3.425,04, US\$ 3.705,53, US\$ 3.414,20 e US\$ 2.767,45 são os VPL do corte final dos regimes 1, 3, 4 e 8 respectivamente, à 10 km de distância e no sítio 1 (TABELA 16).

4.1.3. VALOR PRESENTE LÍQUIDO E VALOR UNIFORME LÍQUIDO (VUL) DE ACORDO COM OS REGIMES DE MANEJO E A LOCALIZAÇÃO DOS TALHÕES

O VPL dos regimes foi calculado à taxas de 5%, 8% e 12% e constam das TABELAS 19, 20, ..., 27. O VUL é igualmente informado. Ambos os valores servem como orientação para indicar os melhores regimes entre os analisados.

O VPL, sendo obtido em função das receitas e dos custos, entre eles o custo do transporte a diferentes distâncias onde se encontra um mesmo regime e um sítio igual, resulta em valores diferentes para as distâncias consideradas. Também varia de acordo com a taxa de interesse aplicada, diferença que é observada entre um regime 1 situado a 10 km de distância em sítio 1 e à taxa de 5% (US\$ 5.931,28) e um regime 1 situado a 10 km de distância em sítio 1 à taxa de 8% (US\$ 3.425,04).

4. 2. PRIMEIRO PLANO DE SIMULAÇÃO: Sem limitação de Demanda máxima.

Com o objetivo de verificar quais são os talhões apontados sob demanda mínima e com distância máxima a percorrer admitida constante de 20.000 km,

TABELA 7: MATRIZ DE PROCESSAMENTO COMPLETA, UTILIZADA NA SIMULAÇÃO.

Variável	X ₁₁₁	X ₁₁₃	X ₁₁₄	X ₁₁₈	X ₁₂₁	X ₁₂₃	X ₁₂₄	X ₁₂₈	X ₁₃₁	.....	X ₃₅₄	X ₃₅₈	RHS
F.Objetivo	3425,04	3705,53	3414,20	2767,45	3086,73	3444,69	3184,51	2594,02	2748,41	.....	-96,05	-54,33	
	1	0	0	0	0	0	0	0	0	.....	0	0	≤ 5
	0	1	0	0	0	0	0	0	0	.....	0	0	≤ 5
	0	0	1	0	0	0	0	0	0	.....	0	0	≤ 5
	0	0	0	1	0	0	0	0	0	.....	0	0	≤ 5
	0	0	0	0	1	0	0	0	0	.....	0	0	≤ 5
	0	0	0	0	0	1	0	0	0	.....	0	0	≤ 5
	0	0	0	0	0	0	1	0	0	.....	0	0	≤ 5
	0	0	0	0	0	0	0	1	0	.....	0	0	≤ 5
	0	0	0	0	0	0	0	0	1	.....	0	0	≤ 5

	0	0	0	0	0	0	0	0	0	.....	1	0	≤ 5
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	.....	0	1	≤ 5
Distâncias	414,60	434,00	382,00	289,00	1243,60	1302,00	1146,00	867,00	2072,60	.....	1152,60	1093,60	≤ 20000
Laminado	271,6	517,3	491,9	420,6	271,6	517,3	491,9	420,6	271,6	.....	109,9	99,2	≥ 3500
Laminado	271,6	517,3	491,9	420,6	271,6	517,3	491,9	420,6	271,6	.....	109,9	99,2	≤ 3675
Serraria	384,8	273,2	217,3	121,4	384,8	273,2	217,3	121,4	384,8	.....	177,9	111,1	≥ 3000
Serraria	384,8	273,2	217,3	121,4	384,8	273,2	217,3	121,4	384,8	.....	177,9	111,1	≤ 3150
Celulose	150,6	67,9	47,2	30,7	150,6	67,9	47,2	30,7	150,6	.....	48,9	29,3	≥ 1000
Celulose	150,6	67,9	47,2	30,7	150,6	67,9	47,2	30,7	150,6	.....	48,9	29,3	≤ 1050
Energia	20,9	10,0	8,3	4,7	20,9	10,0	8,3	4,7	20,9	.....	7,8	4,4	≥ 150
Energia	20,9	10,0	8,3	4,7	20,9	10,0	8,3	4,7	20,9	.....	7,8	4,4	≤ 157,5
Área	1	1	1	1	1	1	1	1	1	.....	1	1	≤ 13,00

submeteu-se a estrutura de dados composta como visto na TABELA 3, eliminando-se, nas simulações posteriores, os talhões apontados como se tivessem sido cortados a cada simulação ocorrida.

Considerando uma distância máxima admitida de 20.000 km e uma demanda mínima de madeira para laminado (3.500 m³), serraria (3.000 m³), celulose (1.000 m³) e energia (150 m³), obteve-se os seguintes resultados:

TABELA 8a: Simulação 1: 20.000 km

Talhão	Área (ha)	Volume (m ³)				Sítio 1	Sítio 2	Sítio 3	Total
		Lam.	Ser.	Cel.	En.				
1	5,00	1.360	1.925	755	105	4.145			
3	5,00	2.585	1.365	340	50	4.340			
4	5,00	2.460	1.085	235	40	3.820			
8	5,00	2.105	605	155	25	2.890			
14	2,30	1.132	499	108	18	1.757			
18	5,00	2.105	605	155	25	2.890			
51	5,00	615	1.525	730	110		2.980		
53	5,00	1.425	1.325	350	50		3.150		
54	5,00	1.365	1.080	250	40		2.735		
58	5,00	1.220	605	150	25		2.000		
Total	47,30	16.372	10.619	3.228	488	19.842	10.865		30.707

Função Objetivo: US\$ 119.331,80

TABELA 8b: Simulação 2: 40.000 km

Talhão	Área (ha)	Volume (m ³)				Sítio 1	Sítio 2	Sítio 3	Total
		Lam.	Ser.	Cel.	En.				
11	5,00	1.360	1.925	755	105	4.145			
13	5,00	2.585	1.365	340	50	4.340			
14	2,70	1.328	586	127	22	2.063			
64	0,69	188	149	35	6		378		
68	5,00	1.220	605	150	25		2.000		
108	5,00	495	555	145	20			1.215	
Total	23,39	7.176	5.185	1.552	228	10.548	2.378	1.215	14.141

Função Objetivo: US\$ 49.894,31

TABELA 8c: Simulação 3: 60.000 km

Talhão	Área (ha)	Volume (m ³)				Sitio 1	Sítio 2	Sítio 3	Total
		Lam.	Ser.	Cel.	En.				
24	1,38	679	299	65	11	1.054			
28	5,00	2.105	605	155	25	2.890			
63	5,00	1.425	1.325	350	50		3.150		
64	4,31	1.178	931	216	34		2.359		
103	5,00	570	1.055	355	55			2.015	
104	5,00	550	890	245	40			1.725	
Total	25,69	6.507	5.105	1.366	215	3.944	5.509	3.740	13.193

Função Objetivo: US\$ 34.666,73

TABELA 8d: Simulação 4: 80.000 km

Talhão	Área (ha)	Volume (m ³)				Sitio 1	Sítio 2	Sítio 3	Total
		Lam.	Ser.	Cel.	En.				
23	4,56	2.358	1.245	310	46	3.959			
24	3,62	1.781	786	170	29	2.766			
61	3,56	438	1.086	520	78		2.122		
Total	11,74	4.577	3.117	1.000	153	6.725	2.122		8.847

Função Objetivo: US\$ 29.773,68

TABELA 8e: Simulação 5: 100.000 km

Talhão	Área (ha)	Volume (m ³)				Sitio 1	Sítio 2	Sítio 3	Total
		Lam.	Ser.	Cel.	En.				
21	4,89	1.330	1.883	738	103	4.054			
23	0,44	227	120	30	4	381			
38	1,29	543	156	40	6	745			
61	1,44	177	439	210	32		858		
78	5,00	1.220	605	150	25		2.000		
Total	13,06	3.497	3.203	1.168	170	5.180	2.858		8.038

Função Objetivo: US\$ 25.352,51

TABELA 8f: Simulação 6: 120.000 km

Talhão	Área (ha)	Volume (m ³)				Sitio 1	Sitio 2	Sitio 3	Total
		Lam.	Ser.	Cel.	En.				
21	0,11	30	42	17	2	91			
34	1,16	571	252	55	9	887			
38	3,71	1.562	449	115	19	2.145			
73	0,87	248	231	61	9		549		
74	5,00	1.365	1.080	250	40		2.735		
101	5,00	155	945	675	110			1.885	
Total	15,85	3.931	2.999	1.173	189	3.123	3.284	1.885	8.292

Função Objetivo: US\$ 20.317,35

TABELA 8g: Simulação 7: 140.000 km

Talhão	Área (ha)	Volume (m ³)				Sitio 1	Sitio 2	Sitio 3	Total
		Lam.	Ser.	Cel.	En.				
34	3,28	1.614	712	1564	26	2.506			
71	1,34	165	409	196	29		799		
73	4,13	1.177	1.094	289	41		2.601		
111	1,60	50	302	216	35			603	
118	5,00	495	555	145	20			1.215	
Total	15,35	3.501	3.072	1.000	151	2.506	3.400	1.818	7.724

Função Objetivo: US\$ 17.168,11

TABELA 8h: Simulação 8: 160.000 km

Talhão	Área (ha)	Volume (m ³)				Sitio 1	Sitio 2	Sitio 3	Total
		Lam.	Ser.	Cel.	En.				
33	4,14	2.140	1.130	282	41	3.593			
34	0,36	177	78	17	3	275			
71	3,39	48	119	57	9		233		
111	0,48	15	91	65	11			182	
113	5,00	570	1.055	335	55			2.015	
114	5,00	550	890	245	40			1.725	
Total	15,37	3.500	3.363	1.001	159	3.865	233	3.922	8.020

Função Objetivo: US\$ 15.735,00

Simulação 9: 180.000 km - Solução não encontrada por ser impossível satisfazer as demandas.

4.3. SEGUNDO PLANO DE SIMULAÇÃO - Com limitação de demanda máxima, sem limitação de área.

A demanda por produtos pode ter também um volume máximo aceitável, condição esta que se propôs nas simulações a seguir. Neste caso as áreas apontadas foram excluídas como que fossem aproveitadas para o corte e manteve-se uma distância média constante e demandas mínimas e máximas dos produtos. A demanda máxima adotada foi de 5% acima da demanda mínima.

Considerando uma distância máxima admitida de 20.000 km e demandas mínima e máxima de madeira para laminado (3.500 e 3.675 m³), serraria (3.000 e 3.150 m³), celulose (1.000 e 1.050 m³) e energia (150 e 157,5 m³), obteve-se os seguintes resultados:

TABELA 9a: Simulação 1: 20.000 km

Talhão	Área (ha)	Volume (m ³)				Sitio 1	Sítio 2	Sítio 3	Total
		Lam.	Ser.	Cel.	En.				
1	5,00	1.360	1.925	755	105	4.145			
4	4,38	2.155	950	206	35	3.346			
11	0,59	160	227	89	12	488			
Total	9,97	3.675	3.102	1.050	152	7.979			7.979

Função Objetivo: US\$ 33.898,39

TABELA 9b: Simulação 2: 40.000 km

Talhão	Área (ha)	Volume (m ³)				Sitio 1	Sítio 2	Sítio 3	Total
		Lam.	Ser.	Cel.	En.				
3	4,06	2.099	1.108	276	41	3.524			
4	0,62	305	135	29	5	474			
11	4,41	1.200	1.698	666	93	3.657			
21	0,03	8	12	5	1	26			
51	0,51	63	156	74	11		304		
Total	9,63	3.675	3.109	1.050	151	7.681	304		7985

Função Objetivo: US\$ 31.635,02

TABELA 9c: Simulação 3: 60.000 km

Talhão	Área (ha)	Volume (m ³)				Sítio 1	Sítio 2	Sítio 3	Total
		Lam.	Ser.	Cel.	En.				
3	0,94	486	257	64	9	816			
8	2,40	1.010	290	74	12	1.386			
13	0,13	67	35	9	1	112			
14	1,19	585	258	56	10	909			
21	4,97	1.352	1.913	750	104	4.119			
31	0,64	174	246	97	13	530			
Total	10,27	3.674	2.999	1.050	149	7.872			7.872

Função Objetivo: US\$ 29.563,88

TABELA 9d: Simulação 4: 80.000 km

Talhão	Área (ha)	Volume (m ³)				Sítio 1	Sítio 2	Sítio 3	Total
		Lam.	Ser.	Cel.	En.				
8	1,99	838	241	62	10	1.151			
13	2,99	1.546	816	203	30	2.595			
31	4,36	1.186	1.679	658	92	3.615			
51	0,87	107	265	127	19		518		
Total	10,21	3.677	3.001	1.050	151	7.361	518		7.879

Função Objetivo: US\$ 27.626,58

TABELA 9e: Simulação 5: 100.000 km

Talhão	Área (ha)	Volume (m ³)				Sítio 1	Sítio 2	Sítio 3	Total
		Lam.	Ser.	Cel.	En.				
8	0,61	257	74	19	3	353			
13	1,88	972	513	128	19	1.632			
14	2,83	1.392	614	133	23	2.162			
51	3,62	445	1.104	529	80		2.158		
53	1,83	522	485	128	18		1.153		
61	0,68	84	207	99	15		405		
Total	11,45	3.672	2.997	1.036	158	4.147	3.716		7.863

Função Objetivo: US\$ 26.997,57

TABELA 9f: Simulação 6: 120.000 km

Talhão	Área (ha)	Volume (m ³)				Sitio 1	Sítio 2	Sítio 3	Total
		Lam.	Ser.	Cel.	En.				
14	0,98	482	213	46	8	749			
18	3,52	1.482	426	109	18	2.035			
41	0,74	201	285	112	16	614			
53	3,17	903	840	222	32		1.997		
54	0,57	156	123	29	5		313		
61	3,64	448	1.110	531	80		2.169		
Total	12,62	3.672	2.997	1.049	159	3.398	4.479		7.877

Função Objetivo: US\$ 25.357,72

TABELA 9g: Simulação 7: 140.000 km

Talhão	Área (ha)	Volume (m ³)				Sitio 1	Sítio 2	Sítio 3	Total
		Lam.	Ser.	Cel.	En.				
18	1,48	623	179	46	7	855			
23	1,60	827	427	109	16	1.389			
41	3,56	968	1.371	538	75	2.952			
54	4,23	1.155	914	212	34		2.315		
61	0,68	84	207	99	15		405		
71	0,14	17	43	20	3		83		
Total	11,69	3.674	3.151	1.024	150	5.196	2.803		7.999

Função Objetivo: US\$ 24.543,56

TABELA 9h: Simulação 8: 160.000 km

Talhão	Área (ha)	Volume (m ³)				Sitio 1	Sítio 2	Sítio 3	Total
		Lam.	Ser.	Cel.	En.				
23	3,40	1.758	928	231	34	2.951			
24	1,98	974	430	93	16	1.513			
41	0,70	190	270	106	15	581			
54	0,20	55	43	10	2		110		
58	0,59	144	71	18	3		236		
63	0,25	71	66	18	3		158		
71	3,90	480	1.190	569	86		2.325		
Total	11,02	3.672	2.998	1.045	159	5.045	2.829		7.874

Função Objetivo: US\$ 23.761,86

TABELA 9i: Simulação 9: 180.000 km

Talhão	Área (ha)	Volume (m ³)				Sítio 1	Sítio 2	Sítio 3	Total
		Lam.	Ser.	Cel.	En.				
24	3,02	1.486	655	142	24	2.307			
28	0,91	383	110	28	5	526			
63	4,74	1.351	1.256	332	47		2.986		
71	0,96	118	293	140	21		572		
81	2,74	337	836	400	60		1.633		
Total	12,37	3.675	3.150	1.042	157	2.833	5.191	8.024	

Função Objetivo: US\$ 22.253,12

TABELA 9j: Simulação 10: 200.000 km

Talhão	Área (ha)	Volume (m ³)				Sítio 1	Sítio 2	Sítio 3	Total
		Lam.	Ser.	Cel.	En.				
28	0,32	135	39	10	2	186			
33	1,51	781	412	103	15	1.311			
58	4,41	1.706	534	132	22		1.764		
63	0,01	3	3	1	0		7		
64	5,00	1.365	1.080	250	40		2.735		
81	2,26	278	689	330	50		1.347		
101	1,29	40	244	174	28			486	
Total	14,80	3.678	3.001	1.000	157	1.497	5.853	486	7.836

Função Objetivo: US\$ 20.934,55

TABELA 9l: Simulação 11: 220.000 km

Talhão	Área (ha)	Volume (m ³)				Sítio 1	Sítio 2	Sítio 3	Total
		Lam.	Ser.	Cel.	En.				
28	0,87	366	105	27	4	502			
33	3,36	1.737	917	228	34	2.916			
73	5,00	1.425	1.325	350	50		3.150		
101	2,93	91	554	396	64			1.105	
103	0,46	52	97	31	5			185	
Total	12,62	3.671	2.998	1.032	157	3.418	3.150	1.290	7.858

Função Objetivo: US\$ 19.761,08

TABELA 9m: Simulação 12: 240.000 km

Talhão	Área (ha)	Volume (m ³)				Sítio 1	Sítio 2	Sítio 3	Total
		Lam.	Ser.	Cel.	En.				
28	2,90	1.221	351	90	15	1.677			
33	0,13	67	35	9	1	112			
68	2,45	598	296	74	12		980		
74	4,41	1.204	953	221	35		2.413		
91	2,76	339	842	403	61		1.645		
101	0,51	16	96	69	11			192	
103	2,02	230	426	135	22			813	
Total	15,18	3.675	2.999	1.001	157	1.789	5.038	1.005	7.832

Função Objetivo: US\$ 18.876,71

TABELA 9n: Simulação 13: 260.000 km

Talhão	Área (ha)	Volume (m ³)				Sítio 1	Sítio 2	Sítio 3	Total
		Lam.	Ser.	Cel.	En.				
34	2,80	1.378	608	132	22	2.140			
38	1,29	543	156	40	6	745			
68	2,55	622	309	77	13		1.021		
74	0,59	161	127	30	5		323		
83	0,11	31	29	8	1		69		
91	2,24	275	683	327	49		1.334		
101	0,27	8	51	36	6			101	
103	2,52	287	532	169	28			1.016	
108	3,55	351	394	103	14			862	
111	0,59	18	112	80	13			223	
Total	16,51	3.674	3.001	1.002	157	2.885	2.747	2.202	7.834

Função Objetivo da Simulação 13: US\$ 17.685,54

TABELA 9o: Simulação 14: 280.000 km

Talhão	Área (ha)	Volume (m ³)				Sítio 1	Sítio 2	Sítio 3	Total
		Lam.	Ser.	Cel.	En.				
34	1,46	718	317	69	12	1.116			
38	3,05	1.284	369	95	15	1.763			
83	3,42	975	906	239	34		2.154		
104	4,28	471	762	210	34			1.477	
108	1,45	144	161	42	6			353	
111	2,56	79	484	346	56			965	
Total	16,22	3.671	2.999	1.001	157	2.879	2.154	2.795	7.728

Função Objetivo: US\$ 16.786,53

TABELA 9p: Simulação 15: 300.000 km

Talhão	Área (ha)	Volume (m ³)				Sítio 1	Sítio 2	Sítio 3	Total
		Lam.	Ser.	Cel.	En.				
34	0,74	364	161	35	6	566			
38	0,66	278	80	20	3	381			
43	0,97	501	265	66	10	842			
78	5,00	1.220	605	150	25		2.000		
83	1,47	419	390	103	15		927		
104	0,72	79	128	35	6			248	
111	1,85	57	350	250	41			698	
113	2,56	292	540	172	28			1.032	
118	4,59	454	509	133	18			1.114	
121	0,27	8	51	36	6			101	
Total	18,83	3.672	3.079	1.000	158	1.789	2.927	3.193	7.909

Função Objetivo: US\$ 15.144,53

4.4. TERCEIRO PLANO DE SIMULAÇÃO - Com limitação de demanda distribuída por sítio e com limitação de área .

A demanda por produtos pode ter também um volume exigido de cada um dos sítios florestais e uma limitação de área cortada, condições que foram propostas nas simulações a seguir. Neste caso as áreas apontadas foram excluídas como que fossem aproveitadas para o corte e manteve-se uma distância média constante e demandas mínimas e máximas dos sortimentos. A demanda máxima adotada foi de 5% acima da demanda mínima.

Considerando uma distância máxima admitida de 20.000 km, área total de 13 ha e demandas mínima e máxima de madeira para laminado (3.500 e 3.675 m³), serraria (3.000 e 3.150 m³), celulose (1.000 e 1.050 m³) e energia (150 e 157,5 m³), exigidos por sítio em volumes proporcionais ao total disponível nos respectivos sítios, obteve-se os seguintes resultados:

TABELA 10a: Simulação 1: 20.000 km

Talhão	Área (ha)	Volume (m ³)				Sítio 1	Sítio 2	Sítio 3	Total
		Lam.	Ser.	Cel.	En.				
1	0,75	204	289	113	16	622			
3	3,07	1.587	838	209	31	2.665			
8	0,57	240	69	18	3	330			
51	0,87	107	265	127	19		518		
53	2,86	815	758	200	29		1.802		
58	0,67	163	81	20	3		267		
101	0,68	21	129	92	15			257	
103	3,30	376	696	221	36			1.329	
108	0,22	22	24	6	1			53	
Total	12,99	3.535	3.149	1.006	153	3.617	2.587	1.639	7.843

Função Objetivo: US\$ 24.446,53

TABELA 10b: Simulação 2: 40.000 km

Talhão	Área (ha)	Volume (m ³)				Sítio 1	Sítio 2	Sítio 3	Total
		Lam.	Ser.	Cel.	En.				
1	0,89	242	343	134	19	738			
3	1,93	998	527	131	19	1.675			
4	1,06	522	230	50	8	810			
8	0,26	109	31	8	1	149			
13	0,24	124	66	16	2	208			
51	0,89	109	271	130	20		530		
53	2,14	610	567	150	21		1.348		
54	1,02	278	220	51	8		557		
58	0,36	88	44	11	2		145		
101	0,68	21	129	92	15			257	
103	1,70	194	359	114	19			686	
108	0,22	22	24	6	1			53	
113	1,60	182	338	107	18			645	
Total	12,99	3.499	3.149	1.000	153	3.580	2.580	1.641	7.801

Função Objetivo: US\$ 24.079,62

TABELA 10c: Simulação 3: 60.000 km

Talhão	Área (ha)	Volume (m ³)				Sítio 1	Sítio 2	Sítio 3	Total
		Lam.	Ser.	Cel.	En.				
1	0,88	239	339	133	18	729			
4	1,00	492	217	47	8	764			
8	0,27	114	33	8	1	156			
13	2,23	1.153	609	152	11	1.925			
51	0,91	112	278	133	20		543		
54	1,44	393	311	72	12		788		
58	0,23	56	28	7	1		92		
63	1,85	527	490	130	19		1.166		
101	0,68	21	129	92	15			257	
108	0,22	22	24	6	1			53	
113	3,30	376	696	221	36			1.329	
Total	13,01	3.505	3.154	1.001	142	3.574	2.589	1.639	7.802

Função Objetivo: US\$ 22.998,25

TABELA 10d: Simulação 4: 80.000 km

Talhão	Área (ha)	Volume (m ³)				Sítio 1	Sítio 2	Sítio 3	Total
		Lam.	Ser.	Cel.	En.				
1	0,88	239	339	133	18	729			
4	1,00	492	217	47	8	764			
8	0,27	114	33	8	1	156			
13	2,23	1.153	609	152	11	1.925			
51	0,91	112	278	133	20		543		
54	1,44	393	311	72	12		788		
58	0,23	56	28	7	1		92		
63	1,85	527	490	130	19		1.166		
101	0,68	21	129	92	15			257	
108	0,22	22	24	6	1			53	
113	0,10	11	21	7	1			40	
123	3,20	365	675	214	35			1.289	
Total	13,01	3.505	3.154	1.001	142	3.574	2.589	1.639	7.802

Função Objetivo: US\$ 22.609,85

TABELA 10e: Simulação 5: 100.000 km

Talhão	Área (ha)	Volume (m ³)				Sítio 1	Sítio 2	Sítio 3	Total
		Lam.	Ser.	Cel.	En.				
1	0,88	239	339	133	18	729			
4	1,00	492	217	47	8	764			
8	0,27	114	33	8	1	156			
13	0,30	155	82	20	3	260			
23	1,93	998	527	131	19	1.675			
51	0,91	112	278	133	20		543		
54	1,10	300	238	55	9		602		
58	0,23	56	28	7	1		92		
63	1,30	371	345	91	13		820		
64	0,34	93	73	17	3		186		
73	0,55	157	146	39	6		348		
101	0,68	21	129	92	15			257	
108	0,22	22	24	6	1			53	
123	1,80	205	380	121	20			726	
133	1,50	171	317	101	17			606	
Total	13,01	3.506	3.156	1.001	154	3.584	2.591	1.642	7.817

Função Objetivo: US\$ 21.753,71

TABELA 10f: Simulação 6: 120.000 km

Talhão	Área (ha)	Volume (m ³)				Sítio 1	Sítio 2	Sítio 3	Total
		Lam.	Ser.	Cel.	En.				
1	0,72	196	277	109	15	597			
4	0,94	462	204	44	8	718			
8	0,27	114	33	8	1	156			
11	0,16	44	62	24	3	133			
23	2,28	1.178	622	155	23	1.978			
51	0,51	63	156	74	11		304		
58	0,23	56	28	7	1		92		
61	0,40	49	122	58	9		238		
64	1,44	393	311	72	12		788		
73	1,85	527	490	130	19		1.166		
101	0,69	21	130	93	15			259	
104	0,07	8	12	3	1			24	
108	0,21	21	23	6	1			51	
133	3,24	369	684	217	36			1.306	
Total	13,01	3.501	3.154	1.000	155	3.582	2.588	1.640	7.810

Função Objetivo: US\$ 20.868,12

TABELA 10g: Simulação 7: 140.000 km

Talhão	Área (ha)	Volume (m ³)				Sítio 1	Sítio 2	Sítio 3	Total
		Lam.	Ser.	Cel.	En.				
8	0,27	114	33	8	1	156			
11	0,88	239	339	133	18	729			
14	1,00	492	217	47	8	764			
23	0,79	408	216	54	8	686			
33	1,44	744	393	98	14	1.249			
58	0,23	56	28	7	1		92		
61	0,91	112	278	133	20		543		
64	1,44	393	311	72	12		788		
73	1,85	527	490	130	19		1.166		
101	0,68	21	129	92	15			257	
108	0,22	22	24	6	1			53	
133	0,26	30	55	17	3			105	
143	3,04	347	641	204	33			1.225	
Total	13,01	3.505	3.154	1.001	153	3.584	2.589	1.640	7.813

Função Objetivo: US\$ 19.538,02

Simulação 8: 160.000 km - Solução não encontrada por ser impossível satisfazer as demandas de celulose e energia.

5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.

5.1. DO VALOR PRESENTE LÍQUIDO DOS REGIMES

Observando o VPL de todos os regimes, obtidos a uma taxa de interesse de 8% conforme o TABELA 22, em anexo, o regime 3 foi o primeiro pois, através dele é que se obtém o maior valor presente líquido, no caso US\$ 3.929,29 seguido pelo regime 4 com valor presente líquido US\$ 3.847,06, ambos em povoamentos localizados a 10 km da indústria e no sítio 1 (25 m). Esta preferência continua nos casos em que a distância do povoamento à indústria é maior.

Quando observamos os valores obtidos nestes mesmos regimes aplicados ao sítio 2 (21 m), a indicação do regime 3 como preferencial também ocorre, seguido do regime 9 e do regime 4 (TABELA 23).

Já no sítio 3 (17 m) o maior valor líquido presente ocorre no regime 5, para todas as distâncias dos povoamentos à indústria (cfe. TABELA 24).

Observou-se também que a diferença de valor presente líquido calculado com diferentes taxas de interesse (5%, 8% e 12%) chega a ser de US\$ 4.024,03 entre os valores do regime 9 calculado a 5% e a 8% no sítio 1 (TABELAS 19 e 22) e de US\$ 2.500,01 entre os valores do regime 9 a 8% e 12% no sítio 1 (conforme TABELAS 22 e 25).

Se considerarmos ainda o valor presente líquido dos regimes dispostos nos sítios 1, 2 e 3 às distâncias testadas e para todas as taxas de interesse, observa-se que em nenhum caso o menor valor presente líquido dos regimes no sítio 1 (distância de 90 km) é inferior ao maior valor presente líquido dos regimes no sítio 2 (distância de 10 km) à uma mesma taxa.

5.2. DO VALOR UNIFORME LÍQUIDO DOS REGIMES

Enquanto que o Valor Presente Líquido representa o resultado final de uma rotação, o Valor Uniforme Líquido dá a renda anual durante esta mesma rotação. Verifica-se, conseqüentemente, que certos regimes que são apontados como melhores através do Valor Presente Líquido não o são se observarmos o Valor Uniforme Líquido. Assim, se observarmos o Valor Presente Líquido dos regimes situados no sítio 1 e à distância de 10 km, calculados à taxa de 8% (conforme TABELA 22), aparecem em ordem decrescente de valor os regimes 3, 4, 8, 9, 2, 10, 6, 1, 5 e 7. Se observarmos o Valor Uniforme Líquido correspondente, a ordem dos regimes foi 2, 3, 4, 1, 8, 6, 9, 10, 5 e 7. Já no sítio 2, à mesma distância e à mesma taxa (cfe. TABELA 23), a ordem dos regimes para o VPL foi 3, 9, 4, 10, 5, 7, 6, 2, 8, 1 e para o VUL foi 3, 4, 2, 6, 8, 9, 10, 5, 7 e 1. A ordem observada para o sítio 3 para o VPL foi 5, 7, 3, 9, 10, 4, 6, 2, 8, 1 e para o VUL foi 5, 7, 3, 9, 10, 4, 6, 2, 8 e 1.

Ainda conforme a TABELA 22, comparando o VUL dos regimes para uma mesma distância dos povoamentos, a localização do povoamento não influencia substancialmente a ordem considerada.

Como o coeficiente das variáveis na Função Objetivo é o Valor Presente Líquido da intervenção a realizar, as considerações são oportunas uma vez que a escolha de um talhão para o corte poderá não ser a melhor opção se pensarmos em termos de maximização da renda anual líquida.

5.3. DA DISTÂNCIA QUE ANULA O VALOR PRESENTE LÍQUIDO

Tomando o Valor Presente Líquido dos Regimes, constantes do TABELA 22, observa-se, de acordo com a FIGURA 5, que os valores de um mesmo regime seguem uma linha reta em função das distâncias em que se encontram os povoamentos.

Podemos então, determinar a distância do povoamento que torna as despesas de tal grandeza que anulam as receitas, ou seja, torna o Valor Presente Líquido igual a zero. Estas distâncias são apresentadas na TABELA 11, de acordo com o regime de manejo e o sítio em que se encontra o povoamento.

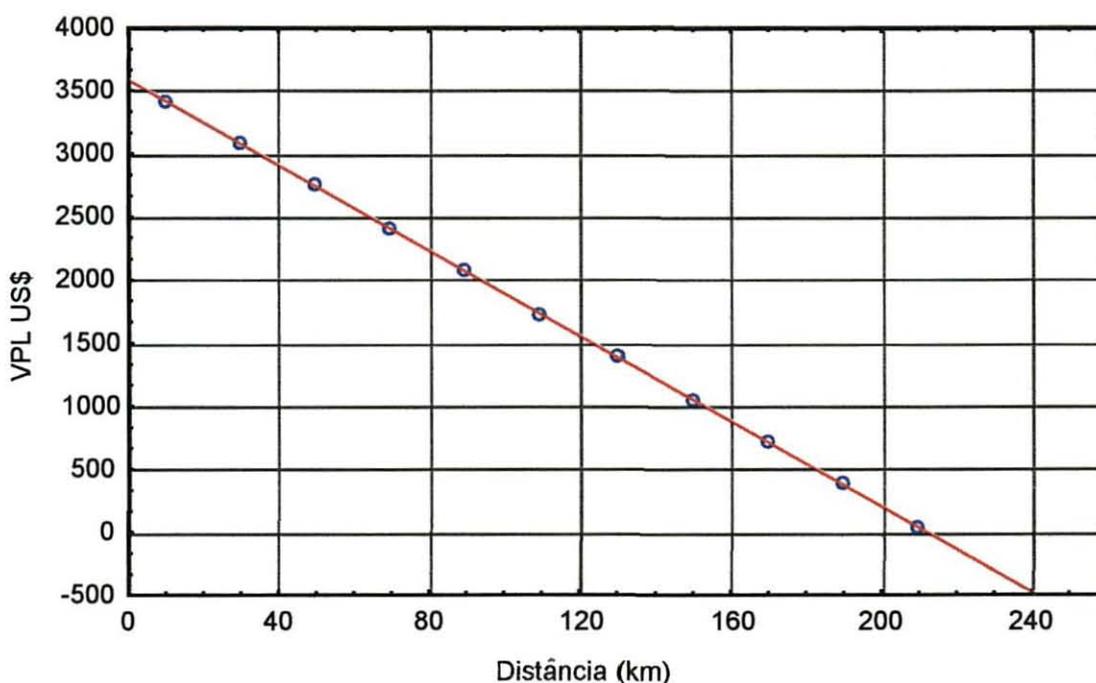


FIGURA 5: VALOR PRESENTE LÍQUIDO DO REGIME 1, NO SÍTIO 1, À TAXA DE 8%, EM FUNÇÃO DA LOCALIZAÇÃO DO POVOAMENTO.

TABELA 11: DISTÂNCIAS DOS POVOAMENTOS (em km) QUE ANULAM O VALOR PRESENTE LÍQUIDO DOS REGIMES CONSIDERADOS, À TAXA DE 8%.

Sítio	Distâncias (km)									
	Reg. 1	Reg. 2	Reg. 3	Reg. 4	Reg. 5	Reg. 6	Reg. 7	Reg. 8	Reg. 9	Reg.10
1	212,5	239,6	251,1	250,0	245,6	238,9	240,6	238,2	243,3	241,3
2	134,8	157,2	176,3	174,5	185,5	164,8	178,0	165,1	177,1	173,6
3	18,1	41,9	57,5	50,5	68,7	47,8	65,2	34,4	58,3	56,4

Observa-se distâncias máximas, economicamente viáveis, variando de acordo com a qualidade do sítio. Para o sítio 1 a distância máxima encontrada foi de 251,1 km utilizando o regime de manejo 3. Já no sítio 2 a distância máxima foi de 185,5 km e no sítio 3 de 68,7 km, ambas utilizando o regime de manejo 5.

5.4. DA RELAÇÃO DOS REGIMES E DISTÂNCIAS COM O VALOR PRESENTE LÍQUIDO DOS REGIMES.

A FIGURA 6 mostra o Valor Presente Líquido dos regimes de acordo com a distância dos talhões (conforme TABELA 22, VPL dos regimes utilizados em sítio 1 à taxa de 8%), indicando claramente os resultados superiores de talhões situados a pequenas distâncias. A diferença de resultados entre os regimes não é expressiva.

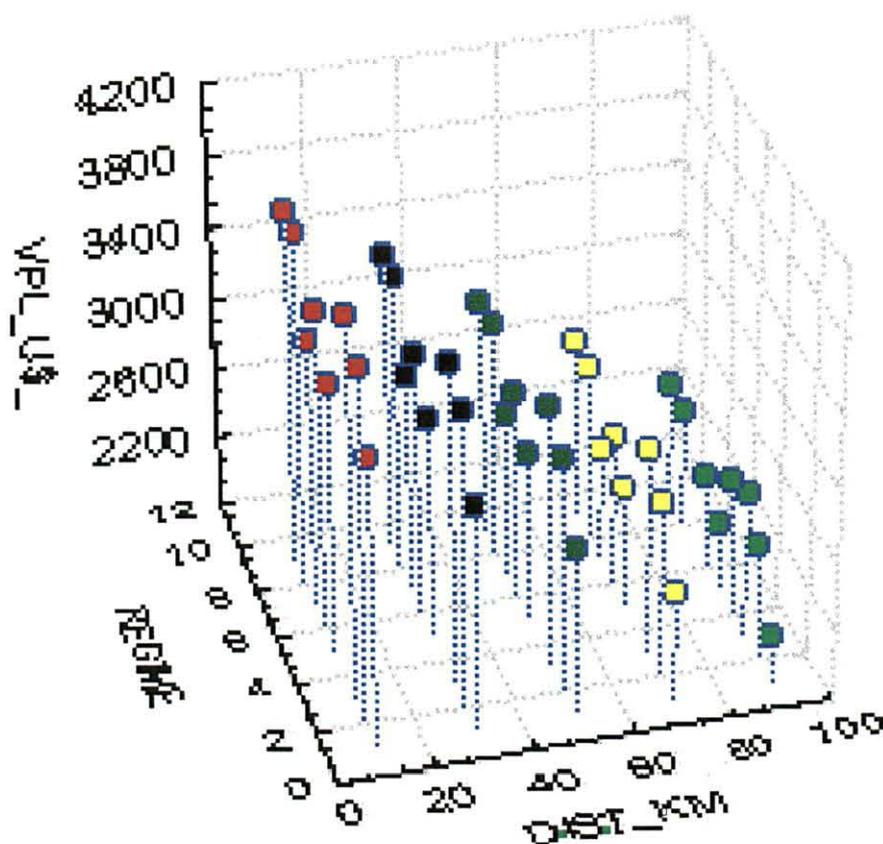


FIGURA 6. VALOR PRESENTE LÍQUIDO DOS REGIMES SEGUNDO A DISTÂNCIA DOS TALHÕES, À TAXA DE 8% E EM SÍTIO DE CLASSE 1.

5.5. DOS TALHÕES APONTADOS PARA O CORTE

O problema torna-se sem solução ou infactível quando as demandas são de tal grandeza que as distâncias máximas admitidas não permitem o transporte dos produtos advindos destes povoamentos. Para contornar esta dificuldade, a distância máxima admitida deve ter incrementos proporcionais às demandas existentes ou propostas.

A medida que a distância permitida for aumentando, a opção por talhões de boa qualidade de sítio e a distâncias maiores ocorrerá conforme simulações

realizadas (conforme primeiro e segundo plano de simulações), observando-se uma seqüência de talhões a 10 km e no sítio 1 inicialmente (talhões 1 a 10) para depois apontar talhões a 30 km no sítio 1 (talhões 11 a 20).

Observa-se que os talhões apontados encontram-se em distâncias menores, no primeiro plano de simulação até 70 km e no segundo plano de simulação, apenas em alguns casos a 90 km de distância.

Observa-se, também, claramente que a opção por produtos de sítio inferior (sítio 3) só ocorreu nas condições impostas inicialmente (demanda de certo tipo de produto que obrigava a busca nestes talhões), e no momento em que as distâncias de talhões de sítios bons eram maiores. Optou então, por produtos inferiores porém, de talhões próximos (vide TABELAS 8a-h e TABELAS 9a-o).

Isto mostra que, numa situação real, os valores de distância máxima e volume mínimo de produtos propostos nas restrições devem ser considerados adequadamente a fim de não obter resultados inesperados.

Verificamos, então, que podemos agrupar as simulações realizadas em dois grupos:

- a) simulações nos limites das restrições, sendo neste caso apenas satisfeitas as demandas;
- b) simulações com restrições já satisfeitas, visando então obter maiores receitas.

No segundo caso observa-se uma seqüência nítida de procura por talhões situados no sítio 1.

No momento de propor o modelo a ser processado, o problema das restrições de distância máxima e volume mínimo e volume máximo deve ser equacionado. Uma boa orientação é a proposta por MANTEL (1959) e também

citada por HOSOKAWA (1980), que propõe a divisão da área total pelo período de rotação e também a divisão do volume, obtendo-se áreas e volumes médios. O modelo de Programação Linear aceita tais restrições.

5.6. DAS PRIORIDADES DE ESCOLHA DOS TALHÕES PARA CORTE

De acordo com o algoritmo Simplex apresentado, a entrada de uma variável na base ocorre em função do maior valor encontrado entre os valores da Função Objetivo que são os valores do Valor Presente Líquido dos produtos. Como visto na FIGURA 5, o VPL de um regime resulta numa função linear em função da distância do talhão. O Valor Presente Líquido do Regime 1 estudado foi determinado para um intervalo maior de distâncias, para os três sítios (cfe. TABELA 12), a fim de analisar mais detalhadamente os procedimentos constantes do algoritmo Simplex.

TABELA 12: VALOR PRESENTE LÍQUIDO (US\$/ha) À TAXA DE 8%, OBTIDO DO REGIME 1, SEGUNDO A DISTÂNCIA E O SÍTIO.

DISTÂNCIA (KM)	VPL (US\$/ha)		
	SÍTIO 1	SÍTIO 2	SÍTIO 3
10	3.425,04	1.521,07	62,95
30	3.086,73	1.277,27	-91,69
50	2.748,41	1.033,47	-246,32
70	2.410,09	789,67	-400,95
90	2.071,77	545,87	-555,58
110	1.733,45	302,08	-710,21
130	1.395,13	58,28	-864,85
150	1.056,81	-185,52	-1.019,48
170	718,50	-429,32	-1.174,11
190	380,18	-673,12	-1.328,74
210	41,86	-916,92	-1.483,37

Podemos desta forma determinar uma reta para cada sítio conforme FIGURA 7.

A FIGURA 7 mostra as possibilidades de optar por talhão de sítio mais pobre a pequena distância em vez de optar por um talhão de bom sítio, porém distante.

Se traçarmos retas paralelas ao eixo X, elas cruzarão duas ou três linhas do VPL dos respectivos sítios. Quando projetamos sobre o eixo X os pontos de interseção encontrados, temos as respectivas distâncias. Algebricamente isto equivale a encontrar o valor da abscissa que corresponde à interseção de uma reta paralela ao eixo X de um certo VPL com as retas do VPL dos sítios em estudo.

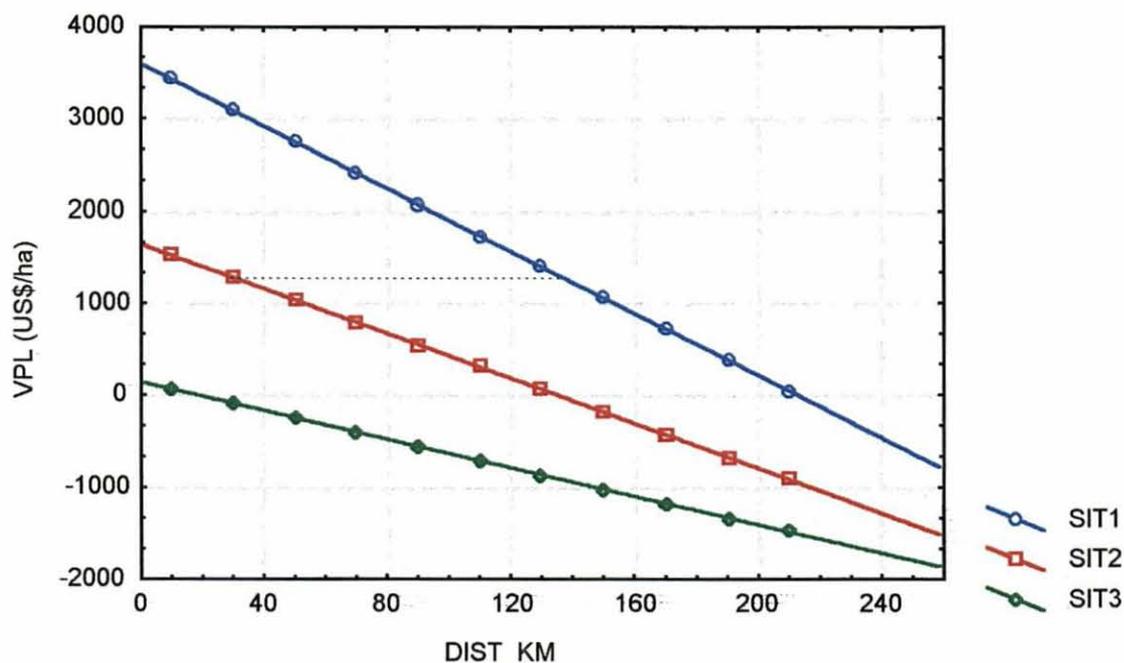


FIGURA 7: VALOR PRESENTE LÍQUIDO (US\$/ha) OBTIDO À TAXA DE 8%, RESULTANTE DA UTILIZAÇÃO DO REGIME 1 NOS SÍTIOS 1, 2 e 3.

Exemplificando, se fizermos $y = 1277,27$ em cada uma das equações de VPL dos sítios 1 ($y = 3594 - 16,916 x$) e 2 ($y = 1643 - 12,19 x$), encontraremos a abscissa dos pontos de interseção da reta paralela ao eixo dos X com as retas dos VPL do regime em cada sítio, respectivamente 136,9 km e 30 km.

A linha pontilhada da FIGURA 7 mostra graficamente o exemplo acima examinado, indicando que um talhão a 136,9 km no sítio 1 pode ser preterido e optar por um talhão a 30 km no sítio 2, resultando em igual VPL por unidade de área.

5.7. DOS SORTIMENTOS RESULTANTES DO CORTE DOS TALHÕES APONTADOS NA SIMULAÇÃO.

Na FIGURA 8 verifica-se que o sortimento obtido em maior volume nos talhões apontados para corte é madeira para laminado seguido de madeira para serraria e para celulose, obtendo-se retas que mostram a regularização da retirada de volumes de cada sortimento, resultante da imposição de volumes máximos no modelo de simulação.

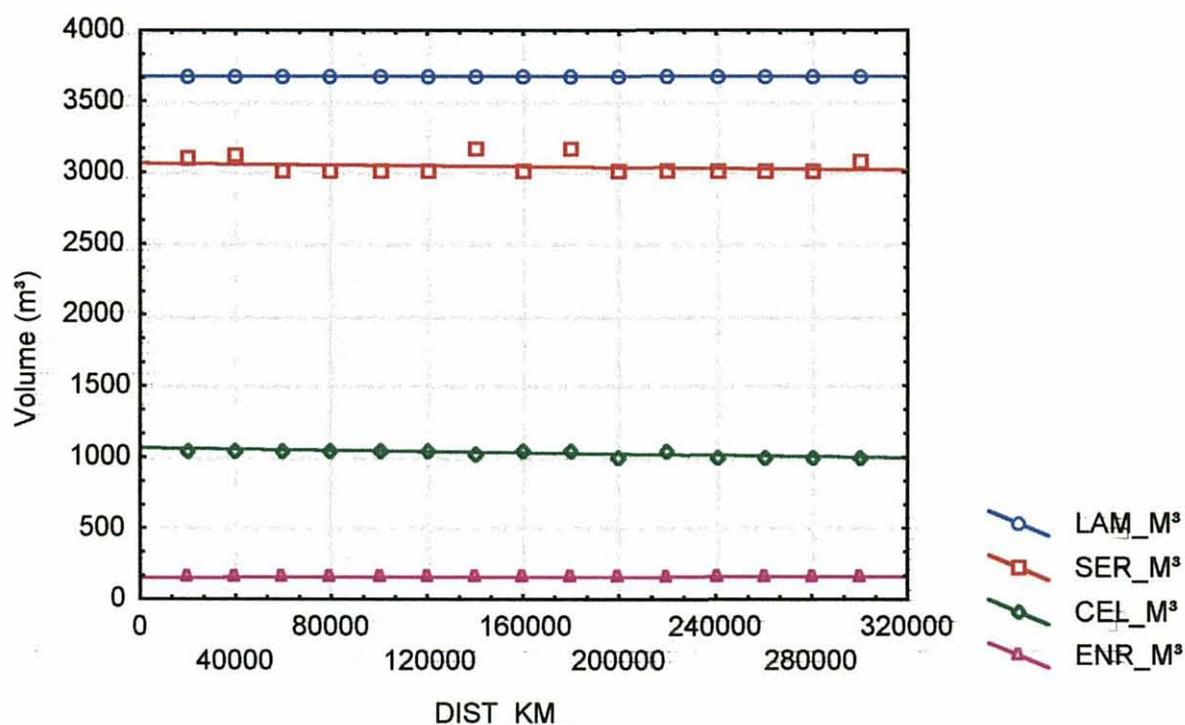


FIGURA 8. VOLUME DOS SORTIMENTOS OBTIDOS DOS TALHÕES INDICADOS, SEGUNDO AS DISTÂNCIAS ADMITIDAS E MAXIMIZAÇÃO DO VALOR PRESENTE LÍQUIDO COM RESTRIÇÃO DE VOLUME MÁXIMO.

A FIGURA 9 mostra as retiradas de madeira em volume segundo as classes de sítio. Ocorre uma retirada inicial maior no sítio de classe 1. Quando os talhões de classe de sítio 1 próximos foram explorados, aumenta a participação de talhões de sítio 2 e finalmente de sítio 3.

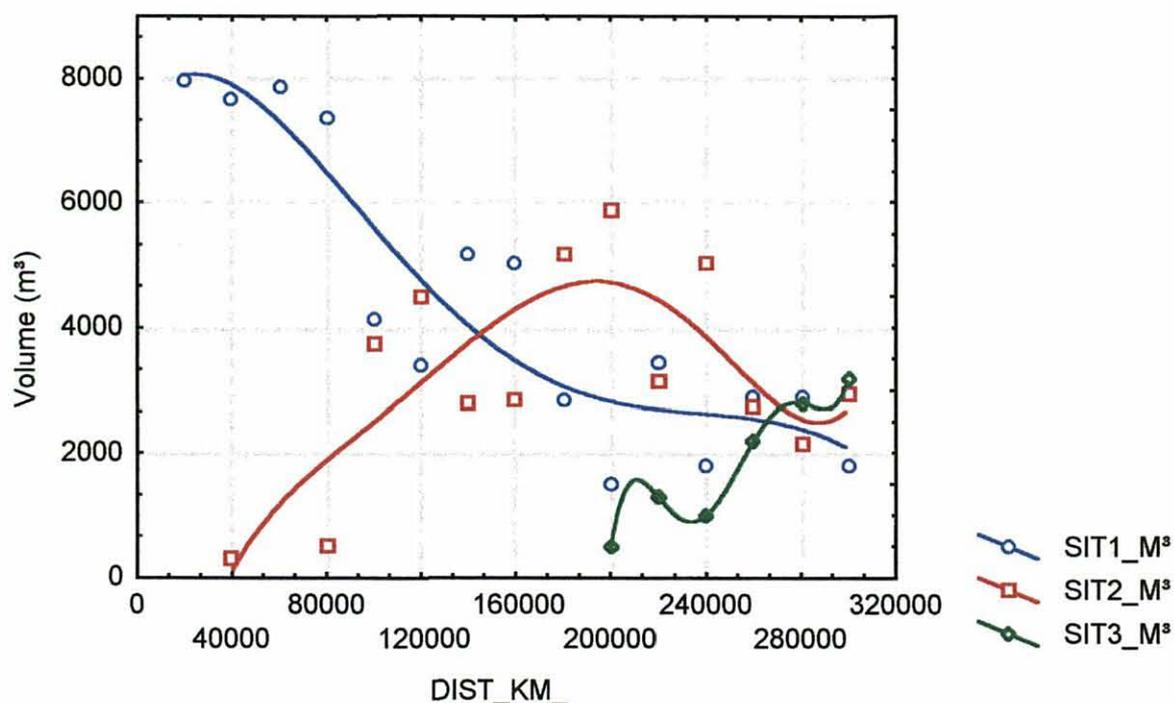


FIGURA 9. VOLUME TOTAL OBTIDO DOS TALHÕES, SEGUNDO A CLASSE DE SÍTIO E A DISTÂNCIA PERCORRIDA ADMITIDA.

5.8. DA EVOLUÇÃO DA RECEITA (FUNÇÃO OBJETIVO)

Quando analisamos os resultados apresentados pelo Plano de Simulação 1 observa-se uma renda decrescente resultante da exaustão dos recursos da floresta, indo a situação de infactibilidade na simulação 9. O plano de simulação 2 já

apresenta demandas mínimas e máximas definidas o que resulta em regularização dos volumes retirados (conforme FIGURA 10) e da renda obtida (conforme FIGURA 11)

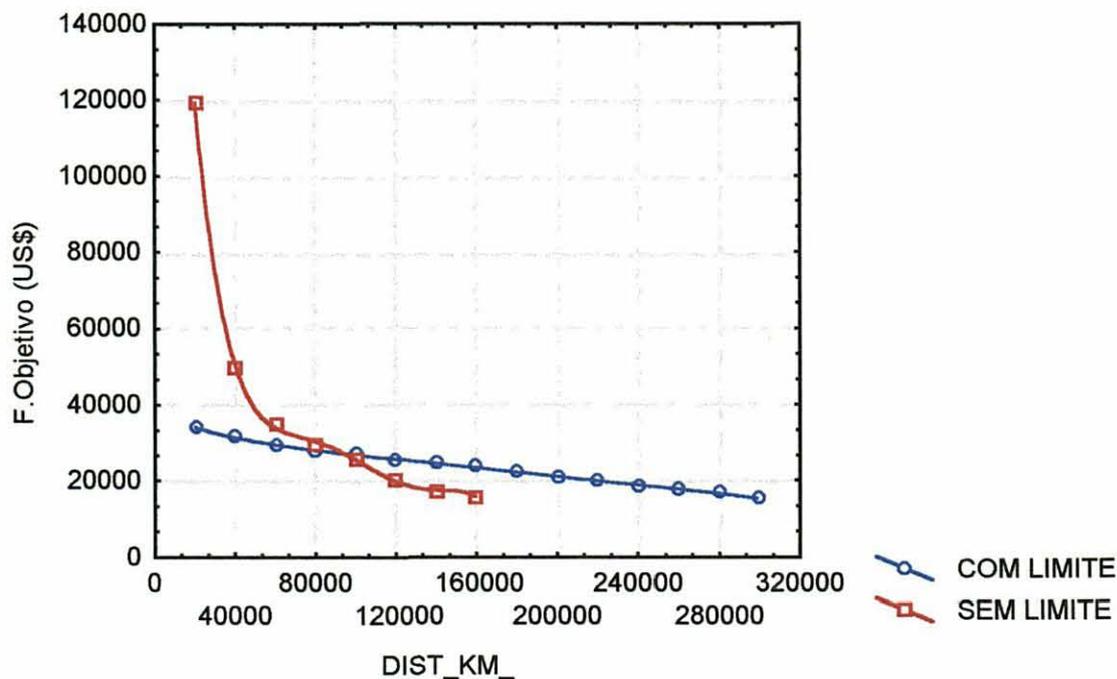


FIGURA 10. COMPARATIVO DA EVOLUÇÃO DA RECEITA (FUNÇÃO OBJETIVO) COM RESTRIÇÕES DE LIMITES MÁXIMOS DE DEMANDA DEFINIDA E NÃO DEFINIDA EM FUNÇÃO DA DISTÂNCIA MÁXIMA PERMITIDA.

A FIGURA 11 mostra a comparação do valor da Função Objetivo com a área de origem da madeira obtida do corte dos talhões apontados. É fácil verificar que, em princípio, pequenas áreas produzem altas receitas. Na continuidade das simulações a situação se inverte ou seja, maiores áreas a produzir pequenas receitas.

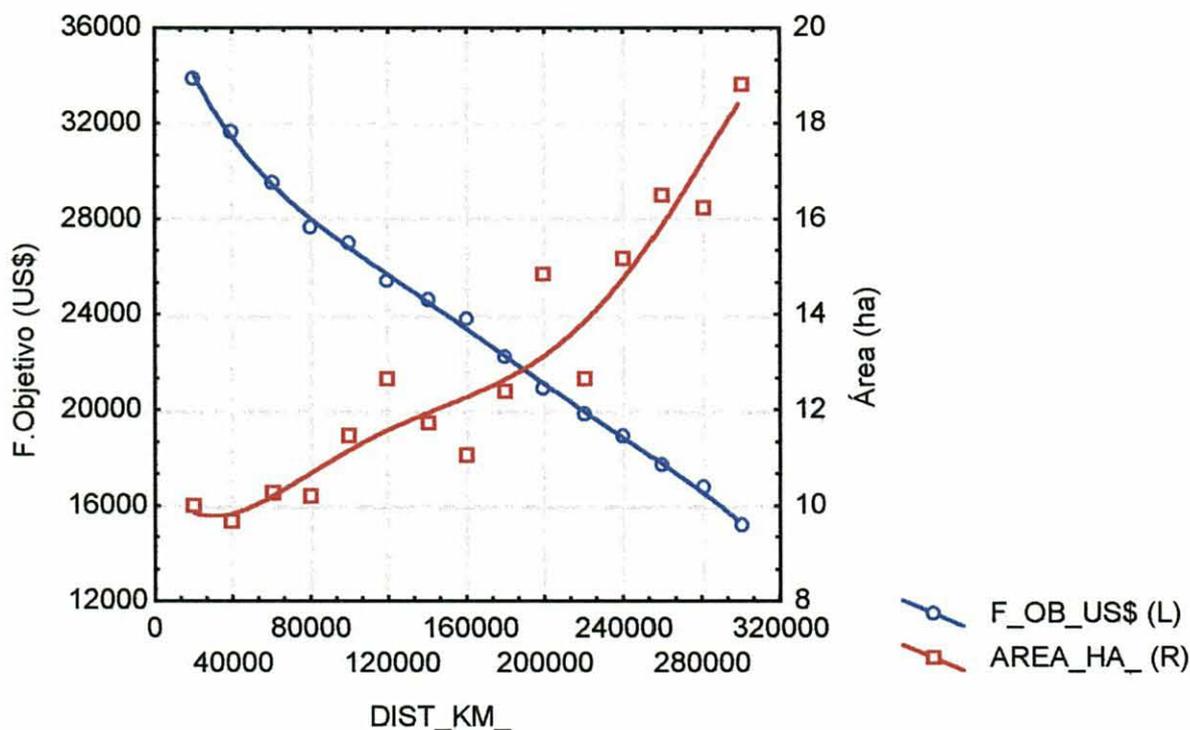


FIGURA 11. COMPARATIVO DA EVOLUÇÃO DO VALOR DA FUNÇÃO OBJETIVO (US\$/ha) E DA ÁREA TOTAL DOS TALHÕES INDICADOS PARA O CORTE.

Verifica-se, portanto, que ainda permanece uma situação irregular de renda decrescente e área de corte crescente, mesmo com distância percorrida com distribuição uniforme nas sequências do Segundo Plano de Simulação (TABELAS 9a-p). Outra situação desfavorável é a desigualdade de volumes retirados dos três sítios ao longo das simulações do Segundo Plano. Esta desigualdade foi corrigida no Terceiro Plano de Simulação conforme TABELAS 10a-g, onde se observa uma distribuição mais regular dos volumes nos três sítios desde a TABELA 10a até a TABELA 10g.

Observa-se ainda, nestas tabelas, o fracionamento das áreas para satisfazer as demandas.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O desenvolvimento do trabalho mostrou que a Programação Linear, sendo um modelo matemático, responde perfeitamente às restrições impostas, servindo de forma eficiente ao manejo da floresta. Deve-se destacar que o sucesso ou não da Programação Linear está relacionado ao uso de restrições no modelo, as quais conduzam a uma distribuição uniforme das distâncias percorridas ao longo do tempo, da área explorada por sítio e da área total explorada. Para determinar estes valores, sugere-se o conhecimento da floresta, com inventários florestais que facilitem o uso adequado de restrições compatíveis que atendam os objetivos da empresa, conduzam a resultados esperados e respondam às expectativas dos proprietários.

A Programação Linear contribui no direcionamento da utilização da floresta e evita que o empresário, momentaneamente, procure aumentar o lucro explorando povoamentos próximos e de melhor qualidade de sítio. A longo prazo esta atitude se mostraria prejudicial.

Dos indicadores, Valor Presente Líquido e Valor Uniforme Líquido, utilizados para apontar o melhor regime, o segundo é o melhor por servir de medida da renda anual. O primeiro possui o inconveniente de variar com a rotação. Ficou claro que, se o critério é Valor Presente Líquido, o acúmulo de valor por um período maior (regimes com rotação mais longa) influencia no resultado de forma a destacar-se como melhores regimes os de rotação mais longa. Já considerando o Valor Uniforme Líquido, ou seja, a renda anual, os regimes que se destacam são os

de curta rotação, figurando os de rotação longa nas posições finais da ordem decrescente.

O maior valor obtido com um preço superior, isto é, com madeira de melhor qualidade em ciclos mais longos, é compensado pelo preço pago pelo capital investido resultando em Valor Presente Líquido equivalente àquele obtido em regimes de rotação curta no qual o valor obtido pelos sortimentos é bem inferior.

A taxa de interesse interfere no resultado obtido do Valor Presente Líquido e do Valor Uniforme Líquido. Taxas de interesse menores fazem com que regimes com rotações longas resultem em Valor Presente Líquido e Valor Uniforme Líquido maiores que aqueles de regimes com rotações curtas. Taxas de interesse maiores apontam regimes com rotações curtas como melhores.

A taxa de interesse, por ser escolhida de forma arbitrária, como já foi observado por diversos autores, é um inconveniente no cálculo do Valor Presente Líquido e do Valor Uniforme Líquido e a verificação de valores diferentes para dois regimes poderá ser unicamente em função da taxa de interesse escolhida e não devido a uma diferença real entre os regimes e assim, direcionar as decisões de forma indevida. Devemos considerar que taxas de interesse superiores (10% por exemplo) que são utilizadas em alguns estudos, no presente estudo tornariam ainda mais evidente as tendências observadas.

Verificou-se que o sítio e a distância dos talhões interferem no Valor Presente Líquido e no Valor Uniforme Líquido da rotação enquanto que o valor destes indicadores não apresenta diferença significativa quando comparamos os regimes dentro de um mesmo sítio.

O Valor Presente Líquido do regime, obtido em função das distâncias crescentes, permite determinar as distâncias máximas economicamente viáveis dos regimes.

Como na Função Objetivo figura a maximização do Valor Presente Líquido da intervenção, ocorre uma busca intensa no sentido de áreas de melhores sítios e mais próximos à indústria. Para se obter uma regularização das distâncias percorridas bem como das áreas cortadas e até das áreas por sítio, sugere-se em primeiro lugar o conhecimento da composição da floresta. Com base nestas informações pode-se determinar os volumes e áreas médias por unidade de tempo a serem consideradas na formulação das restrições. Deve-se observar que a formulação correta e adequada das restrições é que determina o sucesso da Programação Linear na atividade florestal.

ANEXOS

TABELA 13: VOLUMES DOS SORTIMENTOS OBTIDOS (m³) NA SIMULAÇÃO DE REGIMES ATRAVÉS DO SISTEMA SISPINUS, EM SÍTIO DE CLASSE 1 (25 m), SEGUNDO A IDADE E POR CLASSE DE PRODUTO

Regime	Produto	Idade (anos)								Total	
		8	10	12	14	16	18	20	22		24
1	Lam					271,6					271,6
	Ser					384,8					384,8
	Cel					150,6					150,6
	En					20,9					20,9
2	Lam							380,8			380,8
	Ser							415,8			415,8
	Cel							124,7			124,7
	En							19,4			19,4
3	Lam		1,1					517,3			518,4
	Ser		25,7					273,2			298,9
	Cel		60,5					67,9			128,4
	En		13,0					10,0			23,0
4	Lam	0,0			10,3			491,9			502,2
	Ser	3,0			70,0			217,3			290,3
	Cel	27,6			42,8			47,2			117,6
	En	8,2			6,1			8,3			22,6
5	Lam	0,0				12,1				623,3	635,4
	Ser	3,0				82,9				214,5	300,4
	Cel	27,6				37,5				43,9	109,0
	En	8,2				5,2				7,8	21,2
6	Lam		0,4			15,4		439,8			455,6
	Ser		12,3			90,8		228,0			331,1
	Cel		35,5			31,9		51,7			119,1
	En		8,9			5,1		8,6			22,6
7	Lam		0,4			15,4				597,1	612,9
	Ser		12,3			90,8				219,2	322,3
	Cel		35,5			31,9				45,4	112,8
	En		8,9			5,1				7,7	21,7
8	Lam	0,0		7,8		36,8		420,6			465,2
	Ser	2,1		63,0		90,3		121,4			276,8
	Cel	21,2		54,3		22,3		30,7			128,5
	En	7,2		6,9		3,4		4,7			22,2
9	Lam	0,0		7,8		36,8				601,1	645,7
	Ser	2,1		63,0		90,3				118,2	273,6
	Cel	21,2		54,3		22,3				27,3	125,1
	En	7,2		6,9		3,4				5,0	22,5
10	Lam	0,0		5,9		31,1		99,1		472,5	608,6
	Ser	3,0		49,0		86,4		56,5		73,7	268,6
	Cel	27,6		42,5		21,6		14,3		19,9	125,9
	En	8,2		5,2		3,3		2,0		3,4	22,1

TABELA 14: VOLUMES DOS SORTIMENTOS OBTIDOS (m³) NA SIMULAÇÃO DE REGIMES ATRAVÉS DO SISTEMA SISPINUS, EM SÍTIO DE CLASSE 2 (21 m), SEGUNDO A IDADE E POR CLASSE DE PRODUTO

Regime	Produto	Idade (anos)								Total	
		8	10	12	14	16	18	20	22		24
1	Lam					122,9					122,9
	Ser					305,2					305,2
	Cel					146,4					146,4
	En					22,1					22,1
2	Lam							185,0			185,0
	Ser							344,2			344,2
	Cel							138,1			138,1
	En							21,2			21,2
3	Lam		0,0						285,1		285,1
	Ser		7,8						264,8		272,6
	Cel		49,0						69,6		118,6
	En		10,9						9,9		20,8
4	Lam	0,0			3,0				272,8		275,8
	Ser	0,2			43,3				215,7		259,2
	Cel	15,8			41,0				49,9		106,7
	En	8,7			5,4				8,3		22,4
5	Lam	0,0				5,2				408,8	414,0
	Ser	0,2				54,7				201,3	256,2
	Cel	15,8				39,7				47,1	102,6
	En	8,7				5,8				8,5	23,0
6	Lam		0,0			8,3		243,5			251,8
	Ser		3,6			59,3		220,8			283,7
	Cel		27,9			42,5		52,4			122,8
	En		7,9			4,8		7,6			20,3
7	Lam		0,0			8,3				387,2	395,5
	Ser		3,6			59,3				202,9	265,8
	Cel		27,9			42,5				52,2	122,6
	En		7,9			4,8				8,1	20,8
8	Lam	0,0		1,2		13,6		244,3			259,1
	Ser	0,2		32,2		69,3		121,4			223,1
	Cel	11,8		50,7		19,7		29,9			112,1
	En	7,3		6,8		3,4		4,8			22,3
9	Lam	0,0		1,2		13,6				383,5	398,3
	Ser	0,2		32,2		69,3				114,6	216,3
	Cel	11,8		50,7		19,7				30,0	112,2
	En	7,3		6,8		3,4				5,2	22,7
10	Lam	0,0		0,9		11,6		50,1		307,9	370,5
	Ser	0,2		24,0		64,5		54,4		77,6	220,7
	Cel	15,8		39,4		19,9		14,1		18,3	107,5
	En	8,7		5,2		3,4		2,0		3,2	22,5

TABELA 15: VOLUMES DOS SORTIMENTOS OBTIDOS (m³) NA SIMULAÇÃO DE REGIMES ATRAVÉS DO SISTEMA SISPINUS, EM SÍTIO DE CLASSE 3 (17 m), SEGUNDO A IDADE E POR CLASSE DE PRODUTO

Regime	Produto	Idade (anos)								Total	
		8	10	12	14	16	18	20	22		24
1	Lam					31,4					31,4
	Ser					189,4					189,4
	Cel					135,4					135,4
	En					22,2					22,2
2	Lam							60,8			60,8
	Ser							231,6			231,6
	Cel							136,2			136,2
	En							21,7			21,7
3	Lam		0,0					114,3			114,3
	Ser		0,5					211,0			211,5
	Cel		27,0					67,1			94,1
	En		10,3					11,2			21,5
4	Lam	0,0			0,2			109,9			110,1
	Ser	0,0			16,5			177,9			194,4
	Cel	6,5			34,8			48,9			90,2
	En	6,6			5,8			7,8			20,2
5	Lam	0,0				0,9				193,8	194,7
	Ser	0,0				25,5				198,7	224,2
	Cel	6,5				39,0				51,1	96,6
	En	6,6				4,7				8,1	19,4
6	Lam		0,0			1,1		99,0			100,1
	Ser		0,2			28,0		182,4			210,6
	Cel		14,1			40,6		51,6			106,3
	En		7,1			5,2		7,6			19,9
7	Lam		0,0			1,1				185,6	186,7
	Ser		0,2			28,0				199,9	228,1
	Cel		14,1			40,6				53,4	108,1
	En		7,1			5,2				7,5	19,8
8	Lam	0,0		0,0		2,7		99,2			101,9
	Ser	0,0		5,6		37,7		111,1			154,4
	Cel	4,9		43,4		22,4		29,3			100,0
	En	5,4		6,0		3,0		4,4			18,8
9	Lam	0,0		0,0		2,7				189,4	192,1
	Ser	0,0		5,6		37,7				115,1	158,4
	Cel	4,9		43,4		22,4				26,7	97,4
	En	5,4		6,0		3,0				4,2	18,6
10	Lam	0,0		0,0		2,2		14,3		165,1	181,6
	Ser	0,0		4,1		34,6		46,1		74,3	159,1
	Cel	6,5		33,6		21,3		14,1		18,0	93,5
	En	6,6		4,7		2,8		2,2		2,9	19,2

TABELA 16: VALOR PRESENTE LÍQUIDO (VPL, US\$/ha) DOS SORTIMENTOS DE ACORDO COM O REGIME DE MANEJO E A LOCALIZAÇÃO DOS TALHÕES (DISTÂNCIA EM km), À TAXA DE 8% EM SÍTIO 1.

Regime	Dis - tância	Laminado	Serraria	Celulose	Energia	da Inter- venção	do Regime	
1	10 C	2.459,22	991,83	-1,74	-24,28	3.425,04	3.425,04	
	30 C	2.348,24	834,59	-63,28	-32,82	3.086,73	3.086,73	
	50 C	2.237,25	677,34	-124,82	-41,36	2.748,41	2.748,41	
	70 C	2.126,26	520,09	-186,36	-49,90	2.410,09	2.410,09	
	90 C	2.015,27	362,85	-247,91	-58,44	2.071,77	2.071,77	
3	10 D	17,21	137,89	76,04	-7,39	223,75		
	C	3.296,42	440,27	-19,79	-11,37	3.705,53	3.929,29	
	30 D	16,49	121,23	36,81	-15,82	158,71		
	C	3.141,04	358,21	-40,19	-14,37	3.444,69	3.603,41	
	50 D	15,78	104,56	-2,42	-24,25	93,67		
	C	2.985,66	276,15	-60,58	-17,38	3.183,86	3.277,53	
	70 D	15,07	87,89	-41,66	-32,68	28,63		
	C	2.830,28	194,09	-80,98	-20,38	2.923,02	2.951,65	
90 D	14,35	71,23	-80,89	-41,46	-36,41			
	C	2.674,90	112,03	-101,37	-23,38	2.662,17	2.625,77	
	4	10 D	0,00	19,46	46,81	-3,55	62,73	
		D	113,54	242,81	19,21	-5,44	370,13	
C		3.104,10	336,73	-16,68	-9,95	3.414,20	3.847,06	
30 D		0,00	17,20	25,94	-9,75	33,38		
D		108,63	209,45	-1,19	-8,35	308,54		
C		2.956,35	271,46	-30,86	-12,44	3.184,51	3.526,44	
50 D		0,00	14,93	5,06	-15,95	4,04		
D		103,72	176,08	-21,59	-11,26	246,96		
C		2.808,60	206,19	-45,04	-14,94	2.954,82	3.205,82	
70 D		0,00	12,66	-15,82	-22,15	-25,31		
D	98,81	142,72	-41,99	-14,17	185,38			
C	2.660,85	140,92	-59,21	-17,43	2.725,13	2.885,20		
90 D	0,00	10,39	-36,69	-28,36	-54,66			
	D	93,91	109,35	-62,39	-17,07	123,80		
	C	2.513,10	75,65	-73,39	-19,92	2.495,44	2.564,57	
8	10 D	0,00	13,52	34,92	-3,47	44,98		
	D	102,02	268,86	40,47	-5,65	405,70		
	D	336,16	240,00	1,53	-3,68	574,02		
	C	2.611,66	175,85	-13,95	-6,11	2.767,45	3.792,15	
	30 D	0,00	11,93	18,89	-8,91	21,91		
	D	97,68	233,84	10,28	-9,49	332,31		
	D	321,12	203,10	-7,58	-5,07	511,58		
	C	2.485,33	139,39	-23,17	-7,52	2.594,02	3.459,82	

Regime	Dis - tância	Laminado	Serraria	Celulose	Energia	da Inter- venção	do Regime
	50 D	0,00	10,35	2,85	-14,36	-1,16	
	D	93,35	198,81	-19,91	-13,33	258,92	
	D	306,09	166,20	-16,69	-6,46	449,14	
	C	2.358,99	102,92	-32,40	-8,93	2.420,59	3.127,49
	70 D	0,00	8,76	-13,19	-19,80	-24,23	
	D	89,01	163,79	-50,10	-17,16	185,54	
	D	291,05	129,30	-25,81	-7,84	386,70	
	C	2.232,66	66,46	-41,62	-10,34	2.247,16	2.795,16
	90 D	0,00	7,17	-29,22	-25,25	-47,30	
	D	84,68	128,76	-80,26	-21,00	112,15	
	D	276,01	92,40	-34,92	-9,23	324,25	
	C	2.106,32	30,00	-50,84	-11,76	2.073,72	2.462,83

D - Desbaste

C - Corte final

TABELA 17: VALOR PRESENTE LÍQUIDO (VPL, US\$/ha) DOS SORTIMENTOS DE ACORDO COM O REGIME DE MANEJO E A LOCALIZAÇÃO DOS TALHÕES (DISTÂNCIA EM km), À TAXA DE 8% EM SÍTIO 2.

Regime	Dis - tância	Laminado	Serraria	Celulose	Energia	da Inter- venção	do Regime
1	10 C	1.040,49	607,08	-87,83	-38,67	1.521,07	1.521,07
	30 C	990,27	482,36	-147,66	-47,71	1.277,27	1.277,27
	50 C	940,05	357,64	-207,48	-56,74	1.033,47	1.033,47
	70 C	889,83	232,92	-267,31	-65,77	789,67	789,67
	90 C	839,60	108,21	-327,14	-74,80	545,87	545,87
3	10 D	0,00	38,41	39,95	-11,00	67,36	
	C	1.662,16	283,14	-58,03	-16,62	1.870,64	1.938,00
	30 D	0,00	33,35	8,18	-18,07	23,45	
	C	1.576,52	203,60	-78,94	-19,60	1.681,59	1.705,54
	50 D	0,00	28,29	-23,60	-25,14	-20,45	
	C	1.490,89	124,06	-99,84	-22,57	1.492,54	1.472,09
	70 D	0,00	23,23	-55,37	-32,21	-64,35	
	C	1.405,25	44,53	-120,75	-25,54	1.303,49	1.239,14
	90 D	0,00	18,17	-87,15	-39,28	-108,25	
	C	1.319,62	-35,01	-141,65	-28,52	1.114,44	1.006,18
4	10 D	0,00	1,21	19,82	-7,60	13,43	
	D	31,49	127,35	-3,23	-7,67	147,95	
	C	1.560,96	207,32	-47,00	-14,83	1.706,45	1.867,82
	30 D	0,00	1,06	7,87	-14,19	-5,26	
	D	30,06	106,71	-22,77	-10,24	103,76	
	C	1.479,02	142,53	-61,99	-17,33	1.542,24	1.640,74
	50 D	0,00	0,91	-4,08	-20,77	-23,94	
	D	28,63	86,08	-42,31	-12,82	59,58	
	C	1.397,08	77,74	-76,98	-19,82	1.378,02	1.413,66
	70 D	0,00	0,76	-16,03	-27,35	-42,62	
	D	27,20	65,44	-61,85	-15,39	15,39	
	C	1.315,14	12,95	-91,96	-22,31	1.213,81	1.186,58
	90 D	0,00	0,60	-27,98	-33,93	-61,30	
	D	25,77	44,80	-81,40	-17,96	-28,79	
C	1.233,20	-51,83	-106,95	-24,81	1.049,60	959,50	
8	10 D	0,00	1,19	13,72	-7,05	7,86	
	D	15,03	119,61	9,75	-9,33	135,07	
	D	115,96	142,04	-10,63	-5,74	241,63	
	C	1.356,02	95,88	-44,42	-9,40	1.398,09	1.782,65
	30 D	0,00	1,04	4,80	-12,57	-6,74	
	D	14,36	101,71	-18,44	-13,11	84,53	
	D	110,41	113,72	-18,68	-7,13	198,31	
	C	1.282,64	59,42	-56,40	-10,84	1.274,82	1.550,93

Regime	Dis - tância	Laminado	Serraria	Celulose	Energia	da Inter- venção	do Regime
	50 D	0,00	0,89	-4,13	-18,09	-21,33	
	D	13,70	83,81	-46,62	-16,89	33,99	
	D	104,85	85,40	-26,73	-8,52	155,00	
	C	1.209,26	22,96	-68,39	-12,28	1.151,55	1.319,20
	70 D	0,00	0,74	-13,05	-23,62	-35,93	
	D	13,03	65,91	-74,81	-20,67	-16,54	
	D	99,29	57,08	-34,78	-9,91	111,68	
	C	1.135,89	-13,51	-80,37	-13,73	1.028,28	1.087,48
	90 D	0,00	0,59	-21,98	-29,14	-50,53	
	D	12,36	48,01	-103,00	-24,45	-67,08	
	D	93,73	28,76	-42,83	-11,30	68,36	
	C	1.062,51	-49,97	-92,36	-15,17	905,01	855,76

D - Desbaste

C - Corte final

TABELA 18: VALOR PRESENTE LÍQUIDO (VPL, US\$/ha) DOS SORTIMENTOS DE ACORDO COM O REGIME DE MANEJO E A LOCALIZAÇÃO DOS TALHÕES (DISTÂNCIA EM km), À TAXA DE 8% EM SÍTIO 3.

Regime	Dis - tância		Laminado	Serraria	Celulose	Energia	da Inter- venção	do Regime
1	10	C	227,70	146,72	-245,67	-65,81	62,95	62,95
	30	C	214,87	69,33	-301,00	-74,88	-91,69	-91,69
	50	C	202,04	-8,07	-356,33	-83,95	-246,32	-246,32
	70	C	189,21	-85,47	-411,66	-93,03	-400,95	-400,95
	90	C	176,38	-162,87	-466,99	-102,10	-555,58	-555,58
3	10	D	0,00	2,01	-2,61	-19,79	-20,40	
		C	538,70	-10,09	-130,90	-31,32	366,39	345,99
	30	D	0,00	1,68	-20,12	-26,47	-44,92	
		C	504,37	-73,47	-151,06	-34,68	245,16	200,25
	50	D	0,00	1,36	-37,63	-33,15	-69,43	
		C	470,03	-136,84	-171,21	-38,05	123,93	54,51
	70	D	0,00	1,03	-55,14	-39,83	-93,94	
		C	435,70	-200,22	-191,37	-41,41	2,71	-91,23
4	10	D	0,00	0,00	2,17	-11,85	-9,68	
		D	1,88	30,39	-41,01	-14,61	-23,36	
		C	494,23	-46,92	-105,96	-23,49	317,85	284,82
	30	D	0,00	0,00	-2,75	-16,84	-19,59	
		D	1,78	22,52	-57,59	-17,38	-50,67	
		C	461,22	-100,36	-120,65	-25,84	214,38	144,12
	50	D	0,00	0,00	-7,66	-21,83	-29,50	
		D	1,69	14,66	-74,18	-20,14	-77,98	
8	10	D	0,00	0,00	0,61	-13,43	-12,83	
		D	0,00	13,95	-44,75	-15,57	-46,38	
		D	19,38	26,40	-42,31	-9,12	-5,65	
		C	404,94	-75,41	-75,65	-15,08	238,81	173,96
	30	D	0,00	0,00	-4,31	-18,42	-22,73	
		D	0,00	10,84	-68,88	-18,91	-76,95	
		D	18,28	10,99	-51,47	-10,34	-32,54	
		C	375,15	-108,78	-84,45	-16,40	165,52	33,29

Regime	Dis - tância	Laminado	Serraria	Celulose	Energia	da Inter- venção	do Regime
50	D	0,00	0,00	-9,23	-23,42	-32,64	
	D	0,00	7,72	-93,01	-22,25	-107,53	
	D	17,17	-4,42	-60,62	-11,57	-59,43	
	C	345,35	-142,15	-93,25	-17,72	92,23	-107,37
70	D	0,00	0,00	-14,14	-28,41	-42,55	
	D	0,00	4,61	-117,14	-25,58	-138,11	
	D	16,07	-19,82	-69,77	-12,79	-86,32	
	C	315,55	-175,52	-102,05	-19,04	18,94	-248,04
90	D	0,00	0,00	-19,06	-33,40	-52,46	
	D	0,00	1,50	-141,27	-28,92	-168,69	
	D	14,97	-35,23	-78,93	-14,02	-113,21	
	C	285,76	-208,89	-110,85	-20,37	-54,35	-388,70

D - Desbaste

C - Corte final

TABELA 19: VALOR PRESENTE LÍQUIDO (VPL, US\$/ha) e VALOR UNIFORME LÍQUIDO (VUL, US\$/ha) DE ACORDO COM O REGIME DE MANEJO E A LOCALIZAÇÃO DOS TALHÕES (distância em km), À TAXA DE 5%, EM SÍTIO 1.

Dist.		Regimes									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
10	VPL	5.913,28	6.934,92	7.535,42	7.336,26	7.309,41	6.910,45	7.232,52	7.046,45	7.812,49	7.570,11
	VUL	545,62	593,26	606,66	588,68	529,72	554,51	524,15	565,42	566,18	548,61
30	VPL	5.382,30	6.387,69	6.991,01	6.804,65	6.798,20	6.385,36	6.714,20	6.511,98	7.256,42	7.024,11
	VUL	496,62	546,44	560,98	546,02	492,67	512,38	486,58	522,54	525,88	509,04
50	VPL	4.851,32	5.840,46	6.446,59	6.273,03	6.287,00	5.860,26	6.195,88	5.977,52	6.700,35	6.478,11
	VUL	447,63	499,63	517,29	503,36	455,62	470,24	449,02	479,65	486,58	469,47
70	VPL	4.320,34	5.293,26	5.902,18	5.741,42	5.775,79	5.335,16	5.677,56	5.443,05	6.144,28	5.932,11
	VUL	398,64	452,82	473,61	460,71	418,58	428,11	411,46	436,76	445,28	429,91
90	VPL	3.789,36	4.745,99	5.357,77	5.209,81	5.264,58	4.810,07	5.159,24	4.908,59	5.588,21	5.386,11
	VUL	349,64	406,00	429,92	418,05	381,53	385,97	373,89	393,88	404,98	390,34

TABELA 20: VALOR PRESENTE LÍQUIDO (VPL, US\$/ha) e VALOR UNIFORME LÍQUIDO (VUL, US\$/ha) DE ACORDO COM O REGIME DE MANEJO E A LOCALIZAÇÃO DOS TALHÕES (distância em km), À TAXA DE 5%, EM SÍTIO 2.

Dist.		Regimes									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
10	VPL	2.925,06	3.600,33	4.107,88	3.946,88	4.490,81	3.789,57	4.411,30	3.677,27	4.396,43	4.214,75
	VUL	269,84	307,99	329,63	316,71	325,45	304,08	319,69	295,07	318,61	305,45
30	VPL	2.542,42	3.199,81	3.717,59	3.569,46	4.110,82	3.405,37	4.021,41	3.308,87	4.007,79	3.833,11
	VUL	234,59	273,73	298,31	286,42	297,92	273,26	291,43	265,51	290,45	277,79
50	VPL	2.159,79	2.799,29	3.327,30	3.192,04	3.730,84	3.021,17	3.631,52	2.940,46	3.619,15	3.451,46
	VUL	199,28	239,47	266,99	256,14	270,38	242,43	263,18	235,95	262,28	250,13
70	VPL	1.777,16	2.398,77	2.937,02	2.814,63	3.350,86	2.636,97	3.241,62	2.572,06	3.230,51	3.069,81
	VUL	163,98	205,21	235,67	225,85	242,84	211,60	234,92	206,39	234,12	222,47
90	VPL	1.394,52	1.998,25	2.546,73	2.437,21	2.970,88	2.252,77	2.851,73	2.203,65	2.841,87	2.688,17
	VUL	128,67	170,94	204,36	195,57	215,30	180,77	206,67	176,83	205,95	194,81

TABELA 21: VALOR PRESENTE LÍQUIDO (VPL, US\$/ha) e VALOR UNIFORME LÍQUIDO (VUL, US\$/ha) DE ACORDO COM O REGIME DE MANEJO E A LOCALIZAÇÃO DOS TALHÕES (distância em km), À TAXA DE 5%, EM SÍTIO 3.

Dist.		Regimes									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
10	VPL	636,59	1.070,85	1.354,53	1.227,93	1.773,74	1.213,89	1.737,33	981,80	1.554,17	1.494,66
	VUL	58,74	91,61	108,69	98,53	128,54	97,41	125,91	78,78	112,63	108,10
30	VPL	393,90	808,90	1.109,09	993,23	1.520,29	967,75	1.477,12	758,22	1.313,74	1.253,66
	VUL	36,34	69,20	89,00	79,70	110,18	77,65	107,05	60,84	95,21	90,85
50	VPL	151,21	546,95	863,64	758,53	1.266,84	721,60	1.216,91	534,64	1.073,30	1.015,67
	VUL	13,95	47,79	69,30	60,87	91,81	57,90	88,19	42,90	77,78	73,61
70	VPL	-91,48	285,00	618,19	523,82	1.013,38	475,46	956,70	311,05	832,87	777,68
	VUL	-8,44	24,38	49,61	42,03	73,44	38,15	69,33	24,96	60,36	56,36
90	VPL	-334,17	23,04	372,75	289,12	759,93	229,31	696,49	87,47	592,44	539,69
	VUL	-30,83	1,97	29,91	23,20	55,07	18,40	50,47	7,02	42,93	39,11

TABELA 22: VALOR PRESENTE LÍQUIDO (VPL, US\$/ha) e VALOR UNIFORME LÍQUIDO (VUL, US\$/ha) DE ACORDO COM O REGIME DE MANEJO E A LOCALIZAÇÃO DOS TALHÕES (distância em km), À TAXA DE 8%, EM SÍTIO 1.

Dist.		Regimes									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
10	VPL	3.425,04	3.783,30	3.929,29	3.847,06	3.321,99	3.596,31	3.314,14	3.792,15	3.788,46	3.723,32
	VUL	386,95	403,69	400,21	391,83	315,52	366,29	314,77	386,24	359,82	353,63
30	VPL	3.086,73	3.453,73	3.603,41	3.526,44	3.039,98	3.282,07	3.026,65	3.459,82	3.463,62	3.401,37
	VUL	348,73	368,52	367,02	359,18	288,73	334,29	287,46	352,39	328,97	323,06
50	VPL	2.748,41	3.124,16	3.277,53	3.205,82	2.757,98	2.967,82	2.739,16	3.127,49	3.138,79	3.079,42
	VUL	310,51	333,35	333,82	326,52	261,95	302,28	260,16	318,54	298,12	292,48
70	VPL	2.410,09	2.794,59	2.951,65	2.885,20	2.475,98	2.653,58	2.451,66	2.795,16	2.813,95	2.757,48
	VUL	272,28	298,19	300,63	293,86	235,16	270,27	232,85	284,69	267,26	261,90
90	VPL	2.071,77	2.465,01	2.625,77	2.564,57	2.193,98	2.339,34	2.164,17	2.462,83	2.489,12	2.435,53
	VUL	234,06	263,02	267,44	261,21	208,38	238,27	205,55	250,84	236,41	231,32

TABELA 23: VALOR PRESENTE LÍQUIDO (VPL, US\$/ha) e VALOR UNIFORME LÍQUIDO (VUL, US\$/ha) DE ACORDO COM O REGIME DE MANEJO E A LOCALIZAÇÃO DOS TALHÕES (distância em km), À TAXA DE 8%, EM SÍTIO 2.

Dist.		Regimes									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
10	VPL	1.521,07	1.775,03	1.938,00	1.867,82	1.831,63	1.779,53	1.814,58	1.771,58	1.890,13	1.833,40
	VUL	171,85	189,40	197,39	190,24	173,96	181,25	172,35	180,44	179,52	174,13
30	VPL	1.277,27	1.533,82	1.705,04	1.640,74	1.622,90	1.549,55	1.598,48	1.542,86	1.663,94	1.609,37
	VUL	144,30	163,66	173,66	167,11	154,14	157,82	151,82	157,14	158,04	152,85
50	VPL	1.033,47	1.292,60	1.472,09	1.413,66	1.414,17	1.319,56	1.382,38	1.314,14	1.437,75	1.385,35
	VUL	116,76	137,92	149,94	143,98	134,32	134,40	131,30	133,85	136,55	131,58
70	VPL	789,67	1.051,39	1.239,14	1.186,58	1.205,45	1.089,58	1.166,29	1.085,42	1.211,55	1.161,33
	VUL	89,21	112,19	126,21	120,86	114,49	110,98	110,77	110,55	115,07	110,30
90	VPL	545,87	810,17	1.006,18	959,50	996,72	859,59	950,19	857,70	985,36	937,30
	VUL	61,67	86,45	102,48	97,73	94,67	87,55	90,25	87,26	93,59	89,02

TABELA 24: VALOR PRESENTE LÍQUIDO (VPL, US\$/ha) e VALOR UNIFORME LÍQUIDO (VUL, US\$/ha) DE ACORDO COM O REGIMÉ DE MANEJO E À LOCALIZAÇÃO DOS TALHÕES (distância em km), À TAXA DE 8%, EM SÍTIO 3.

Dist.		Regimes									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
10	VPL	62,95	251,64	345,99	284,82	405,68	277,61	394,74	168,71	336,15	322,30
	VUL	7,11	26,85	35,24	29,01	38,53	28,28	37,49	17,18	31,93	30,61
30	VPL	-91,69	93,88	200,25	144,12	267,40	130,82	251,70	30,16	196,84	183,43
	VUL	-10,36	10,02	20,40	14,68	25,40	13,32	23,91	3,07	18,70	17,42
50	VPL	-246,32	-63,88	54,51	3,42	129,12	-15,97	108,66	-108,39	57,54	44,55
	VUL	-27,83	-6,82	5,55	0,35	12,26	-1,63	10,32	-11,04	5,46	4,23
70	VPL	-400,95	-221,64	-91,23	-137,27	-9,16	-162,76	-34,38	-246,93	-81,77	-94,32
	VUL	-45,30	-23,65	-9,29	-13,98	-0,87	-16,58	-3,27	-25,15	-7,77	-8,96
90	VPL	-555,58	-379,40	-236,97	-277,97	-147,44	-309,55	-177,42	-385,48	-221,08	-233,20
	VUL	-62,77	-40,48	-24,14	-28,31	-14,00	-31,53	-16,85	-39,26	-21,00	-22,15

TABELA 25: VALOR PRESENTE LÍQUIDO (VPL, US\$/ha) e VALOR UNIFORME LÍQUIDO (VUL, US\$/ha) DE ACORDO COM O REGIME DE MANEJO E A LOCALIZAÇÃO DOS TALHÕES (distância em km), À TAXA DE 12%, EM SÍTIO 1.

Dist.		Regimes									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
10	VPL	1.534,86	1.537,10	1.493,71	1.473,77	932,06	1.342,95	951,37	1.531,35	1.288,45	1.291,46
	VUL	220,08	212,02	199,98	197,31	119,74	179,79	122,22	205,02	165,52	165,91
30	VPL	1.345,79	1.365,84	1.322,46	1.303,84	796,63	1.178,83	812,74	1.347,97	1.119,56	1.122,66
	VUL	192,97	188,40	177,05	174,56	102,34	157,82	104,41	180,47	143,82	144,22
50	VPL	1.156,72	1.194,58	1.151,22	1.133,90	661,20	1.014,72	674,11	1.164,60	950,66	953,86
	VUL	165,86	164,78	154,12	151,81	84,94	135,85	86,60	155,92	122,12	122,54
70	VPL	976,66	1.023,32	979,97	963,97	525,77	850,61	535,48	981,22	781,76	785,05
	VUL	138,75	141,15	131,20	129,05	67,54	113,88	68,79	131,37	100,43	100,85
90	VPL	778,59	852,06	808,73	794,03	390,34	686,49	396,85	797,85	612,86	616,25
	VUL	111,64	117,53	108,27	106,30	50,14	91,91	50,98	106,82	78,73	79,17

TABELA 26: VALOR PRESENTE LÍQUIDO (VPL, US\$/ha) e VALOR UNIFORME LÍQUIDO (VUL, US\$/ha) DE ACORDO COM O REGIME DE MANEJO E A LOCALIZAÇÃO DOS TALHÕES (distância em km), À TAXA DE 12%, EM SÍTIO 2.

Dist.		Regimes									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
10	VPL	470,83	493,52	496,90	477,17	256,60	433,49	275,61	474,26	372,11	367,01
	VUL	67,51	68,08	66,52	63,88	34,12	58,04	35,41	63,49	47,80	47,15
30	VPL	334,58	368,18	375,04	357,30	166,17	313,40	175,62	348,36	255,14	250,33
	VUL	47,98	50,79	50,21	47,84	21,35	41,96	22,05	46,64	32,78	32,16
50	VPL	198,34	242,83	253,18	237,43	66,73	193,30	67,63	222,47	138,16	133,65
	VUL	28,44	33,50	33,89	31,79	8,57	25,88	8,69	29,78	17,75	17,17
70	VPL	62,09	117,49	131,31	117,57	-32,71	73,21	-36,36	96,57	21,19	16,96
	VUL	8,90	16,21	17,58	15,74	-4,20	9,80	-4,67	12,93	2,72	2,18
90	VPL	-74,15	-7,86	9,44	-2,30	-132,15	-46,88	-140,35	-29,33	-95,78	-99,72
	VUL	-10,63	-1,08	1,27	-0,31	-16,98	-6,28	-18,03	-3,93	-12,30	-12,81

TABELA 27: VALOR PRESENTE LÍQUIDO (VPL, US\$/ha) e VALOR UNIFORME LÍQUIDO (VUL, US\$/ha) DE ACORDO O REGIME DE MANEJO E A LOCALIZAÇÃO DOS TALHÕES (distância em km), À TAXA DE 12%, EM SÍTIO 3.

Dist.		Regimes									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
10	VPL	-344,03	-298,09	-293,60	-315,75	-363,11	-319,65	-362,16	-353,76	-359,64	-355,72
	VUL	-49,33	-41,12	-39,31	-42,27	-46,65	-42,79	-46,52	-47,36	-46,20	-45,70
30	VPL	-430,45	-380,07	-369,22	-389,57	-428,18	-395,83	-430,09	-429,79	-431,19	-427,41
	VUL	-61,72	-52,43	-49,43	-52,16	-55,00	-52,99	-55,25	-57,54	-55,39	-54,91
50	VPL	-516,87	-462,05	-444,83	-463,39	-493,26	-472,02	-498,01	-505,81	-502,74	-499,10
	VUL	-74,11	-63,73	-59,55	-62,04	-63,37	-63,19	-63,98	-67,72	-64,58	-64,12
70	VPL	-603,28	-544,03	-520,45	-537,21	-558,34	-548,20	-565,94	-581,84	-574,29	-570,79
	VUL	-86,50	-75,04	-69,68	-71,92	-71,73	-73,39	-72,70	-77,90	-73,78	-73,33
90	VPL	-689,70	-626,01	-596,06	-611,03	-623,42	-624,39	-633,86	-657,87	-645,84	-642,48
	VUL	-98,90	-86,35	-79,80	-81,80	-80,09	-83,59	-81,43	-88,07	-82,97	-82,54

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AHRENS, S. **Concepção de Regimes de Manejo para Plantações de *Pinus* spp. no Brasil**. Circular Técnica n. 10. Curitiba : Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária -EMBRAPA. 1987.
2. _____. **A Seleção Simultânea do ótimo Regime de Desbastes e da Idade de Rotação, para Povoamentos de *Pinus taeda* L., através de um Modelo de Programação Dinâmica**. Curitiba, 1992. 189p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.
3. BARROS, O. e WEINTRAUB, A. Planning for a vertically integrated forest industry. **Operations Research**, Santiago, v. 30,n. 6, p.1168-1182, 1982.
4. BENNETT, F.A. **The Role of Thinning and Some Other Problems in Management of Slash Pine Plantations**. U.S. Department of Agriculture - Forest Service Southeastern Forest Experiment Station Asheville, North Carolina. 1971.
5. BRUM, E.T. **Relações entre a altura dominante e fatores do sítio de Ponte Alta do Norte, SC**. Curitiba, 1979. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná..
6. BUONGIORNO, J.; GILLESS, J.K. **Forest Management and Economics: A primer in Quantitative Methods**. New York : MacMillan Publishing Company, 1987.
7. BURGER, D. **Ordenamento Florestal I**. 4.ed. Curitiba : Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná, 1980.
8. CABRAL, F.C.P. **Desenvolvimento de um Sistema Computacional para Simular e Comparar Economicamente Alternativas de Manejo de Plantações Florestais**. Viçosa, 1990. Dissertação Mestrado. Universidade Federal de Viçosa.
9. CAMPOS, J.C. & TURNBULL, K.J. Um método de estimar índice de local utilizando a análise de tronco. **Revista Árvore**, v.4, n.1, p.47-61, 1980.
10. CARNIERI, C.; GAVINHO, L.; MAESTRI, R. **Um sistema de planejamento florestal**. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE ECONOMIA E PLANEJAMENTO FLORESTAL, 2., 1991, Curitiba. Anais... Colombo: EMBRAPA-CNPF, 1992.
11. CHAPMAN, H.H. **Forest valuation**. New York : Mac. Graw-Hill Book Co., 1947. 521p.

12. CHAPMAN, H.H.; MEYER, W.H. **Forest Mensuration**. New York : McGraw-Hill Book Co., 1949. 522p.
13. CLUTTER, J.L.; FORSTON, J.C.; PIENAAR, L.V.; BRISTER, G.H.; BAILEY, R.L. **Timber Management: a quantitative approach**. New York : J. Wiley & Sons, 1983.
14. COILE, T.S. Soil and growth of forest. **Advances in Agronomy**. 4, p. 329-359, 1952.
15. COZZO, D. **Tecnología de la forestación en Argentina y América Latina**. Buenos Aires, 1976. 610p.
16. DE FRANCISCO, W. **Matemática Financeira**. São Paulo : Editora Atlas, 1986. 319p.
17. DUERR, W.A. & BOND, W.E. Optimum stocking of a selection forest. **Journal of Forestry**, USA, p.12-16, jan. 1952.
18. EMERENCIANO, D.B. **Avaliação da Produção e Economicidade do Primeiro Desbaste em um Ensaio para Povoamentos de *Pinus elliottii* e *Pinus taeda***. Curitiba, 1990, 182p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.
19. FEDUCCIA, D.P. & MANN, Jr., W.F. Growth Following Initial Thinning of Loblolly Pine Planted on a Cutover Site at Five Spacings. **Forest Service Research Paper SO**, New Orleans, 120, 1976.
20. FENTON, R. & TUSTIN, J.R. Profitability of Radiata Pine Afforestation for the Export log Trade - on Site index 95. **New Zealand Journal of Forest Science**, 2(1), p.7-69, 1972.
21. GOMEZ, M.I. **Avaliação Econômica de Alternativas de Manejo de Florestas Implantadas de *Pinus spp.* e *Eucalyptus spp.* na Província de Jujuy - Argentina**. Curitiba, 1989, 119p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.
22. HAFLEY, W.L. & BUFORD, M.A. A bivariate model for growth and yield prediction. **Forest Science**, Washington, v. 31, n. 1, 1985.
23. HAIGHT, R.G. Optimal management of loblolly pine plantations with stochastic price trends. **Canada Journal Forest Res.**, Canadá, v. 23, p.41-48, 1993.
24. HANN, D.W. Development and evaluation of an even- and uneven-aged ponderosa pine/Arizona fescue stand simulator. **USDA Research Paper INT**, Ogden, v. 267, nov.1980.

25. HAROU, P.A. Societal value of a precommercial thinning. In: GALLAGHER, G. **The Influence of spacing and selectivity in thinning on stand development, operations and economy**. Proceedings of the meeting of IUFRO Project Group. Dublin, Ireland, 1985.
26. HARPER, W. Factors Effecting the Selection of the Economically Optimum thinning regime. In: GALLAGHER, G. **The Influence of spacing and selectivity in thinning on stand development, operations and economy**. Proceedings of the meeting of IUFRO Project Group. Dublin, Ireland, 1985.
27. HILEY, W.E. **Economics of plantations**. London : Faber and Faber, 1956. 216p.
28. HILLIER, F.S. & LIEBERMAN, G.J. **Introdução à pesquisa operacional**. São Paulo : Editora Campus Ltda, 1988.
29. HOSOKAWA, R.T. **Contribuição para definir a sucessão de cortes dos povoamentos objetivando a persistência de rendas nas empresas florestais**. Curitiba : Associação Paranaense de Engenheiros Florestais, 1980.
30. JOHNSON, K. N.; JONES, D.B.; KENT, B.M. **Forest planning model. FORPLAN** : user's guide and operations manual. Fort Collins : U.S.D.A. For. Ser. Land Management Planning, 1980.
31. JOHNSTON, D.R.; GRAYSON, A.J; BRADLEY, R.T. **Planeamento Florestal**. Lisboa : Fundação Calouste Gulbenkian, 1977.798p.
32. KLUYVER, C.A. DE; DAELLENBACH, H.G; WHYTE, A.G.D. Two-Stage, Multiple Objective Mathematical Programming Approach to Optimal Thinning and Harvesting. **Forest Science**, v. 26, n. 4, p. 674-686, 1980.
33. LAMPRECHT, H. **Silvicultura nos Trópicos**. República Federal da Alemanha : GTZ, 1990.
34. LEONARDIS, R.F.J. Raleos. In: **Jornadas Técnicas Bosques Implantados (Silvicultura)**. Eldorado, Misiones, 1984. v.3, p. 25-40.
35. LEUSCHNER, W.A. **Introduction to forest resource management**. New York : John Wiley, 1984. 298p.
36. MACHADO, S. A. **Studies in growth and yield estimation for *Pinus taeda* L. Plantations in the State of Paraná**. Seattle, 1978, 179p. Tese Doutorado - University of Washington.
37. MACULAN Filho, N.; PEREIRA, M.V.F. **Programação Linear**. São Paulo : Editora Atlas, 1980. 182p.

38. MANN Jr., W.F.; DELL, T.R. Yields of 17-year-old loblolly pine planted on a cutover site at various spacings. **USDA Forest Service Research Paper SO**, New Orleans, v.70, 1971. 9p.
39. MANTEL, W. **Forsteinrichtung**. Frankfurt am Main : J.D. Sauerlanders Verlag, 1959.
40. MENEGOL, O. **Índice de Sítio e Relação entre Altura Dominante e Teores Nutricionais das Acículas em Povoamentos de *Pinus elliottii* var. *elliottii* no Segundo Planalto Paranaense**. Curitiba, 1991, 74p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.
41. OLIVEIRA, A.J. **Desenvolvimento de um Sistema Computacional para Simular e Comparar Economicamente as Operações de Reforma, Adensamento e Interplântio em Povoamentos de *Eucalyptus***. Viçosa, 1986. Dissertação Mestrado - Universidade Federal de Viçosa.
42. OLIVEIRA, E. B. de; OLIVEIRA, Y.M.M. de. **SisPinus - Sistema de Simulação do crescimento e da produção de *Pinus elliotti* e *Pinus taeda***. Guia do Usuário. Colombo (PR) : EMBRAPA, 1993. 24p.
43. OLIVEIRA, E.B. de. **Um sistema computadorizado de prognose do crescimento e produção de *Pinus taeda* L., com critérios quantitativos para avaliação técnica e econômica de regimes de manejo**. Curitiba, 1995. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.
44. SANQUETTA, C.R. **Fundamentos biométricos dos modelos de simulação florestal**. Série Didática, n. 8. Curitiba : FUPEF, 1996.
45. SCHNEIDER, P.R. **Introdução ao Manejo Florestal**. Santa Maria : Universidade Federal de Santa Maria, 1993. 348p
46. SCHNEIDER, P.R. & SILVA, J.A. Índice de sítio para acácia negra, *Acacia mearnsii* de Wild. **Brasil Florestal**, v.10, n.42, p.53-58, 1980.
47. SIMÕES, J.W. et al. **Formação, manejo e exploração de florestas com espécies de rápido crescimento**. Brasília : IBDF, 1981. 131p.
48. SISPINUS. North Carolina State University Managed Pine Plantation growth and simulator as modified in cooperation with EMBRAPA/CNPF for Brazilian growth southern Yellow Pine. Versão 2.0. William Lecoy Hafley; Edilson Batista de Oliveira; Yeda Maria Malheiros de Oliveira. EMBRAPA. Colombo (PR), 1994. 1 disquete 3 1/2

49. SMITH, W.D. & HAFLEY, W.L. **Multiproduct yield tables for single-thinned Lobolly pine plantations. Bioeconomic Modeling Project Technical Report No. 2.** School of Forest Resources, North Carolina State University, 1984.
50. _____ **Evaluation of a Lobolly Pine Plantation Thinning Model.** School of Forest Resources, North Carolina State University, 1986.
51. SPAIN, J.D. **Basic Microcomputer Models in Biology.** Grã Bretanha : Addison-Wiley & Sons Inc., 1982.
52. WILLIAMS, Michael R.W. **Decision-Making in Forest Management.** 2. ed. New York : John Wiley & Sons Inc., 1988.