

SELEÇÃO E DIMENSIONAMENTO DA FROTA DE VEÍCULOS RODOVIÁRIOS PARA O TRANSPORTE PRINCIPAL DE MADEIRA UTILIZANDO-SE DE PROGRAMAÇÃO LINEAR NÃO INTEIRA

Fernando Seixas*
João Alexandre Widmer**

ABSTRACT - Based on the LP solution of the transportation problem, the method presented in this study permits the evaluation of different vehicle options, daily working shifts, loading and unloading times terminals and Route Conditions, on the economic performance of the transportation network, in a situation of several origins and a single destination. The results obtained in the case studies show that heavy trucks, like the "treminhão" (1 truck + 2 trailers) and the "road train" (1 truck + 1 semi trailer + 1 trailer) have economic advantages if the road network is compatible with their operation. Under certain road network restrictions, the loading and unloading costs and the time consumed during these operations, outweigh the economic advantages of these vehicles under unrestricted conditions.

RESUMO - A complexidade do planejamento do transporte principal de madeira levou ao desenvolvimento de um método que auxiliasse na racionalização da escolha da frota de veículos rodoviários para essa finalidade. Baseando-se na solução do problema do transporte através da programação linear, o método descrito neste trabalho permite, em uma situação de diversas origens e um único destino, análises quanto às diferentes opções de veículos, desempenhos, tempos terminais de carga e descarga, comprimento de vias etc. Os resultados obtidos nos estudos, de casos mostram a adequação econômica do uso de veículos pesados do tipo "treminhão" e "rodotrem" para o transporte principal de madeira, desde que a rede viária esteja em condições adequadas. Outros resultados mostram também a sensibilidade dos valores estimados de velocidades na escolha da frota. Variações de 2% nas velocidades, causaram a substituição de veículos em alguns trechos.

INTRODUÇÃO

A atividade de reflorestamento foi estimulada pelo Governo Federal com o estabelecimento da Lei dos Incentivos Fiscais a partir de 1966. Atualmente o Brasil conta com 6 milhões de hectares reflorestados principalmente, com eucaliptos e **Pinus**, contribuindo para a diminuição da derrubada das florestas nativas. Estima-se a produção das florestas plantadas em 64 milhões de m³/ano (SBS, 1990).

Todo esse volume de madeira necessita ser transportado da floresta para os centros consumidores (transporte principal). No caso particular de algumas empresas de celulose e papel e de chapas no Estado de São Paulo, o custo do transporte de madeira de florestas implantadas varia entre 38 e 66% do custo final de aquisição da madeira, posto fábrica,

* ESALQ/USP. Depto. de Ciências Florestais – Caixa Postal 9 – 13400-970 – Piracicaba, SP.

** EESC/USP – Depto. de Transportes – Caixa Postal 359, 13560-970 – São Carlos, SP.

obtido para distâncias médias entre 45 e 240 km, respectivamente (CHAMPION, 1983; DURAFLOA, 1984; SALMERON, s.d.).

Em 1981, SIMÕES et alii afirmavam que no setor florestal brasileiro predominava o transporte rodoviário e que poucas empresas utilizavam o transporte ferroviário. MACHADO (1984) comenta que o transporte florestal principal é praticamente representado pelo caminhão. Essa situação pouco se alterou no passado recente, mantendo-se a predominância do transporte rodoviário, com algumas empresas transportando parte da sua madeira por ferrovias e por transporte fluvial mais restrito à Região Amazônica (SEIXAS, 1988).

SESSIONS (1987) desenvolveu o programa NETWORK para microcomputadores que analisa e identifica o mínimo custo, tempo ou distância ao se efetuar o movimento de um ponto a outro em um sistema viário florestal (estradas para caminhões, carreadores, trilhas para arraste etc.). Nesse sistema a solução do programa indica a combinação de rotas que devem ser usadas, proporcionando o custo total mínimo ou receita máxima.

PAREDES & SESSIONS (1988) desenvolveram um procedimento para aumentar a eficiência de sistemas de transporte florestal, proporcionando modos alternativos de transporte de madeira e escolhas para a localização de pátios de transferência de madeira. Contudo, a respeito do veículo, o programa considera somente duas opções: um caminhão "pequeno" e outro "grande", calculando a localização ótima do pátio a partir de estimativas macroscópicas de composição de frota e conseqüente custo operacional da rede.

Esses modelos de transporte chegam a analisar desde a exploração até à construção de estradas, tratando da coleta de um "produto" em diversas fontes e seu transporte até diversos destinos. A preocupação comum à maioria deles refere-se à escolha de uma rota, a mais econômica possível, ou mesmo à localização da rede viária mais indicada a cada situação.

Os programas aqui citados são úteis quanto à retirada da madeira de dentro da floresta (transporte primário), operação para a qual a empresa florestal necessita planejar e implantar uma rede de estradas terciárias e/ou secundárias, e mesmo abrir carreadores até o local de corte das árvores. Contudo, os aspectos técnicos e econômicos referentes às opções existentes de veículos para o transporte principal de madeira não são enfocados em detalhes, cabendo somente a determinação de um custo específico para essa operação.

MÉTODO

Analisando-se a etapa do transporte principal dentro da exploração florestal, a Função objetivo representa o custo de transportar a madeira a partir de n fontes distintas (fazendas), durante um determinado período de tempo, até um único destino (centro de consumo). Esta análise visa a minimização da Função Objetivo (F.O.), procurando determinar um ótimo em termos da localização da frota de veículos, que permita a realização do transporte principal de madeira ao menor custo possível.

As variáveis que compõem a Função objetivo dizem respeito ao tipo de veículo utilizado para realizar o transporte a partir de uma determinada fonte de matéria-prima, no caso, a floresta produtora de madeira e o centro de consumo.

Os coeficientes das variáveis na F.O. representam o custo de toda a carga de madeira transportada durante o período em estudo, a partir de uma determinada fazenda (fonte) ou pátio intermediário, por meio de uma unidade de um tipo de veículo específico.

A especificação do modelo em sua forma genérica segue:

$$F.O. = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^o C_{ijk} \times X_{ijk} \text{ onde :}$$

m = nós do tipo F (fonte produtora) + nós do tipo B (pátio intermediário)

n = nós do tipo B (pátio intermediário) + nós do tipo D (destino)

o = tipo de veículo

C_{ijk} = custo de toda madeira transportada na rota i - j , por meio do veículo do tipo k , no período de tempo T

X_{ijk} = número de veículos do tipo k , alocados para transporte de madeira na rota i - j .

A função objetivo está sujeita às repetições:

1. Condição de incompatibilidade do veículo k com uma rota i - j :

$$X_{ijk} = X_{ijk} \times V_{ijk} \text{ onde } V_{ijk} = \{0,1\}$$

$$\forall i-j$$

2. Condições de transportar toda a madeira de cada fazenda (F) no período considerado:

$$\sum_{k=1}^o TT_{ijk} \times X_{ijk} \geq Q^F$$

total de madeira a ser transportada no período a partir da fonte F.

$$\forall i = F; \text{ e } \forall j = D \text{ ou } B \text{ e}$$

TT_{ijk} = total de madeira (t) transportada de i para j , por um veículo do tipo k no período de tempo T .

$$TT_{ijk} = CC_k \times NV_{ijk}$$

CC_k = capacidade de carga do veículo k

NV_{ijk} = número de viagens de 1 veículo k no período T , na rota i - j .

3. Condição de garantir continuidade do transporte no caso da ocorrência de baldeio:

$$\sum_{k=1}^o TT_{ijk} \times X_{ijk} - \sum_{k=1}^o TT_{jik} \times X_{jik} = 0$$

$$\begin{array}{cc} \forall i = F & \forall i = B \\ \text{e} & \text{e} \\ \forall j = B & \forall j = D \end{array}$$

4. Condição de existirem veículos do tipo k suficientes:

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n X_{ijk} < N_k$$

total de veículos do tipo k disponíveis para o transporte de madeira no período.

$\forall k$

A determinação dos coeficientes de custo C_{ijk} e total de madeira transportada TT_{ijk} está descrita em SEIXAS (1992), tendo sido desenvolvido um programa (CALCA) para a obtenção desses valores.

O programa QUATTRO gera a matriz que será introduzida no programa LP-88, empregado na solução de problemas de programação linear não-inteira.

Para contornar os valores não inteiros dos resultados gerados pelo LP-88, deve-se primeiro calcular o número de viagens necessárias por veículo a partir de cada uma das fazendas. Isto é feito dividindo-se o total de madeira transportada pela capacidade de carga do veículo. Para se ter o número total de viagens necessárias por tipo de veículo, deve-se multiplicar o número de viagens por veículo pelo número total de veículos. O próximo passo é a determinação do número inteiro de viagens possíveis de serem feitas por veículo. No caso de turno de 8 horas, pode-se considerar a aproximação para valores superiores a 5 na primeira casa decimal para o primeiro número inteiro posterior. Para valores inferiores a 5 na primeira casa decimal, considera-se o primeiro número inteiro anterior. Em alguns casos, o turno de 8 horas é ultrapassado, o que é compensado com o pagamento de horas extras. Finalmente, calcula-se o número de veículos necessários, dividindo-se o número total de viagens previstas por tipo de veículo pelo número inteiro de viagens possíveis. Neste arredondamento infringem-se as restrições existentes no problema, com turno de trabalho em torno de 8 horas, e transportando-se um pouco mais ou menos de madeira. O usuário deve analisar e estabelecer os limites até os quais possam ser infringidas algumas das restrições, ou mesmo, possíveis compensações como, por exemplo, um veículo realizar um maior número de viagens, ultrapassando o turno de trabalho pré-estabelecido.

AVALIAÇÕES DO MODELO: ESTUDOS DE CASOS

Especificações dos veículos utilizados nos estudos de casos

As situações típicas com as quais o planejador do transporte principal de madeira geralmente se defronta são: a) a seleção dos veículos entre os de uma frota já existente à disposição para o transporte; b) a determinação da(s) opção(ões) mais favorável(is) econômica e tecnicamente entre todos os tipos de veículos existentes no mercado. A segunda alternativa é menos comum, ocorrendo somente quando da aquisição de frota própria.

Para efeito de proposição e avaliação do modelo, definiu-se um conjunto de 13 veículos típicos entre a ampla gama de veículos disponíveis no mercado legalmente viáveis pelo artigo 82 da lei da Balança (TABELA 1).

De acordo com a TABELA 1, há 13 tipos de veículos com possibilidades de emprego no setor florestal. Não entrando no mérito da validade técnica dos limites de carga por eixo, estabelecidos pela lei da Balança, sua utilização como padrão de referência foi aceita como a alternativa mais lógica para adoção neste trabalho. A escolha do caminhão para cada classe foi feita de acordo com indicações dos fabricantes para o transporte florestal.

Incluiriam-se também dois veículos que, apesar de não satisfazerem a condição legal acima aludida, têm seu tráfego autorizado em condições especiais pelos DER nas estradas estaduais e DNER, nas federais. Os veículos 7, 11, 12 e 13 não satisfazem a condição de PBTC < 45t e o veículo 12 não satisfaz também a condição de relação Potência/Peso mínima legal de 6.08 HP/t DIN (Resolução CDI N° 40/75).

Quanto à velocidade, foram utilizados valores médios empíricos de velocidade para cada um dos tipos de veículos trafegando em estrada de terra firme e asfalto, independente de condições particulares de cada rota, valores esses estimados com base na experiência dos fabricantes (SEIXAS, 1992). A confiabilidade nos resultados obtidos a partir deste procedimento é menor, mas nada impede que haja uma retro-alimentação e correção dos valores de velocidade assim que as viagens se efetivem.

TABELA 1 – Características técnicas típicas das classes de veículos permitidas pela Lei da Balança

Tipo de Veículo	TATA (T)	PBTC (T)	LOTAÇÃO (T)	POT. (*) (HP)	POT./PBTEC
1. 4 X 2	6.3	15.2	8.7	124	8.3
2. 6 X 2	8.5	22.0	13.5	168	7.6
3. 4 X 2 + SR 1 E.	13.1	25.0	11.9	189	7.6
4. 4 X 2 + SR 2 E.	13.7	32.0	18.3	235	7.3
5. 6 X 4 + SR 2 E.	13.9	39.0	25.1	246	6.3
6. 4 X 2 + SR 3 E.	13.9	40.5	26.6	321	7.9
7. 6 X 4 + SR 3 E.	18.7	47.5	28.8	301	6.3
8. 4 X 2 + R1 + 1 E.	11.8	35.0	23.2	301	8.6
9. 4 X 2 + R1 + 2 E.	16.3	42.0	25.7	301	7.2
10. 6 X 4 + R1 + 1 E.	14.3	42.0	27.7	301	7.2
11. 6 X 4 + R1 + 2 E.	21.7	49.0	27.3	335	6.9
12. 6 X 4 + SR2E. + R2+2	23.1	73.0	49.9	394	5.4
13. 6 X 4 + 2R1 + 1 E.	17.1	62.0	4.9	394	6.4

Obs: R = reboque; SR = semi-reboque; E. = eixo

(*) valores típicos de veículos ilustrativos de cada classe

Características da situação de referência

Para a avaliação da aplicabilidade do método proposto foi considerada uma situação básica a partir dos dados de transporte de madeira, coletados durante um dia de trabalho, de uma firma produtora de celulose e papel.

O transporte principal de madeira nessa empresa é efetuado durante um único turno de 8 horas. No dia de trabalho observado foram utilizados 87 veículos dos mais diversos modelos, agrupados nas seguintes classes:

- Tipo 1) Caminhão 4 x 2 : 68 veículos
- Tipo 2) Caminhão 6 x 2 : 14 veículos
- Tipo 4) Caminhão 4 x 2 + semi-reboque 2 eixos: 05 veículos.

Neste dia o transporte de madeira foi efetuado a partir de 6 fontes, não havendo restrição ao tráfego de veículos em nenhuma das rotas utilizadas, com as seguintes quantidades de madeira retiradas de cada uma das fazendas e respectivas distâncias em terra e asfalto:

TABELA 2 - Distância das fazendas ao centro de consumo e quantidade de madeira transportada em 1 dia

FAZENDA (FONTE)	QUANTIDADE MADEIRA (t)	DISTÂNCIA (km)	
		TERRA	ASFALTO
1	247.36	10	40
2	144.96	52	78
3	191.28	15	35
4	280.28	44	66
5	217.38	4	81
6	289.92	2	35

O transporte efetivamente realizado apresentou a distribuição detalhada na TABELA 3.

TABELA 3 – Número real de viagens por tipo de veículo em 1 dia de trabalho

FAZENDA	Nº DE VIAGENS/TIPO DE VEÍCULO			GERAL
	1	2	3	
1	17	8	-	25
2	12	3	-	15
3	11	3	3	17
4	26	4	-	30
5	15	1	4	20
6	25	4	1	30
TOTAL	106	23	8	137
MÉDIA ⁽¹⁾	1.6	1.6	1.6	1.6

⁽¹⁾ N° de viagens/veículos

O custo total desse transporte, de acordo com o método adotado neste trabalho, foi de US\$ 20.883,18.

Solução do modelo para turno de 8 horas com restrição de frota e sem restrição de vias de acesso

O resultado do modelo, quanto à distribuição do número e tipo de veículos pelas diversas fazendas, e respectivos custos e total de madeira transportada no turno de serviço de 8 horas encontra-se detalhado na TABELA 4.

TABELA 4 – Valores do programa para turno de 8 horas

Variáveis	Custo Total Transporte/ Veículo	Total Madeira Transportada (t)/Veículo	Custo/t (US\$)	Nº de Veículos
CAM 1 – FAZ 2	272.58	12.23	22.29	11.9
CAM 1 – FAZ 3	254.30	24.97	10.18	6.4
CAM 1 – FAZ 4	270.44	14.01	19.30	20.0
CAM 1 – FAZ 5	253.69	17.55	14.46	12.4
CAM 2 – FAZ 1	323.15	36.86	8.77	6.7
CAM 2 – FAZ 3	328.65	36.44	9.02	0.8
CAM 2 – FAZ 6	306.51	44.85	6.83	6.5

O custo total diário encontrado para esta solução otimizada, com restrição de frota e turno de 8 horas de trabalho, foi de US\$ 17.844,70.

Após os ajustes necessários para a obtenção de valores inteiros chegou-se ao resultado explicitado na TABELA 5. Teoricamente baseado nos dados médios de velocidade, o programa possibilitou a redução da frota em 21 veículos, a um custo total de US\$ 18.219,11, significando uma economia de 13% em relação à situação “otimizada” da empresa.

TABELA 5 – Número de viagens por tipo de veículo e número de veículos necessários em um turno de 8 horas

Fazenda	Nº de viagens/tipo de veículo			Nº Veículos		
	1	2	4	1	2	4
1	-	18	-	-	6	-
2	17	-	-	17	-	-
3	18	3	-	6	1	-
4	32	-	-	16	-	-
5	25	-	-	13	-	-
6	-	22	-	-	7	-
Total	92	43	-	52	14	-
Média ⁽¹⁾	1.8	3.1	-			

⁽¹⁾ Nº de viagens/veículo

A diferença obtida devido às aproximações para a fazenda 6, onde são necessárias 22 viagens feitas por 7 veículos do tipo 2 (relação de 3.1 viagens/veículo), pode ser

compensada colocando-se um veículo a mais do tipo 1 disponível para realizar uma única viagem nesse trecho, ou mesmo, a realização de mais uma viagem com 1 veículo do tipo 2 fora do horário normal de trabalho. O veículo do tipo 1 empregado a mais, poderia ser também utilizado para realizar mais uma viagem à fazenda 1.

Basicamente, o erro encontrado na aplicação do modelo aqui proposto será função dos valores considerados para as velocidades de cruzeiro nas rotas trafegadas e para os tempos de carga e descarga. A utilização dos valores médios fornecidos pelos fabricantes permite somente uma primeira aproximação. Por isso, deve necessariamente, ser complementada com a aplicação do método com os valores médios de velocidade, além dos tempos de carga e descarga, obtidos na rede viária particular de cada empresa. Indica-se também a coleta de dados representativos de cada mês de operação, procurando abranger todas as variações estacionais e demais fatores de influência.

Solução do modelo para turno de 8 horas, sem restrição de tipo de veículo e vias de acesso

Além da distribuição dos veículos de uma frota já existente, o modelo aqui utilizado permite que se determine, de acordo com as particularidades de distância e volume, qual(is) o(s) veículo(s) economicamente mais indicado(s).

Para tanto, elimina-se o limite quanto ao número de veículos disponíveis, colocando-se as restrições “ $> = 0$ ” na soma do número de veículos para cada fonte reunidos por tipo. Por não haver restrição ao tráfego de veículos, todas as classes foram consideradas quanto à determinação da frota (TABELA 1).

A TABELA 6 detalha os custos e o número de veículos necessários para se realizar o transporte diário de madeira em um turno de 8 horas, para todas as opções existentes, considerando-se que todo o transporte seria feito um único tipo de veículo.

TABELA 6 – Custo e número de veículos necessários por opção de transporte em um turno de 8 horas

Veículo	Quantidade	Custo (US\$)	Relação com a opção de menor custo (%)
Tipo 13	19	12.470,55	-
Tipo 12	17	12.618,19	1.2
Tipo 09	25	13.997,22	12.2
Tipo 06	29	14.039,77	12.6
Tipo 08	27	14.460,57	16.0
Tipo 10	24	15.275,28	22.5
Tipo 02	50	15.566,20	24.8
Tipo 07	27	16.700,16	33.9
Tipo 05	34	17.455,50	40.0
Tipo 01	72	17.481,25	40.2
Tipo 11	30	17.911,30	43.6
Tipo 04	42	18.927,05	51.8
Tipo 03	53	21.386,11	71.5

Logicamente, há que se comparar os resultados estimados neste trabalho com os dados de capacidade de cada tipo de veículo ao trafegar pela rede viária em questão. Caso não existam pontos críticos, como aclives acentuados e condições de umidade elevada nos pavimentos, os resultados aqui obtidos, quanto ao número de veículos, devem repetir-se. Em termos de custo, os valores absolutos podem variar bastante de empresa para empresa, mas a relação entre as opções, possivelmente pouco se alterarão. Poderá haver alguma dúvida quanto à opção entre os veículos dos Tipos 12 e 13, mas não entre os veículos dos Tipos 3 e 6, por exemplo.

No caso em questão, onde se respeitou a lei da Balança, a escolha recaiu somente sobre veículos do tipo 13 (caminhão 6 x 4 + 2 reboques 1 + 1 eixos). O custo encontrado foi de US\$ 12.470,55, uma alternativa 32% mais econômica do que a solução encontrada para o turno de 8 horas com a frota disponível. O número de veículos necessários é de 19 unidades, uma redução de 68 unidades no tamanho da frota já existente.

Solução do modelo para turno de 8 horas, sem restrição de frota e com restrição de vias de acesso

A necessidade do baldeio no transporte principal de madeira é uma característica comum às diversas empresas do setor florestal, quer seja por motivos estratégicos, quer seja pela dificuldade de acesso em trechos de estradas de terra, em condições críticas ao tráfego de determinados tipos de veículos.

Como exemplo hipotético, considerou-se a ocorrência de chuva nos trechos iniciais das fazendas 2 e 4, deixando as estradas de terra molhadas. Em cada um dos trechos existe uma rampa de 6% de inclinação, o que impediu o tráfego dos veículos dos tipos 6, 9, 12 e 13 nesses trechos. Os pátios intermediários foram situados a 30 e 22 km respectivamente das origens. Este método também possibilita que um caminhão realize somente o baldeio ou faça o transporte direto.

Nas condições analisadas (Turno de 8 horas) o veículo do tipo 8 foi escolhido para realizar o transporte direto até às fábricas nas duas fazendas, não sendo econômico o baldeio para o veículo do tipo 13, anteriormente selecionado. O custo final foi de US\$ 13.551,20.

TABELA 7 – Nº de Viagens/tipo de veículo e número de veículos necessários em situação de restrição ao tráfego

Fazenda	Nº de Viagens/Tipo de Veículo		Nº Veículos Necessários	
	8	13	8	13
1	-	6	-	3
2	6	-	6	-
3	-	4	-	2
4	12	-	6	-
5	-	6	-	3
6	-	6	-	2
Total	18	22	12	10

No caso das fazendas 4, 5 e 6 os veículos terão que ultrapassar o turno de 8 horas para completar todas as viagens necessárias. Deve-se ressaltar porém que, no caso da necessidade de um número pequeno de viagens que não englobe todo o período de trabalho disponível, pode-se estudar a recolocação do veículo em outro trecho.

Solução do modelo para alterações técnicas e de custos dos veículos

Outra possibilidade permitida pelo modelo quanto à análise, refere-se à alteração de algum fator relacionado ao tipo de veículo, seja ele técnico ou econômico. Considerando-se ainda o exemplo analisado até o momento, foram simuladas alterações dos custos e potência relativos ao veículo do tipo 6. Essas alterações constituíram-se no aumento da potência em mais 60 HP e no aumento em 12, 7% nos custos.

Analisando-se as alterações por etapa, o aumento da potência do veículo do tipo 6 em 60 HP possibilitaria, teoricamente, os seguintes valores de velocidade:

TABELA 8 - Velocidades médias estimadas em trecho de terra firme e asfalto para veículos do tipo 6(*)

Veículo	POT./PBTC	Vel. Terra (km/h)		Vel. Asfalto (km/h)	
		Vazio	Carregado	Vazio	Carregado
6	7.9	55	46	60	50
6	10.2	65	55	71	60

(*) Veículo tipo 6 + 60 HP

O resultado final indicou a substituição dos veículos do tipo 13 por veículos do tipo 6 nas fazendas 1, 2, 3 e 4, mantendo-se sua utilização nas fazendas 5 e 6, caracterizadas como sendo as de menor trecho de via de acesso por terra.

Mas, supondo-se que o aumento da potência do veículo implicaria em um aumento de 12, 7% nos custos, a solução deste novo problema manteve a utilização dos veículos do tipo 13 em todos os trechos.

Análise de sensibilidade para os valores de velocidade

O principal aspecto a governar o rendimento operacional dos veículos e, por consequência do próprio custo é o valor teórico considerado para a velocidade média dos veículos nas situações de terra e asfalto, vazio e carregado.

Procedeu-se a análises complementares, alterando-se os valores de velocidade média dos veículos do tipo 13 em -1%, -2%, -3%, -4% e -5%, primeiro somente na velocidade para o trecho em terra e depois, em todo o percurso.

A redução em 1% nos valores de velocidade não alterou a opção pelo veículo 13. As alterações começaram a ocorrer na redução de 2% nos valores de velocidade para os trechos em terra e asfalto. Nas fazendas 2 e 4, mais distantes, os veículos do tipo 13 foram substituídos por veículos do tipo 6. Essa alteração manteve-se na redução da velocidade em 3%, tanto para o trecho em terra como para todo o percurso, o que se repetiu no desempenho dos veículos do tipo 13 com redução de 4% na velocidade média em terra.

Considerando-se uma redução de 4% na velocidade em todo o percurso, a opção por veículos do tipo 13 manteve-se unicamente para a fazenda 6, mais próxima da indústria, sendo substituída nas fazendas 1 e 5 por veículos do tipo 12. Diminuindo-se em 5% os valores de velocidade dos veículos do tipo 13, teríamos sua total substituição (FIGURA 1).

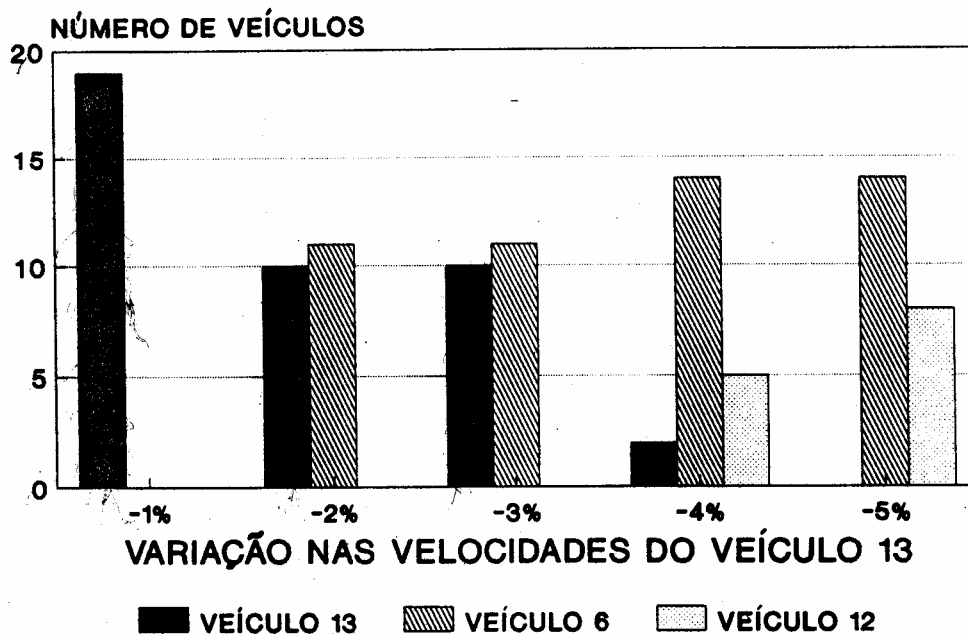


FIGURA 1 – Escolha do tipo de veículo em função de variações nos valores de velocidade do veículo tipo 13.

Estes resultados demonstram a importância da determinação, mais apurada possível, dos valores de velocidade média que representem, de maneira bastante aproximada, o desempenho dos veículos nas situações particulares de cada empresa. Permitem também o cálculo, por parte da empresa, das vantagens de se investir na melhoria da rede viária em função da economicidade das diversas opções de veículos. Esses valores mostram também a importância dos tempos de espera para carregamento nas fazendas e de descarga na indústria, que refletem no tempo total gasto no ciclo de transporte. Dependendo da eficiência das operações, alguns tipos de veículos serão mais adequados que outros.

CONCLUSÕES

O método utilizado neste trabalho pode ser empregado como ferramenta de auxílio na determinação das opções mais adequadas de veículos para o transporte rodoviário principal de madeira, na situação aqui enfocada de diversas fontes e um único destino.

A utilização de valores médios estimados para velocidades e custos exige que se faça uma amostragem abrangente e mais representativa possível da realidade vivida pela empresa florestal no seu sistema de transporte de madeira. Quanto melhor a qualidade da

amostragem, maior será a confiança a depositar nos resultados obtidos através desse método.

A escolha da frota sem restrições quanto ao tipo de veículo disponível, contemplou o "treminhão" (cavalo mecânico 6 x 4 mais 2 reboques) e, em segundo lugar, o "rodotrem" (cavalo mecânico 6 x 4, mais semi-reboque e reboque). Isto reforça a opção do transporte efetuado por meio de composições com maior capacidade de carga, desde que em condições favoráveis.

O estudo de caso com restrições ao tráfego de alguns tipos de veículos em certos trechos mostrou a importância dos custos e tempos relativos às operações de carga e descarga, inviabilizando, no caso em questão, a ocorrência do baldeio.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CHAMPION PAPEL E CELULOSE S/A. **Encontro sobre abastecimento de madeira.** Mogi-Guaçu, 1983. 1v. (não publicado).

DURAFLORA SILVICULTURA E COMÉRCIO LTDA. **Sistema de exploração na Duraflorea.** Lençóis Paulista, 1984. 1v. (não publicado).

MACHADO, C.C. **Planejamento e controle de custos na exploração florestal.** Viçosa, Imprensa Universitária, 1984. 138p.

PAREDES, G. & SESSIONS, J. A solution method for the transfer yard location problem. **Forest products journal**, Madison, 38(3): 53-8, 1988.

SALMERON, A. **Exploração e abastecimento de madeira na RIPASA S/A Celulose e Papel.** Americana, Ripasa Florestal, s.d. 30p.

SBS - SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA. **A conservação da natureza e o patrimônio florestal brasileiro.** São Paulo, 1990. 14p.

SEIXAS, F. **Mecanização e exploração florestal.** Notas de aula. Piracicaba, ESALQ/USP, 1988. 182p. (mimeografado).

SEIXAS, F. **Uma metodologia de seleção e dimensionamento da frota de veículos rodoviários para o transporte principal de madeira.** São Carlos. 1992. 106p. (Tese-doutoramento-EESC).

SESSIONS, J. A heuristic algorithm for the solution of the variable and fixed cost transportation problem. In. SYMPOSIUM ON SYSTEMS ANALYSIS IN FOREST RESOURCES. Athens. 1985. **Proceedings.** Athens, Georgia Center for Continuing Education. 1987. p. 324-36.

SIMÕES, J.W. **Formação, manejo e exploração de florestas com espécies de rápido crescimento.** Brasília. IBDF. 1981. 139p.