

GIL CANCELLA QUEIROGA

**USO DE MODELOS MATEMÁTICOS DE OTIMIZAÇÃO NO PLANEJAMENTO
DO TRANSPORTE FLORESTAL.**

**CURITIBA
2010**

GIL CANCELLA QUEIROGA

**USO DE MODELOS MATEMÁTICOS DE OTIMIZAÇÃO NO PLANEJAMENTO
DO TRANSPORTE FLORESTAL.**

Monografia apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Gestão Florestal no curso de Pós-Graduação em Gestão Florestal, Departamento de Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Julio Eduardo Arce

**CURITIBA
2010**

SUMÁRIO

RESUMO	1
1 INTRODUÇÃO	2
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
3 MATERIAL E MÉTODOS	7
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	14
5 CONCLUSÕES	19
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	20

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo modelar o transporte florestal visando equilibrar seu custo mensal ao longo de um horizonte de planejamento anual, por meio da programação linear. Foi escolhida uma unidade de produção de carvão vegetal que utiliza florestas próprias de *Eucalyptus spp* plantadas em seu entorno. Esta unidade demanda anualmente 323.136 m³ de madeira sólida com casca, o que corresponde a 26.928 m³ mensais. Para o fornecimento de madeira ao longo do ano de 2010, esta unidade possui 74 talhões em idade de corte distribuídos em cinco projetos com área de efetivo plantio total de 1.836,78 hectares, com volume estimado de 385.869 m³ de madeira. Primeiro foi utilizado o planejamento de transporte realizado pela unidade, obtendo-se o custo anual, o custo médio mensal, o custo unitário e o coeficiente de variação. Em seguida foi realizado um novo planejamento utilizando a programação linear. Os resultados mostraram redução do custo anual e do custo médio mensal em 8,08%, redução no custo unitário (R\$/m³) de madeira transportada em 5,84%, o coeficiente de variação em torno da média dos custos mensais, caiu de 14,88% no planejamento atual da empresa para 4,04% com o planejamento otimizado, equilibrando os custos mensais ao longo do ano.

Palavra-chave: programação linear, transporte florestal, custo de transporte.

ABSTRACT

Use of math models of optimization in Forest transportation planning.

The purpose of this work was to model the forest transport, seeking the smooth of the month costs during a year, using linear programming. A unit of charcoal production that uses own *Eucalyptus spp* forests planted around it was chosen. This unit demands annually 323.136 m³ of solid wood, corresponding to 26.928 m³ monthly. To supply the wood along 2010 this unit has 74 areas of *Eucalyptus spp* plantations in cut age distributed in five projects, which contents 1.836,78 hectares and an estimated volume of wood around 385.869 m³. At first the transport planning used by the unit was used to obtain the annual cost, the medium month cost, the unit cost and the variation coefficient. Then a new planning was realized using the linear programming. The results showed a reduction of annual cost and medium month cost in 8,08%, reduction in unit cost in 5,84% and a reduction in the variation coefficient from 14,88% to 4,04%, smoothing the month cost along the year.

Key-words: linear programming, forest transportation, transports cost.

1 INTRODUÇÃO

A redução de custos de transporte de madeira tem um importante papel no controle financeiro de uma empresa florestal, tendo em vista que é uma das atividades que mais geram custos dentro de uma empresa florestal (BERGER *et al.*, 2003).

Trata-se de uma atividade bastante complexa devido ao grande número de variáveis envolvidas no processo, tais como variáveis climáticas, distâncias entre a floresta e a unidade de recebimento da madeira, custos de manutenção, combustíveis, entre outros (BERGER *et al.*, 2003), o que leva, muitas vezes, as empresas de grande porte decidirem pela terceirização deste serviço, uma vez que a madeira não é seu produto final e que transportar madeira não é sua atividade fim. Com a terceirização, a empresa contratante paga à empresa contratada um valor fixo por volume de madeira transportado de acordo com a distância percorrida, reduzindo assim as variáveis que interferem em seu custo.

O custo mensal do volume a ser transportado passa a ser diretamente proporcional às distâncias dos locais de produção à unidade de recebimento de madeira. Como os trajetos a percorrer e suas distâncias consideradas não sofrem variação dentro do horizonte de planejamento, as alterações na composição dos custos mensais se darão pela variação da distância média mensal.

Neste contexto, o presente trabalho vem abordar o problema do transporte florestal em uma empresa de grande porte do ramo siderúrgico que tem o mesmo terceirizado, apontando alternativas para atingir a otimização do processo do ponto de vista do equilíbrio do custo no decorrer do ano de 2010. Para tanto, foram utilizadas técnicas matemáticas de programação que, segundo BERGER *et al.* (2003), representam uma das mais promissoras ferramentas para equacionar e solucionar o complexo universo de informações que se apresentam no setor de transporte florestal de madeira.

Portanto, o presente trabalho tem como objetivo modelar o transporte florestal visando equilibrar seu custo mensal ao longo de um horizonte de planejamento anual, por meio da utilização da programação linear.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A opção pela modalidade rodoviária como principal meio de transporte de carga é um fenômeno que se observa em nível mundial desde a década de 50, tendo como base a expansão da indústria automobilística associada aos baixos preços dos combustíveis derivados do petróleo (SCHROEDER, 1996).

No Brasil, o transporte de cargas não foi diferente. Este pode ser realizado por meio ferroviário, hidroviário ou rodoviário, sendo em que este último representa 62% de todos os produtos transportados no país e, ainda, 85% de toda a madeira que é transportada no país (STEIN *et al.*, 2001; citado por SILVA *et al.*, 2007).

A movimentação de madeira no Brasil desde o local onde as árvores são abatidas até as indústrias florestais, segundo Machado (2004) pode ser dividida em duas fases: 1) Extração ou também chamado de arraste ou baldeio, podendo ocorrer com tratores agrícolas adaptados, máquinas especializadas, ou dependendo da topografia por sistemas teleféricos. Trata-se da movimentação da madeira desde o local de corte das árvores até pátios intermediários situados nas margens das estradas trafegáveis por caminhões; e 2) transporte principal, geralmente através de caminhões, desde estes últimos pátios até as indústrias. Neste contexto, o transporte principal da madeira representa a última etapa do processo produtivo da matéria-prima florestal. Dele depende a chegada das toras às indústrias ou aos clientes e, conseqüentemente, o retorno econômico na forma de pagamento. Em uma relação produtor-cliente, a quantidade, a qualidade, e principalmente o cumprimento dos prazos de entrega são fatores determinantes para a concretização da operação (ARCE, 1997).

Dentre os custos da madeira como matéria-prima do setor florestal destaca-se o custo do transporte principal, definido como o transporte da madeira colocada na margem das estradas até os locais de aproveitamento comercial, e denominado também de transporte secundário quando referido em termos de seqüência de operações (SEIXAS, 1992; citado por ARCE, 1997).

Existem diversos fatores que afetam o desempenho de caminhões e o custo do transporte rodoviário florestal. Entre estes fatores podem-se citar aqueles relacionados com o tipo de veículo, com a rede rodoviária florestal, com as condições locais (clima e altitude), com o método de trabalho e, ainda, com os fatores inerentes ao ser humano (BERGER *et al.*, 2003).

Segundo Leite (1992), a distância é um dos fatores que mais afetam o custo de transporte e este varia de acordo com a localização da fábrica em relação às áreas de produção da madeira. Seja pelo sistema de transporte rodoviário, ferroviário ou hidroviário, o custo do transporte da madeira varia diretamente com a distância.

Marques (1994), citado por Berger *et al.* (2003), cita também o tempo de carga e de descarga dos caminhões como outro fator que influencia o custo de transporte. Estas operações devem ser planejadas para que sejam o mais rápido e seguro possível e de baixo custo, pois a fila de transporte não está só relacionada com o número de caminhões, mas também com o rendimento ou produtividade dos carregadores.

A madeira é um insumo (ou produto) de baixo valor específico. Ou seja, o seu valor em relação ao seu peso e, ou, volume é baixo. Por isso, o custo de transporte dessa mercadoria é relativamente alto (SILVA *et al.*, 2007). Este custo representa uma parcela significativa no custo final da madeira posta no pátio da fábrica e para a minimização desse custo devem ser utilizados métodos e técnicas eficientes para a obtenção de níveis elevados de eficiência econômica nos setores de exploração e transporte florestal (BRANDT, 1984; citado por BERGER *et al.*, 2003).

A rapidez nos fluxos de transporte, a crescente competitividade dos mercados, as exigências de padrões de qualidade, as expectativas das sociedades quanto ao meio ambiente, são apontados como fatores que pressionam para uma necessidade urgente de se desenvolver e estudar processos de tomada de decisão, particularmente em se tratando de modelos de

otimização que apoiem a atividade de planejamento do transporte principal de madeira (SOUSA *et al.*; 2002).

A utilização de modelos de otimização aparece como uma das principais técnicas de pesquisa operacional aplicadas no planejamento do transporte florestal (SILVA, 2003). Estes modelos auxiliam gerentes em suas tomadas de decisões de formas mais eficientes, considerando as informações atuais disponíveis ou mesmo a busca por informações adicionais que permitam a opção pela melhor decisão (RANDOUTS, 2002; citado por SANTOS, 2008).

Considerando um modelo de planejamento florestal em que as variáveis de decisão representam áreas de unidades de manejo a serem submetidas a um determinado regime de manejo, é comum encontrar como solução para estes modelos subdivisões dessas unidades entre diferentes regimes de manejo (SILVA, 2003). Essas soluções podem ser indesejáveis do ponto de vista operacional. Situações que envolvem variáveis inteiras são comuns no manejo florestal, justificando, portanto, o estudo de métodos de solução de problemas de Programação Matemática com restrições de integridade (SILVA, 2003).

Segundo Souza (2004), os métodos de solução de programação linear inteira tem alto custo computacional e, dependendo da grandeza do problema podem ser até insolúveis. Gunn e Rai (1987), citados por Souza (2004), afirmam que devido à incerteza proveniente dos dados, pode ser mais conveniente utilizar métodos que apresentem soluções próximas da ótima, mas com esforço computacional menor, do que métodos exatos.

Com este intuito as heurísticas tem se destacado na solução de problemas de programação inteira. Alguns exemplos incluem os trabalhos de Yoshimoto & Brodie (1994a), Weintraub *et al.* (1994), Murray & Church (1996) e Nobre (1999) (RODRIGUES *et al.*, 2004). Técnicas heurísticas mais sofisticadas, como as chamadas metaheurísticas, têm sido ainda pouco exploradas. As principais metaheurísticas com grande potencial de aplicação na solução de problemas de planejamento florestal são: algoritmos genéticos (AG) (HOLLAND, 1975; GOLDBERG, 1989), busca tabu (BT) (GLOVER, 1977) e Simulated Annealing (SA) (KIRKPARTRICK *et al.*, 1983; CERNY, 1985) (RODRIGUES *et al.*, 2004). As

facilidades de implementação e a grande eficiência dessas técnicas são as suas principais vantagens em relação às heurísticas convencionais (RODRIGUES *et al.*, 2004).

3 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido em uma empresa do ramo siderúrgico que tem a madeira proveniente de florestas próprias plantadas de eucalipto como matéria prima para produção de carvão vegetal. Por sua vez, o carvão é transportado para suas usinas para ser utilizado como matéria prima para produção de ferro gusa.

A empresa possui uma área florestal extensa (70.000 ha de *Eucalyptus* spp.), sendo utilizado para este trabalho apenas uma de suas unidades de produção de carvão com as florestas implantadas no seu entorno (aproximadamente 14.000 ha). Esta planta possui 68 fornos retangulares com capacidade de produção anual de 238.924 metros estéreos de carvão, perfazendo uma produção mensal de 19.910 metros estéreos de carvão. A demanda anual da planta por madeira é estimada em 323.136 metros cúbicos de madeira sólida com casca, o que corresponde a 26.928 metros cúbicos mensais.

Para o fornecimento de madeira ao longo do ano de 2010, esta unidade possui 74 talhões em idade de corte distribuídos em cinco projetos com área de efetivo plantio total de 1.836,78 hectares. O volume estimado de madeira pelo inventário florestal é de 385.869 metros cúbicos de madeira.

O planejamento de transporte florestal atual da empresa parte desta lista de talhões em idade de corte e estabelece a seqüência de talhões a serem transportados de acordo com os seguintes critérios:

- Idade de corte mínimo;
- Idade de plantio (corta-se primeiro os plantios mais velhos);
- Produtividade do material genético (corta-se primeiro materiais menos produtivos);
- Facilidade ou dificuldade de transporte em épocas chuvosas.

Para determinar as distâncias entre a unidade de produção e os locais de produção foi utilizado o método de quadrantes (ARCE, 1997), no qual é determinada uma rede de quadrantes pela Gerência de Transportes da empresa florestal, onde cada quadrante pode ser definido como uma área perfeitamente localizada nos mapas e no terreno, homogênea no que se refere às condições de

acesso, tráfego, caminhos, etc., de tal maneira que possa ser assumido que todos os pontos contidos no interior dele estão localizados à mesma distância (ou tempo de viagem) de qualquer um dos demais quadrantes.

O transporte das toras é realizado por uma empresa terceirizada. A unidade utilizada no pagamento do transporte é o metro cúbico de madeira transportada e o preço sofre variação de acordo apenas com a distância percorrida. Custos de deslocamento entre os locais de produção não são considerados.

3.1 O PROBLEMA

Foi considerada a produção de 74 locais de produção (talhões) de 5 projetos distintos da empresa, com área total de 1.836,78 ha, conforme **Quadro 1**.

QUADRO 1 – LOCAIS DE PRODUÇÃO COM SUAS RESPECTIVAS ÁREAS, DATAS DE PLANTIO E VOLUMES ESTIMADOS.

i	Projeto	Talhão	Área (ha)	Plantio	Volume total (m ³)	i	Projeto	Talhão	Área (ha)	Plantio	Volume total (m ³)
01	Projeto 01	49	25,38	01/2002	4.127	38	Projeto 02	4	33,26	10/2001	8.224
02	Projeto 01	50	31,25	01/2002	5.081	39	Projeto 02	3	38,85	10/2001	9.606
03	Projeto 01	52	27,94	01/2002	5.710	40	Projeto 03	19	22,20	11/2004	3.795
04	Projeto 01	53	30,78	01/2002	6.290	41	Projeto 03	18	6,14	11/2004	1.283
05	Projeto 01	66	16,59	01/2002	3.554	42	Projeto 03	21	30,33	11/2004	6.808
06	Projeto 01	70	11,11	01/2002	2.270	43	Projeto 03	17	15,62	12/2004	3.540
07	Projeto 01	73	24,10	01/2002	4.925	44	Projeto 03	16	29,50	12/2004	6.622
08	Projeto 01	75	30,01	01/2002	6.133	45	Projeto 03	12	24,09	12/2004	5.459
09	Projeto 01	76	28,12	01/2002	5.747	46	Projeto 03	13	21,69	11/2004	4.869
10	Projeto 01	77	38,85	01/2002	7.939	47	Projeto 03	14	24,78	11/2004	5.616
11	Projeto 01	80	27,38	01/2002	5.595	48	Projeto 03	15	16,03	11/2004	3.633
12	Projeto 01	81	37,72	01/2002	7.708	49	Projeto 03	11	12,12	11/2004	2.720
13	Projeto 01	111	27,69	01/2002	5.665	50	Projeto 03	10	17,57	11/2004	3.944
14	Projeto 01	112	24,37	01/2002	4.980	51	Projeto 03	9	38,15	12/2004	8.563
15	Projeto 01	113	34,25	01/2002	6.999	52	Projeto 03	8	17,30	12/2004	3.441
16	Projeto 01	115	28,22	01/2002	5.767	53	Projeto 03	3	29,04	12/2004	6.518
17	Projeto 01	116	18,02	01/2002	3.533	54	Projeto 03	2	9,71	12/2004	2.029
18	Projeto 01	117	33,96	01/2002	6.940	55	Projeto 03	1	8,15	12/2004	1.703
19	Projeto 01	71	23,14	01/2002	4.957	56	Projeto 04	1	18,96	03/2004	4.081
20	Projeto 01	72	21,16	01/2002	4.532	57	Projeto 04	2	19,83	03/2004	5.721
21	Projeto 01	78	17,90	01/2002	3.834	58	Projeto 04	3	15,47	03/2004	2.609
22	Projeto 01	106	6,15	01/2002	1.317	59	Projeto 04	4	16,78	03/2004	3.449
23	Projeto 01	107	18,47	01/2002	3.956	60	Projeto 04	5	11,47	03/2004	3.550
24	Projeto 01	108	14,03	01/2002	3.005	61	Projeto 04	6	29,17	03/2004	8.415
25	Projeto 01	109	28,94	01/2002	6.199	62	Projeto 04	7	16,98	03/2004	3.529
26	Projeto 01	114	27,44	01/2002	5.878	63	Projeto 04	9	35,72	03/2004	7.424
27	Projeto 01	118	9,93	01/2002	2.127	64	Projeto 04	8	26,67	03/2004	5.482
28	Projeto 01	119	19,84	01/2002	4.250	65	Projeto 05	1	37,03	08/2004	5.637
29	Projeto 01	120	22,12	01/2002	4.738	66	Projeto 05	2	46,34	08/2004	8.052
30	Projeto 01	121	16,68	01/2002	3.573	67	Projeto 05	3	48,22	08/2004	8.379
31	Projeto 01	122	24,58	01/2002	5.265	68	Projeto 05	4	14,38	08/2004	3.054
32	Projeto 01	123	12,64	01/2002	2.707	69	Projeto 05	5	24,12	10/2004	3.945
33	Projeto 02	11	40,23	10/2001	8.835	70	Projeto 05	6	24,20	10/2004	3.958
34	Projeto 02	10	39,22	10/2001	9.698	71	Projeto 05	7	33,76	10/2004	5.522
35	Projeto 02	9	22,20	09/2001	5.489	72	Projeto 05	8	22,64	09/2004	4.461
36	Projeto 02	8	31,39	10/2001	7.761	73	Projeto 05	9	29,17	09/2004	4.771
37	Projeto 02	7	39,33	10/2001	9.725	74	Projeto 05	10	40,21	09/2004	8.647

Para o presente estudo, definiu-se um problema de planejamento florestal com as seguintes suposições:

- a. Pretende-se realizar o planejamento do transporte principal de madeira dos 74 locais de produção para uma unidade de produção;
- b. A demanda mensal desta planta de carbonização é de 26.928 metros cúbicos de madeira, aceitando-se como demanda mínima 25.704,00 m³. e demanda máxima 31.416,00 m³.
- c. A idade mínima de corte é de 5,5 anos; sendo que após o corte, a madeira permanece por 90 dias no campo para secagem, e só após este prazo está liberada para o transporte;
- d. O volume de madeira disponível em cada local de produção foi fornecido pelo inventário florestal da empresa estudada;
- e. O custo do transporte varia apenas com a distância entre os locais de produção e a planta de carbonização.
- f. O custo mensal é o somatório dos custos das quantidades transportadas no decorrer de um determinado mês. Foi considerado como custo mínimo mensal R\$ 85.000,00 e como custo máximo R\$ 95.000,00.

3.2 O MODELO DE TRANSPORTE ADAPTADO

Será empregado neste trabalho uma modificação do modelo de transporte clássico, que tem por objetivo geral minimizar o custo global de transporte de um produto entre diferentes locais de origem para dois ou mais destinos.

- Função Objetivo:

$$MINZ = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N C_{ij} X_{ij}$$

Esta função tem por objetivo minimizar o custo do transporte de um determinado volume de madeira do i-ésimo local de produção no j-ésimo mês do horizonte de planejamento.

- Restrições:

- a) Restrição de demanda mensal

$$\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N X_{ij} \leq DMaxj$$

$$\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N X_{ij} \geq DMinj$$

Esta restrição expressa que o volume mensal transportado deve estar entre as demandas mensais mínima (DMinj) e a máxima (DMaxj) por madeira da planta de carbonização.

- b) Restrição de produção por talhão

$$\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N X_{ij} \leq Vi$$

Esta restrição expressa que o somatório do volume transportado de cada talhão deve ser menor ou igual ao volume de madeira disponível no talhão informado pelo inventário da empresa.

Abaixo é apresentado um resumo com as restrições 1 e 2 (Quadro 2).

QUADRO 2 – RESTRIÇÕES DE VOLUME DISPONÍVEL POR TALHÃO E DE DEMANDA MENSAL.

l\j	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	V _i
1	X11	X12	X13	X14	X15	X16	X17	X18	X19	X110	X111	X112	= 4.126,8
2	X21	X22	X23	X24	X25	X26	X27	X28	X29	X210	X211	X212	= 5.081,3
3	X31	X32	X33	X34	X35	X36	X37	X38	X39	X310	X311	X312	= 5.709,8
4	X41	X42	X43	X44	X45	X46	X47	X48	X49	X410	X411	X412	= 6.290,2
5	X51	X52	X53	X54	X55	X56	X57	X58	X59	X510	X511	X512	= 3.553,6
6	X61	X62	X63	X64	X65	X66	X67	X68	X69	X610	X611	X612	= 2.270,4
7	X71	X72	X73	X74	X75	X76	X77	X78	X79	X710	X711	X712	= 4.925,1
8	X81	X82	X83	X84	X85	X86	X87	X88	X89	X810	X811	X812	= 6.132,8
9	X91	X92	X93	X94	X95	X96	X97	X98	X99	X910	X911	X912	= 5.746,6
10	X101	X102	X103	X104	X105	X106	X107	X108	X109	X1010	X1011	X1012	= 7.939,4
11	X111	X112	X113	X114	X115	X116	X117	X118	X119	X1110	X1111	X1112	= 5.595,4
12	X121	X122	X123	X124	X125	X126	X127	X128	X129	X1210	X1211	X1212	= 7.708,5
13	X131	X132	X133	X134	X135	X136	X137	X138	X139	X1310	X1311	X1312	= 5.665,4
14	X141	X142	X143	X144	X145	X146	X147	X148	X149	X1410	X1411	X1412	= 4.980,3
15	X151	X152	X153	X154	X155	X156	X157	X158	X159	X1510	X1511	X1512	= 6.999,3
16	X161	X162	X163	X164	X165	X166	X167	X168	X169	X1610	X1611	X1612	= 5.767,0
17	X171	X172	X173	X174	X175	X176	X177	X178	X179	X1710	X1711	X1712	= 3.533,4
18	X181	X182	X183	X184	X185	X186	X187	X188	X189	X1810	X1811	X1812	= 6.940,1
19	X191	X192	X193	X194	X195	X196	X197	X198	X199	X1910	X1911	X1912	= 4.956,6
20	X201	X202	X203	X204	X205	X206	X207	X208	X209	X2010	X2011	X2012	= 4.532,5
21	X211	X212	X213	X214	X215	X216	X217	X218	X219	X2110	X2111	X2112	= 3.834,2
22	X221	X222	X223	X224	X225	X226	X227	X228	X229	X2210	X2211	X2212	= 1.317,3
23	X231	X232	X233	X234	X235	X236	X237	X238	X239	X2310	X2311	X2312	= 3.956,3
24	X241	X242	X243	X244	X245	X246	X247	X248	X249	X2410	X2411	X2412	= 3.005,2
25	X251	X252	X253	X254	X255	X256	X257	X258	X259	X2510	X2511	X2512	= 6.198,9
26	X261	X262	X263	X264	X265	X266	X267	X268	X269	X2610	X2611	X2612	= 5.877,6
27	X271	X272	X273	X274	X275	X276	X277	X278	X279	X2710	X2711	X2712	= 2.127,0
28	X281	X282	X283	X284	X285	X286	X287	X288	X289	X2810	X2811	X2812	= 4.249,7
29	X291	X292	X293	X294	X295	X296	X297	X298	X299	X2910	X2911	X2912	= 4.738,1
30	X301	X302	X303	X304	X305	X306	X307	X308	X309	X3010	X3011	X3012	= 3.572,9
31	X311	X312	X313	X314	X315	X316	X317	X318	X319	X3110	X3111	X3112	= 5.265,0
32	X321	X322	X323	X324	X325	X326	X327	X328	X329	X3210	X3211	X3212	= 2.707,5
33	X331	X332	X333	X334	X335	X336	X337	X338	X339	X3310	X3311	X3312	= 8.834,5
34	X341	X342	X343	X344	X345	X346	X347	X348	X349	X3410	X3411	X3412	= 9.697,5
35	X351	X352	X353	X354	X355	X356	X357	X358	X359	X3510	X3511	X3512	= 5.489,2
36	X361	X362	X363	X364	X365	X366	X367	X368	X369	X3610	X3611	X3612	= 7.761,5
37	X371	X372	X373	X374	X375	X376	X377	X378	X379	X3710	X3711	X3712	= 9.724,7
38	X381	X382	X383	X384	X385	X386	X387	X388	X389	X3810	X3811	X3812	= 8.223,9
39	X391	X392	X393	X394	X395	X396	X397	X398	X399	X3910	X3911	X3912	= 9.606,1
40								X408	X409	X4010	X4011	X4012	= 3.794,9
41								X418	X419	X4110	X4111	X4112	= 1.283,1
42								X428	X429	X4210	X4211	X4212	= 6.807,9
43								X438	X439	X4310	X4311	X4312	= 3.539,8
44								X448	X449	X4410	X4411	X4412	= 6.621,6
45								X458	X459	X4510	X4511	X4512	= 5.459,3
46								X468	X469	X4610	X4611	X4612	= 4.868,5
47								X478	X479	X4710	X4711	X4712	= 5.615,6
48								X488	X489	X4810	X4811	X4812	= 3.632,7
49								X498	X499	X4910	X4911	X4912	= 2.720,5
50								X508	X509	X5010	X5011	X5012	= 3.943,8
51									X519	X5110	X5111	X5112	= 8.563,1
52									X529	X5210	X5211	X5212	= 3.441,0
53									X539	X5310	X5311	X5312	= 6.518,3
54									X549	X5410	X5411	X5412	= 2.029,2
55									X559	X5510	X5511	X5512	= 1.703,2
56	X561	X562	X563	X564	X565	X566	X567	X568	X569	X5610	X5611	X5612	= 4.080,6
57	X571	X572	X573	X574	X575	X576	X577	X578	X579	X5710	X5711	X5712	= 5.720,6
58	X581	X582	X583	X584	X585	X586	X587	X588	X589	X5810	X5811	X5812	= 2.609,2
59	X591	X592	X593	X594	X595	X596	X597	X598	X599	X5910	X5911	X5912	= 3.449,3
60	X601	X602	X603	X604	X605	X606	X607	X608	X609	X6010	X6011	X6012	= 3.549,7
61	X611	X612	X613	X614	X615	X616	X617	X618	X619	X6110	X6111	X6112	= 8.415,0
62	X621	X622	X623	X624	X625	X626	X627	X628	X629	X6210	X6211	X6212	= 3.529,1
63	X631	X632	X633	X634	X635	X636	X637	X638	X639	X6310	X6311	X6312	= 7.424,0
64	X641	X642	X643	X644	X645	X646	X647	X648	X649	X6410	X6411	X6412	= 5.482,3
65					X655	X656	X657	X658	X659	X6510	X6511	X6512	= 5.636,7
66					X665	X666	X667	X668	X669	X6610	X6611	X6612	= 8.052,0
67					X675	X676	X677	X678	X679	X6710	X6711	X6712	= 8.378,7
68					X685	X686	X687	X688	X689	X6810	X6811	X6812	= 3.054,3
69							X697	X698	X699	X6910	X6911	X6912	= 3.945,1
70							X707	X708	X709	X7010	X7011	X7012	= 3.958,2
71							X717	X718	X719	X7110	X7111	X7112	= 5.521,8
72						X726	X727	X728	X729	X7210	X7211	X7212	= 4.461,0
73						X736	X737	X738	X739	X7310	X7311	X7312	= 4.771,0
74						X746	X747	X748	X749	X7410	X7411	X7412	= 8.646,8
Dj	26928	26928	26928	26928	26928	26928	26928	26928	26928	26928	26928	26928	

c) Restrição de equilíbrio mensal do custo.

$$\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N C_{ij} X_{ij} \geq CMin_j$$

$$\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N C_{ij} X_{ij} \leq CMax_j$$

Para alcançar o objetivo deste trabalho esta restrição foi colocada para estabelecer que os custos mensais fiquem dentro do intervalo estabelecido pelos custos mínimo mensal ($CMin_j$) e custo máximo mensal ($CMax_j$).

d) Restrição de não negatividade

$$X_{ij} \geq 0 \quad \forall i; \forall j$$

em que:

X_{ij} = variável de decisão, representando o volume transportado do i -ésimo local de produção no j -ésimo mês do horizonte de planejamento.

C_{ij} = Custo apurado do transporte de X_{ij} do i -ésimo local de produção no j -ésimo mês do horizonte de planejamento.

$DMax_j$ e $DMin_j$ = Demandas máxima e mínima de madeira respectivamente no j -ésimo mês do horizonte de planejamento.

$CMax_j$ e $CMin_j$ = Custo mensal máximo e mínimo do transporte de madeira respectivamente no j -ésimo mês do horizonte de planejamento.

V_i = Volume de madeira apurado em cada i -ésimo local de produção.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 CUSTOS MENSAIS SEM O PLANEJAMENTO OTIMIZADO

Inicialmente, utilizando o planejamento real da empresa, calculamos o custo global, o custo mensal e o custo unitário do transporte florestal para o ano de 2010. Segue no Quadro 3 o planejamento mensal detalhado com os volumes por talhão e por mês.

O volume total a ser transportado é de 315.959,29 m³, com volume médio de 26.329,94 m³ por mês durante o ano de 2010. No Gráfico 1 abaixo segue a distribuição dos volumes ao longo do horizonte de planejamento.

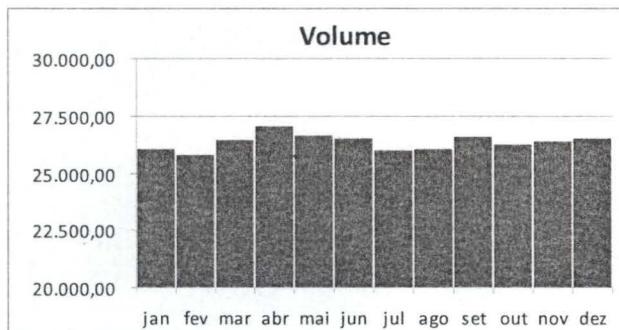


GRÁFICO 1 – DISTRIBUIÇÃO DOS VOLUMES A SER TRANSPORTADOS POR MÊS.

O custo anual calculado para este caso foi de R\$ 1.156.943,44 com custo médio mensal de R\$ 96.411,95. O coeficiente de variação do custo mensal em torno do custo mensal médio foi de 14,88%. O custo por unidade (R\$/m³) de madeira transportada foi de R\$ 3,66. Segue no Gráfico 2 a distribuição dos custos mensais ao longo do horizonte de planejamento.

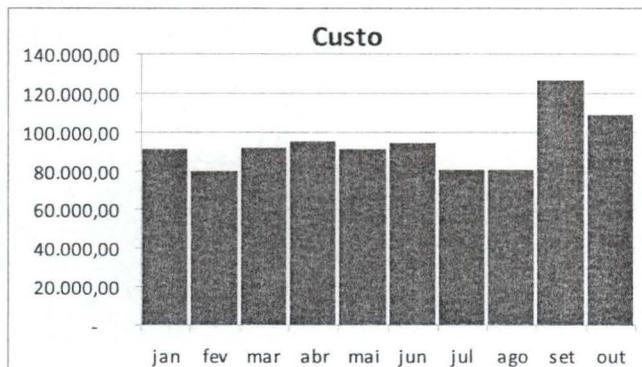


GRÁFICO 2 – DISTRIBUIÇÃO DOS CUSTOS MENSAIS NO HORIZONTE DE PLANEJAMENTO.

QUADRO 3 – QUADRO CONTENDO O PLANEJAMENTO DE VOLUME DE MADEIRA A SER TRANSPORTADO POR TALHÃO POR MÊS, DE ACORDO COM O PLANEJAMENTO REAL DA EMPRESA.

Projeto	Talhão	i	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
Projeto 01	49	1	4.126,78	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Projeto 01	50	2	5.081,25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Projeto 01	52	3	5.709,82	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Projeto 01	53	4	6.290,20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Projeto 01	66	5	3.553,58	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Projeto 01	70	6	1.270,44	1.000,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Projeto 01	73	7	-	4.925,08	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Projeto 01	75	8	-	6.132,84	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Projeto 01	76	9	-	5.746,60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Projeto 01	77	10	-	7.939,39	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Projeto 01	80	11	-	-	5.595,38	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Projeto 01	81	12	-	-	7.708,46	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Projeto 01	111	13	-	-	5.665,37	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Projeto 01	112	14	-	-	4.980,25	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Projeto 01	113	15	-	-	2.499,33	4.500,00	-	-	-	-	-	-	-	-
Projeto 01	115	16	-	-	-	5.767,04	-	-	-	-	-	-	-	-
Projeto 01	115	17	-	-	-	5.767,04	-	-	-	-	-	-	-	-
Projeto 01	117	18	-	-	-	6.940,06	-	-	-	-	-	-	-	-
Projeto 01	71	19	-	-	-	4.026,00	930,58	-	-	-	-	-	-	-
Projeto 01	72	20	-	-	-	-	4.532,47	-	-	-	-	-	-	-
Projeto 01	78	21	-	-	-	-	3.834,18	-	-	-	-	-	-	-
Projeto 01	106	22	-	-	-	-	1.317,33	-	-	-	-	-	-	-
Projeto 01	107	23	-	-	-	-	3.956,27	-	-	-	-	-	-	-
Projeto 01	108	24	-	-	-	-	3.005,22	-	-	-	-	-	-	-
Projeto 01	109	25	-	-	-	-	6.198,94	-	-	-	-	-	-	-
Projeto 01	114	26	-	-	-	-	2.877,64	3.000,00	-	-	-	-	-	-
Projeto 01	118	27	-	-	-	-	-	2.127,00	-	-	-	-	-	-
Projeto 01	119	28	-	-	-	-	-	4.249,72	-	-	-	-	-	-
Projeto 01	120	29	-	-	-	-	-	4.738,10	-	-	-	-	-	-
Projeto 01	121	30	-	-	-	-	-	3.572,85	-	-	-	-	-	-
Projeto 01	122	31	-	-	-	-	-	5.265,03	-	-	-	-	-	-
Projeto 01	123	32	-	-	-	-	-	2.707,48	-	-	-	-	-	-
Projeto 02	11	33	-	-	-	-	-	834,50	8.000,00	-	-	-	-	-
Projeto 02	10	34	-	-	-	-	-	-	9.697,53	-	-	-	-	-
Projeto 02	9	35	-	-	-	-	-	-	5.489,17	-	-	-	-	-
Projeto 02	8	36	-	-	-	-	-	-	2.761,49	5.000,00	-	-	-	-
Projeto 02	7	37	-	-	-	-	-	-	-	9.724,73	-	-	-	-
Projeto 02	4	38	-	-	-	-	-	-	-	8.223,86	-	-	-	-
Projeto 02	3	39	-	-	-	-	-	-	-	-	3.106,05	-	-	-
Projeto 03	19	40	-	-	-	-	-	-	-	-	6.500,00	-	-	-
Projeto 03	18	41	-	-	-	-	-	-	-	-	3.794,86	-	-	-
Projeto 03	21	42	-	-	-	-	-	-	-	-	1.283,13	-	-	-
Projeto 03	17	43	-	-	-	-	-	-	-	-	6.807,87	-	-	-
Projeto 03	16	44	-	-	-	-	-	-	-	-	3.539,80	-	-	-
Projeto 03	12	45	-	-	-	-	-	-	-	-	4.621,57	2.000,00	-	-
Projeto 03	13	46	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5.459,00	-	-
Projeto 03	14	47	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.869,00	-	-
Projeto 03	15	48	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5.616,00	-	-
Projeto 03	11	49	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.633,00	-	-
Projeto 03	10	50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.720,00	-	-
Projeto 03	9	51	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.944,00	2.000,00	-
Projeto 03	8	52	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8.563,00	-
Projeto 03	3	53	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.441,00	-
Projeto 03	2	54	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6.518,00	-
Projeto 03	1	55	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.029,00	-
Projeto 04	1	56	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.703,00	-
Projeto 04	2	57	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.080,57	2.000,00
Projeto 04	3	58	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5.720,55
Projeto 04	4	59	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.297,89
Projeto 04	5	60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.449,00
Projeto 04	6	61	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.550,00
Projeto 04	7	62	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8.415,00
Projeto 04	9	63	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.029,00
Projeto 04	8	64	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Projeto 05	1	65	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Projeto 05	2	66	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Projeto 05	3	67	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Projeto 05	4	68	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Projeto 05	5	69	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Projeto 05	6	70	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Projeto 05	7	71	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Projeto 05	8	72	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Projeto 05	9	73	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Projeto 05	10	74	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Totais			26.032,07	25.743,91	26.448,79	27.000,14	26.652,63	26.494,68	25.948,19	26.054,64	26.547,23	26.241,00	26.334,57	26.461,44

4.2 CUSTOS MENSAIS NO PLANEJAMENTO OTIMIZADO

Com os resultados do planejamento otimizado, obteve-se também o custo global, custo mensal e custo unitário do transporte florestal para o ano de 2010. Segue no Quadro 4, o planejamento mensal detalhado com os volumes por talhão e por mês.

O volume total a ser transportado é de 308.448,00 m³, com volume médio de 25.704,00 m³ por mês durante o ano de 2010. No Gráfico 3 segue a distribuição dos volumes ao longo do horizonte de planejamento.

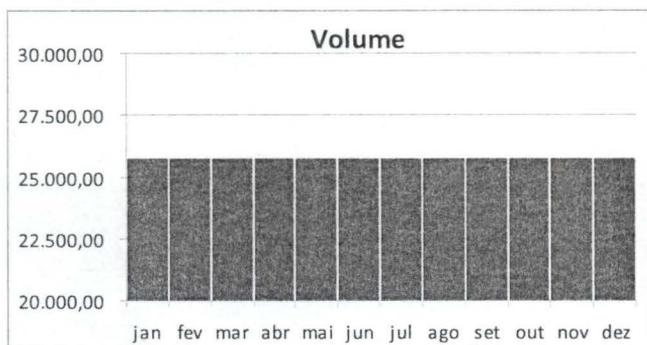


GRÁFICO 3 – DISTRIBUIÇÃO DOS VOLUMES A SER TRANSPORTADOS POR MÊS DE ACORDO COM O PLANEJAMENTO OTIMIZADO.

O custo anual calculado para este caso foi de R\$ 1.063.466,87 com custo médio mensal de R\$ 88.622,24. O coeficiente de variação do custo mensal em torno do custo mensal médio foi de 4,04%. O custo por unidade (R\$/m³) de madeira transportada foi de R\$ 3,45. Segue no Gráfico 4 a distribuição dos custos mensais ao longo do horizonte de planejamento.

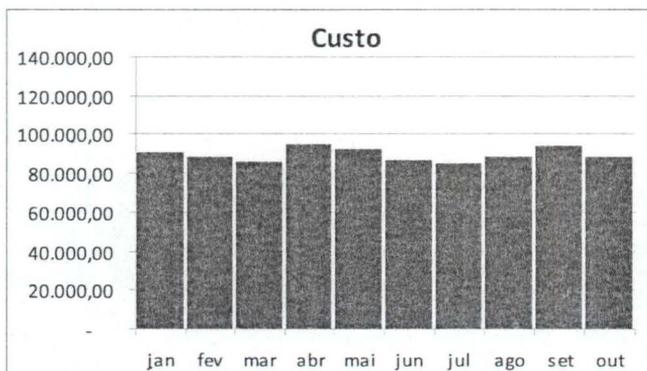


GRÁFICO 2 – DISTRIBUIÇÃO DOS CUSTOS MENSAIS NO HORIZONTE DE PLANEJAMENTO.

QUADRO 4 – QUADRO CONTENDO O PLANEJAMENTO DE VOLUME DE MADEIRA A SER TRANSPORTADO POR TALHÃO POR MÊS, DE ACORDO COM O PLANEJAMENTO OTIMIZADO.

Projeto	Talhão	i	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
Projeto 01	49	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.126,78	-	-
Projeto 01	50	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5.081,25
Projeto 01	52	3	-	-	-	-	-	-	-	5.613,18	-	-	-	96,63
Projeto 01	53	4	-	-	-	-	-	-	-	6.290,20	-	-	-	-
Projeto 01	66	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.553,57	-	-
Projeto 01	70	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.270,43	-	-
Projeto 01	73	7	-	-	4.925,07	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Projeto 01	75	8	-	-	4.921,55	-	-	-	1.211,29	-	-	-	-	-
Projeto 01	76	9	-	-	-	-	-	-	-	908,47	-	-	-	4.838,13
Projeto 01	77	10	-	-	-	227,7453	-	7.711,64	-	-	-	-	-	-
Projeto 01	80	11	-	-	-	5.595,37	-	-	-	-	-	-	-	-
Projeto 01	81	12	-	-	-	-	-	-	-	2.036,29	-	-	5.672,16	-
Projeto 01	111	13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5.665,37	-
Projeto 01	112	14	-	-	-	-	-	4.980,25	-	-	-	-	-	-
Projeto 01	113	15	-	-	6.999,33	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Projeto 01	115	16	-	5.767,03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Projeto 01	116	17	-	3.533,36	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Projeto 01	117	18	-	-	-	6.940,06	-	-	-	-	-	-	-	-
Projeto 01	71	19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.956,58
Projeto 01	72	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.532,47
Projeto 01	78	21	-	175,11	-	-	-	3.659,07	-	-	-	-	-	-
Projeto 01	106	22	1.317,33	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Projeto 01	107	23	3.956,27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Projeto 01	108	24	-	-	-	-	-	3.005,22	-	-	-	-	-	-
Projeto 01	109	25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6.198,94
Projeto 01	114	26	-	5.877,64	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Projeto 01	118	27	-	2.127,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Projeto 01	119	28	-	-	-	-	-	4.249,72	-	-	-	-	-	-
Projeto 01	120	29	-	-	2.640,00	-	-	2.098,11	-	-	-	-	-	-
Projeto 01	121	30	-	-	3.572,85	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Projeto 01	122	31	5.265,03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Projeto 01	123	32	-	-	-	2.707,48	-	-	-	-	-	-	-	-
Projeto 02	11	33	-	-	-	-	-	-	-	8.834,50	-	-	-	-
Projeto 02	10	34	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9.697,53	-	-
Projeto 02	9	35	-	-	-	-	-	-	5.489,17	-	-	-	-	-
Projeto 02	8	36	-	-	2.645,20	-	-	-	-	-	-	-	5.116,29	-
Projeto 02	7	37	-	-	-	-	-	-	-	-	9.724,73	-	-	-
Projeto 02	4	38	-	8.223,86	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Projeto 02	3	39	9.606,05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Projeto 03	19	40	-	-	-	-	-	-	-	-	3.794,86	-	-	-
Projeto 03	18	41	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.283,13	-	-
Projeto 03	21	42	-	-	-	-	-	-	-	-	6.807,87	-	-	-
Projeto 03	17	43	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.521,64	18,15888	-
Projeto 03	16	44	-	-	-	-	-	-	2.021,36	1.431,48	1.250,92	-	-	-
Projeto 03	12	45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Projeto 03	13	46	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Projeto 03	14	47	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Projeto 03	15	48	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Projeto 03	11	49	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Projeto 03	10	50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Projeto 03	9	51	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Projeto 03	8	52	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Projeto 03	3	53	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Projeto 03	2	54	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Projeto 03	1	55	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Projeto 04	1	56	-	-	-	4.080,57	-	-	-	-	-	-	-	-
Projeto 04	2	57	4.261,43	-	-	-	582,26	-	876,8625	-	-	-	-	-
Projeto 04	3	58	1.297,89	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Projeto 04	4	59	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Projeto 04	5	60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Projeto 04	6	61	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Projeto 04	7	62	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Projeto 04	9	63	-	-	-	6.152,78	-	-	-	-	-	-	-	-
Projeto 04	8	64	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Projeto 05	1	65	-	-	-	-	5.636,70	-	-	-	-	-	-	-
Projeto 05	2	66	-	-	-	-	8.052,03	-	-	-	-	-	-	-
Projeto 05	3	67	-	-	-	-	8.378,70	-	-	-	-	-	-	-
Projeto 05	4	68	-	-	-	-	3.054,31	-	-	-	-	-	-	-
Projeto 05	5	69	-	-	-	-	-	-	-	-	3.945,06	-	-	-
Projeto 05	6	70	-	-	-	-	-	-	3.958,15	-	-	-	-	-
Projeto 05	7	71	-	-	-	-	-	-	5.521,78	-	-	-	-	-
Projeto 05	8	72	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.460,98	-
Projeto 05	9	73	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.771,04	-
Projeto 05	10	74	-	-	-	-	-	-	8.646,75	-	-	-	-	-
Totais			25.704,00	25.704,00	25.704,00	25.704,00	25.704,00	25.704,00	25.704,00	25.704,00	25.704,00	25.704,00	25.704,00	25.704,00

4.3 DISCUSSÕES

- Com a utilização da programação linear, o volume total a ser transportado passou de 315.959,29 m³ do planejamento atual da empresa para 308.448,00 m³ no planejamento otimizado. O volume médio reduziu de 26.329,94 m³ para o mínimo aceitável de 25.704,00 m³.
- O custo anual calculado reduziu 8,08% passando de R\$ 1.156.943,44 no planejamento atual da empresa para R\$ 1.063.466,87 com o planejamento otimizado. O custo médio mensal também reduziu 8,08% passando de R\$ 96.411,95 para R\$ 88.622,24.
- O custo por unidade (R\$/m³) de madeira transportada reduziu 5,84% caindo de R\$ 3,66 no planejamento atual da empresa para R\$ 3,45 com o planejamento otimizado, diminuindo o custo unitário da matéria prima.
- O coeficiente de variação em torno da média dos custos mensais, caiu de 14,88% no planejamento atual da empresa para 4,04% com o planejamento otimizado, equilibrando os dispêndios financeiros mensais ao longo do ano.

5 CONCLUSÕES

- Com o uso da programação linear obteve-se redução no custo financeiro anual do transporte florestal principal, obteve-se equilíbrio nos custos mensais e redução do custo unitário da madeira transportada.
- Observou-se que, para a melhor operacionalização do planejamento otimizado, há necessidade de incluir na equação outras variáveis, tais como, o deslocamento de máquinas entre talhões e projetos, a influência do regime de chuvas e influência do material genético.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARCE, J. E. **Um sistema de programação do transporte principal de multiprodutos florestais visando a minimização dos custos.** Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná - UFPR. Curitiba. 1997.

BERGER, R.; TIMOFEICZYK JR, R.; CARNIERI, C.; LACOWICZ, P. G.; JUNIOR, J. S.; BRASIL, A. A. Minimização de custos de transporte florestal com a utilização da programação linear. **Revista Floresta**, Curitiba, v.33, n.1, p. 53-62, 2003

LEITE, A. M. P. **Análise dos fatores que afetam o desempenho de veículos e o custo de transporte de madeira no distrito florestal do Vale do Rio Doce, MG.** Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa - UFV. Viçosa. 1992.

MACHADO, C. C. **Colheita Florestal.** 1. reimp. Viçosa: UFV, Imprensa Universitária, 2004. 468 p.

RODRIGUES, F. L.; LEITE, H. G.; SANTOS, H. N. SOUZA, A. L.; SILVA, M. L. Metaheurística Algoritmo Genético para solução de problemas de planejamento florestal com restrições de integridade. **R. Árvore**, Viçosa, v.28, n.2, p.233-245, 2004

SCHROEDER, E. M.; CASTRO, J. C. Transporte Rodoviário de Carga: Situação Atual e Perspectivas. Disponível em: http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/bndes/bndes_pt/Institucional/Publicacoes/Consulta_Expressa/Setor/Transporte_Rodoviario/199612_1.html Acesso em: 01/10/2009.

SANTOS, F. L. **Regulação da produção de floresta de Eucalipto submetida a desbaste E destinada a multiprodutos.** Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa - UFV. Viçosa. 2008.

SILVA, M. L.; Oliveira, R. J.; Valverde, S. R.; Machado, C. C.; Pires, V. A. V. Análise do custo e do raio econômico de transporte de madeira de reflorestamentos para diferentes tipos de veículos. **R. Árvore**, Viçosa, v.31, n.6, p.1073-1079, 2007

SILVA, G. F.; LEITE, H. G.; SILVA, M. L.; RODRIGUES, F. L.; SANTOS, H. N. Problemas com o uso de programação linear com posterior arredondamento da solução ótima, em regulação florestal. **R. Árvore**, Viçosa, v.27, n.5, p.677-688, 2003

SOUSA, D. O. **Algoritmos Genéticos aplicados ao transporte principal de madeira.** Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná - UFPR. Curitiba. 1997.

SOUZA, R. A. T. M.; RODRIGUEZ, R. C. E.; SEIXAS, F.; CAIXETA FILHO, J. V. Eficiência e otimização de transportes principal de toras curtas de Eucalipto. **SCIENTIA FLORESTALIS**, Piracicaba, n. 62, p. 130 – 146, 2002