

Eficiência e otimização do transporte principal de toras curtas de eucalipto

Efficiency and optimization of Eucalyptus short logs transportation

Roberto Antonio Ticle de Melo e Sousa
Luiz Carlos Estraviz Rodriguez
Fernando Seixas
José Vicente Caixeta Filho

RESUMO: O trânsito de caminhões em rotas opostas, transportando toras curtas de eucalipto nas rodovias paulistas, é indicativo da existência de ineficiências no transporte desta matéria prima para o abastecimento das indústrias do setor florestal no estado. A rapidez nos fluxos de transporte, a crescente competitividade dos mercados, as exigências de padrões de qualidade e as expectativas da sociedade quanto ao meio ambiente, são apontados como fatores que tornam urgente a necessidade de se desenvolver e estudar processos de tomada de decisão, com recursos de otimização, que dêem suporte à atividade de planejamento do transporte principal de madeira. Com o objetivo de analisar e avaliar a eficiência deste tipo de transporte, o estudo envolve quatro indústrias de celulose e papel e duas de chapas de composição, que utilizam toras curtas de eucalipto provenientes exclusivamente de florestas plantadas. Foi delineado um modelo de transporte, utilizando programação matemática, que é comparado com o transporte de madeira realizado pelas seis indústrias no ano de 1996. As características dos resultados da solução ótima do modelo e as características do transporte efetivamente realizado são expressas em termos de custos, toneladas transportadas e quilômetros percorridos. O modelo desconsidera os vínculos de propriedade entre áreas produtoras de madeira e indústrias. As análises são feitas comparando os resultados do modelo otimizado com o realizado pelas indústrias, considerando-se a situação individual e o conjunto (sistema) das seis indústrias. A solução ótima do modelo apresenta para a condição de sistema, percentuais de trocas de fontes de abastecimento de 64,9%, acompanhados de reduções nos custos totais de transporte de 12,8%. Individualmente todas as indústrias participam do processo de trocas de fontes de abastecimento com percentuais que variam de 50% a 80%, apresentando reduções no custo total de transporte que variam entre 5% e 40,7%, com exceção de uma delas que apresenta acréscimo de 4,1% nos custos. A solução ótima do modelo mostra uma nítida alteração na redistribuição final das fontes de abastecimento. Mais da metade das rotas realizadas no ano de 1996 (64,9%), é trocada por rotas com origem em fazendas de outro grupo empresarial, respondendo por quase metade (47,4%) do volume total de madeira transportada na condição de ótimo. O número de rotas utilizadas passa de 32

para 37 na otimização, significando que com a solução ótima algumas fazendas passam a abastecer mais de uma indústria. A importância do processo de trocas de fontes de abastecimento (fazendas) pode ser medida pelo percentual de quilometragem percorrida em rotas que ligam indústrias a fazendas não pertencentes ao grupo empresarial (55,1%) e pela redução de 3.350.415 quilômetros no total anualmente percorrido pelos caminhões no transporte principal.

PALAVRAS-CHAVE: Transporte florestal, Otimização, Pesquisa operacional, Programação linear, Modelos, Planejamento, Custos, Fluxo, Eficiência operacional

ABSTRACT: The movement of trucks on opposite routes transporting short *Eucalyptus* logs on São Paulo highways in Brazil indicates transportation inefficiencies. Increasing flow speed on the transportation network, raising competition among companies in the market, increasing quality standards and demanding greater environmental regulations, were identified as factors that contribute to the need for studying and applying decision-support systems based on optimizing techniques. Four pulp and paper mills and two wood panel companies, consumers of *Eucalyptus* short logs harvested from plantations in the State of São Paulo, were involved in this study to provide the necessary data for evaluation of the transportation network utilized. A linear programming transportation model was developed. The optimal solutions presented by the model and the actual log displacement for these six companies in 1996, was evaluated in terms of cost, transported weight and kilometers traveled. The model and the transportation strategy actually implemented by the six companies defined four scenarios ignoring property rights between forest plantations and companies. Initially, the outcomes considering all six companies were analyzed followed by an analysis of each individual outcome. Given unconstrained property rights, exchange of raw material was recommended by the model with rates that varied from 23% to 72% for individual companies and 47,4% for the whole system. According to the model individual companies can benefit with cost reductions varying between +4,1% and -40,7% and -12,8% for the whole system. Considering plantation exchanges among companies, the models presented indices between 50% and 80%, and the whole system 64,9%.

KEYWORDS: Forest transport, Optimization, Operations research, Linear programming, Transportation model, Forest planning, Transportation cost, Transportation flow, Operational efficiency

INTRODUÇÃO

No ano de 1996 o setor florestal no Brasil movimentou cerca de 16,5 bilhões de dólares envolvendo no seu processo produtivo 1.200.000 pessoas de maneira direta e indireta. O consumo anual foi da ordem de 285 milhões de metros cúbicos de madeira, dos quais 27% supridos por florestas de produção e em sua quase totalidade transportada por caminhões, que são responsáveis por cerca de metade dos custos da madeira posta fábrica. Neste mesmo ano, o setor como um todo participou com 2,2% na formação do produto interno bruto (PIB) e com 6,6% no valor total das exportações (Dassie, 1996).

A demanda brasileira de madeira para o setor industrial projetada para o ano 2000 é de 95,4 milhões de metros cúbicos, sendo que praticamente a metade (46,3 milhões) vai para o setor de celulose e 9% desta demanda (8,5 milhões) vai para o setor de chapas de composição. Para atender a esta demanda, a indústria da madeira requer, uma base florestal da ordem de 9,7 milhões de hectares de florestas plantadas e para o ano 2010, 14,7 milhões de hectares (ABPM, 1995).

As expectativas na consideração conjunta do mercado brasileiro de celulose e de chapas de composição apontam para uma duplicação na demanda total por matéria-prima até 2010. O reflexo esperado na economia e na rede ro-

doviária do Estado de São Paulo é proporcional à sua importância dentro destes mercados, sendo que o Estado responde em média por mais de 35% da produção nacional de celulose e de chapas de composição (ANFPC, 1996; Conjuntura Econômica, 1997).

Uma base florestal sólida é fundamental para se ter uma indústria confiável. A moderna indústria madeireira brasileira está principalmente apoiada em plantios de espécies exóticas, que na época da coleta de informações para este trabalho, segundo Neves (1998), giravam em torno de um total aproximado de 4 milhões de hectares ou 0,5% da área total do país.

A capacidade de produção e a capacidade de melhoria da qualidade do produto final apresentaram com o desenvolvimento tecnológico, um rápido e contínuo crescimento, refletindo no aumento de área florestal plantada com grande dispersão geográfica em terras cada vez mais distantes. Como consequência o custo do transporte principal de madeira, tornou-se um dos mais importantes componentes do custo desta matéria-prima na indústria.

As operações que antecedem o processamento da madeira nas fábricas de celulose e de chapas de composição são bastante similares, uma vez que a diferenciação entre os dois processos se dá após a operação de descarga do transporte principal no pátio de estocagem das fábricas, ou seja, todo o processo de colheita, transporte até a transformação em cavacos é o mesmo para ambas as atividades industriais.

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.

O estudo de logística aplicada no planejamento das operações de abastecimento da matéria prima madeira e na distribuição da produção tem tido sua importância reconhecida na busca de maior eficiência e competitividade pelas indústrias nos mais variados segmentos da economia do setor florestal no mundo todo.

O tema abordado neste estudo tem sido tratado por diversos pesquisadores do setor florestal em diversos países, McGuigan (1984) na Austrália, Harstela (1997) na Finlândia, Carlsson e Arvidsson (1998) na Suécia, Martell et al. (1998) e Gabarro et al. (1999) no Chile, e Ross (2000) nos Estados Unidos.

O Problema

Diversas empresas do setor florestal no Estado de São Paulo possuem suas fontes de abastecimento de madeira (fazendas) em origens distintas, abrangendo áreas descontínuas dentro do Estado. O planejamento da colheita e do transporte da madeira geralmente envolve o abastecimento de uma única unidade de consumo, com diferentes distâncias para cada uma das fazendas fornecedoras. Na realização do transporte rodoviário nas rodovias paulistas, ocorre por diversas vezes o trânsito de caminhões em rotas opostas, transportando o mesmo tipo de madeira (toras curtas de eucalipto) para o abastecimento de diferentes indústrias consumidoras, sugerindo uma provável existência de ineficiências no transporte principal praticado pelas seis indústrias participantes do trabalho, no ano de 1996.

Objetivos

O objetivo deste trabalho foi analisar e avaliar o transporte principal de toras curtas de eucalipto realizado por determinadas indústrias de celulose e de chapas de composição situadas no Estado de São Paulo, com vistas a demonstrar a existência de margens de ganhos de eficiência na redistribuição espacial das fontes de abastecimento.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo envolveu quatro das doze indústrias do segmento de celulose e papel e as duas únicas indústrias do segmento de chapas de composição, com áreas de plantio localizadas em 93 municípios do Estado de São Paulo. Entre as quatro indústrias de celulose abordadas neste trabalho, três são consideradas as mais avançadas em termos de tecnologia adotada no país e as maiores em termos de capacidade instalada. As quatro, juntas, respondem por 20% da produção nacional e por 63% da produção estadual de celulose, ocupando 55% da área plantada com eucalipto no Estado. As duas indústrias de chapas de composição localizadas no Estado de São Paulo são detentoras de 70% e 30% do mercado nacional (Ondro et al., 1995; ANFPC, 1996).

As seis indústrias e suas fazendas localizam-se em municípios situados notadamente na região leste do Estado, entre os meridianos 46 e 48. Para o ano de 1996, em que se desenvolveu o estudo, foram acionados 68 dos 93 municípios de atuação, o que corresponde a 73% das rotas de abastecimento possíveis de terem sido utilizadas naquele ano pelo conjunto das seis indústrias. Os povoamentos que neste mesmo ano forneceram madeira para as indústrias foram agrupados em fazendas (origens), seguindo orientação das próprias indústrias e identificados pelos municípios a que pertencem, resultando em seis destinos e trinta e duas origens.

A demanda total conjunta das seis indústrias para este ano foi de 4.355.422 toneladas de toras curtas de eucalipto, supridas pelas 32 origens com quantidades ofertadas pré-estabelecidas no planejamento individual. Todas as informações levantadas para gerar os dados utilizados neste trabalho foram fornecidas pelas empresas, inclusive os fatores de transformação.

As fábricas, cada uma com a sua demanda anual, caracterizam-se como destinos da ma-

deira. Suas respectivas fazendas produtoras de toras de eucalipto são caracterizadas como fontes de abastecimento ou origens da matéria-prima. A opção pelo ano base de 1996 deve-se a entendimentos prévios efetuados junto às indústrias participantes quando se apresentou a proposta de trabalhar com valores já realizados.

Foram adotadas as seguintes legendas:

Indústrias:

- ✓ CH = International Paper do Brasil
- ✓ DU = Fábrica da Duratex S/A.
- ✓ EU = Fábrica da Eucatex S/A.
- ✓ LW = Fábrica da Lwarcel Celulose e Papel Ltda.
- ✓ RI = Fábrica da Ripasa S/A.
- ✓ SU = Fábrica da Cia. Suzano de Papel e Celulose.

Fazendas ou origens:

- ✓ CH_i (i = 1, ..., 8) = Fazendas de propriedade da International Paper do Brasil
- ✓ DU_i (i = 1, ..., 3) = Fazendas de propriedade da Duratex.
- ✓ EU_i (i = 1, ..., 6) = Fazendas de propriedade da Eucatex.
- ✓ LW_i (i = 1 a 2) = Fazendas de propriedade da Lwarcel.
- ✓ RI_i (i = 1, ..., 8) = Fazendas de propriedade da Ripasa.
- ✓ SU_i (i = 1, ..., 5) = Fazendas de propriedade da Suzano.

Convém ressaltar que para o objetivo deste trabalho, o número de indústrias participantes é suficiente (duas no mínimo), e a questão do ano para o qual se faz a análise, não é um ponto de relevância uma vez que de um ano para o outro o que se altera são apenas povoamentos dentro das mesmas fazendas fornecedoras. No curto prazo o que pode ocorrer é a entrada ou saída de uma ou outra fazenda, muitas vezes situada dentro do mesmo município, modificando apenas as quantidades fornecidas por fazenda, alterando muito pouco no que diz res-

peito ao traçado de rotas dentro de uma mesma rede rodoviária. Permanecem como parte do problema as quantidades demandadas por indústria, a necessidade de transporte e as origens com as respectivas limitações de quantidades ofertadas.

O levantamento de dados junto às indústrias constou do preenchimento de planilhas com formato previamente acordado entre os participantes, informando quanto à data do transporte, fonte ou origem da madeira, identificação da rota praticada, quilometragem percorrida na viagem de ida e volta, valor do frete pago, volume transportado e número de viagens efetuadas naquela data, que atende tanto às demandas do trabalho quanto às exigências das administrações das indústrias envolvidas. As viagens de transporte principal praticadas pelas empresas no ano de 1996 no seu abastecimento industrial foram levantadas na sua totalidade.

Descrição do modelo

O que se propõe é comparar o transporte principal praticado pelas indústrias, com os resultados obtidos de um modelo de transporte otimizado. Os parâmetros de análise foram definidos com base nas propostas de avaliações contidas nos objetivos, comparando com modelos semelhantes da literatura consultada. As análises foram feitas, observando-se o comportamento das indústrias identificadas de maneira individual e sob forma de um único “sistema” constituído das seis indústrias agregadas. Para se proceder às avaliações do transporte principal de madeira sob as óticas individual e agregada (sistema), consideram-se comparativamente duas situações ou cenários diferentes.

O primeiro deles tomado como referência para as comparações, denominado “Realizado”, é constituído de um levantamento de como se processam as operações do transporte principal praticado no ano de 1996, segundo os parâmetros adotados. O outro cenário é defini-

do segundo os resultados da solução ótima de modelo de transporte para várias origens e vários destinos, sem definir o tipo de caminhão, utilizando-se programação linear não inteira.

Modelo de transporte para várias origens e vários destinos, sem definir o tipo de caminhão

Trata-se do modelo de problema de transporte aplicado a uma situação em que se têm 6 unidades consumidoras (destinos) e 32 de abastecimento (origens), sendo que para efeito do estudo não se consideram os vínculos de propriedade entre povoamentos florestais e indústrias. Permite-se o abastecimento de unidades industriais (destinos) por fazendas não necessariamente de propriedade do mesmo grupo empresarial (Figura 1).

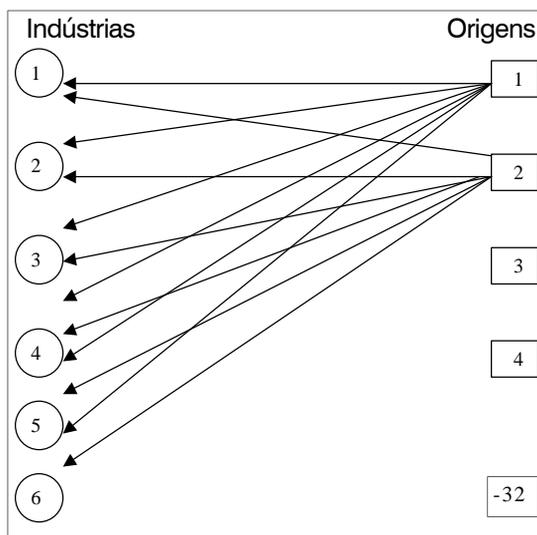


Figura 1
Representação gráfica do problema de transporte para várias origens e vários destinos
(Graphic representation of the transportation problem with different origins and destinations)

A matéria-prima madeira de toras curtas de eucalipto foi considerada uma mercadoria, sendo inexistentes os vínculos ou quaisquer compromissos de abastecimento entre as indústrias e fazendas produtoras, ficando livres tanto para o fornecimento como para o recebimento. A definição de quais são as fontes de abas-

tecimento, bem como a definição das quantidades demandadas e ofertadas, constituem informações exógenas ao modelo, sendo previamente definidas no planejamento estratégico e individual de atividades anuais das empresas. O volume total transportado de cada fazenda é considerado como sendo a oferta disponível da fazenda naquele ano, oferta esta, limitada pelo planejamento da indústria à qual se encontra originalmente vinculada.

Como proposta do modelo deve-se satisfazer à demanda anual por madeira de cada indústria, as rotas são consideradas disponíveis e acessíveis durante todo o período do ano sem nenhuma restrição técnica para os caminhões envolvidos no trabalho.

Segundo Martins (1998) os problemas de transporte normalmente são representados por uma rede composta de nós e arcos que ligam regiões com atividades econômicas interdependentes, onde o nó é o ponto inicial ou final de uma viagem e o arco a distância que une dois nós. Ainda Martins (1998), citando Novaes (1986), considera o fluxo entre os nós como uma função inversa à impedância entre a origem e o destino, e que esta função impedância pode ser caracterizada por parâmetros como tempo de viagem, custo de transporte ou distância física.

Duran et al. (1985) recomendam que sempre se utilize o custo de transporte como a unidade de medida nos modelos econômicos, uma vez que apenas o uso de distâncias, pode dar resultados torcidos do ponto de vista da análise econômica.

As fazendas e as indústrias são aqui vistas como nós interligados pela rede de estradas. Este elo de ligação ou arco pode ser medido em qualquer parâmetro relevante, podendo representar custo de transporte (US\$/t./km) como é o nosso caso, mas também poderia ser tempo de viagem (minutos), renda (R\$,US\$) ou mesmo um índice de beleza cênica, de acordo com Dykstra (1984).

Tabela 1

Terminologia utilizada no modelo de otimização (Terminology used in the optimization model)

Problema Geral	Problema Específico
Unidade de medida da mercadoria	Toneladas de toras curtas de eucalipto
“m” fontes ou origens	32 fazendas
“n” destinos	6 fábricas
Oferta O_i da origem i	Toneladas disponíveis na fazenda i
Demanda D_j no destino j	Toneladas alocadas na fábrica j
Custo C_{ij} por unidade trazida da origem i para o destino j	Custo de uma tonelada transportada da fazenda i para abastecer a fábrica j

Fonte: Hillier e Lieberman (1995)

Formulação teórica do modelo

Hadley (1982) e Williams (1993) descrevem o modelo de transporte que serve de suporte para a estrutura do modelo utilizado neste trabalho.

$$\text{Minimizar: } Z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n C_{ij} X_{ij} \quad (1)$$

sujeito a:

$$\sum_{i=1}^m X_{ij} = D_j \text{ para } j = 1, \dots, n \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^n X_{ij} = O_i \text{ para } i = 1, \dots, m \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^m O_i = \sum_{j=1}^n D_j = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n X_{ij} \quad (4)$$

$$X_{ij} \geq 0; i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n \quad (5)$$

Onde :

Z = custo total de transporte da madeira em dólares (US\$);

C_{ij} = custo de transporte de uma tonelada de madeira para a rota que vai da fazenda i até a indústria j (US\$/tonelada/rota);

X_{ij} = quantidade de madeira transportada na rota de abastecimento que une a fazenda i com a indústria j (toneladas/ano);

m = número de fazendas fornecedoras de madeira;

n = número de indústrias consumidoras de madeira;

D_j = total anual em toneladas de madeira demandadas por cada uma das “ j ” indústrias;

O_i = total anual em toneladas de madeira ofertadas por cada uma das “ i ” fazendas.

A restrição (4) mostra que o sistema é balanceado, isto é, o somatório das quantidades ofertadas é igual ao somatório das quantidades demandadas, com “ $m \times n$ ” variáveis, e para este problema em particular deve-se levantar as seguintes informações básicas:

- ✓ oferta de madeira de cada uma das “ m ” fontes produtoras, em toneladas/ano;
- ✓ custo unitário de transporte da madeira (frete) para cada uma das “ ij ” rotas, em US\$/tonelada/Km;
- ✓ demanda de madeira de cada uma das “ n ” indústrias, em toneladas/ano.

Matriz dos custos de transporte

A construção da matriz tem por base dados primários, requerendo levantamento de informações junto às indústrias, que se constitui em uma das fases mais difíceis e onerosas da modelagem. A Tabela 4 é o resultado final obtido de duas outras tabelas (2 e 3) que necessariamente a antecedem. A Tabela 2 refere-se aos valores médios de fretes para toras curtas de eucalipto para diferentes distâncias de transporte; a Tabela 3 mostra as distâncias de transporte para todas as diferentes opções de rotas de abastecimento possíveis.

Primeiramente foi necessário desenvolver uma tabela de valores médios de fretes em US\$/tonelada/km, para estradas pavimentadas, onde não se distingue diferença de classe de estradas nem dos tipos de caminhões utilizados no transporte, a existência ou não de pedágios e balanços, nem limites de velocidades, que já

se considera dentro dos valores de fretes levantados. (Tabela 2).

Tabela 2

Valores de frete para o transporte principal de toras curtas de eucalipto, em US\$/t. /Km, referentes ao ano de 1996. (Main transportation distances in kilometers through supply routes available in 1996)

Indústrias β	CH	DU	EU	LW	RI	SU
Distâncias β						
0 a 200 Km	0,042	0,048	0,058	0,047	0,043	0,043
201 a 400 Km	0,024	0,027	0,028	0,027	0,025	0,027
> 400 Km	0,019	0,013	0,024	0,014	0,021	0,021

Fonte: Indústrias e Florestar Estatístico (1996).

Desenvolveu-se em seguida uma tabela de distâncias (Tabela 3) para as rotas alternativas identificadas no mapa da Revista 4 Rodas de 1996, como o menor percurso de rodovias pavimentadas, para interligar os municípios de localização das fazendas (origens) com os municípios de localização das fábricas (destinos).

Observando-se a Tabela 3, percebe-se que 15,1% das rotas se enquadram dentro da distância de zero a 200 Km de percurso de viagem de ida e volta, 26,6% na distância de 200 a 400 Km e 58,3% com percurso acima de 400 Km.

A média de todas as rotas componentes da Tabela 3 em termos de distância de percurso é de 432 Km. A média das rotas efetivamente utilizadas ou praticadas pelas indústrias no ano de 1996 é de 291 Km.

Os valores da Tabela 4, que constituem a matriz dos custos de transporte, foram parte deles fornecidos diretamente pelas indústrias e representam a situação do fluxo de madeira (rotas) efetivamente praticado no ano de 1996 e outra parte estimada, utilizando-se as Tabelas 2 e 3. A Tabela 4 é também conhecida como matriz dos coeficientes da função objetivo ou matriz origem-destino, de tamanho “ $m \times n$ ”, que define o número de variáveis da função objetivo com “ $m + n$ ” restrições. Ela é básica para a solução dos modelos matemáticos de programação linear referentes ao problema de transporte.

Tabela 3

Distâncias em quilômetros para o transporte principal nas rotas de abastecimento disponíveis no ano de 1996.
(Main transportation distances in kilometers through supply routes available in 1996)

Ind ^P j	CH	DU	EU	LW	RI	SU	Município
Faz ^B i	Mogi Guaçu	Botucatu	Salto	Lençóis Paulista	Americana	Suzano	(Fazendas)
CH ₁	79	549	277	551	211	561	Mogi Guaçu
CH ₂	418	316	396	294	324	654	Brotas
CH ₃	326	552	436	506	294	654	Santa Rita do Passa Quatro
CH ₄	684	254	518	144	510	790	Agudos
CH ₅	586	330	276	412	362	458	Itapetininga
CH ₆	414	678	710	578	514	906	Altinópolis
CH ₇	376	692	326	774	340	334	Piracaia
CH ₈	546	176	436	182	424	644	Avaré
DU ₁	502	60	338	142	424	588	Botucatu
DU ₂	558	120	364	202	416	596	Itatinga
DU ₃	553	191	469	162	555	719	Lençóis Paulista
EU ₁	250	340	46	422	194	326	Itu
EU ₂	222	330	12	412	160	316	Salto
EU ₃	352	416	152	498	294	338	Pirapora
EU ₄	442	506	246	563	384	440	Pilar do Sul
EU ₅	554	184	444	190	432	652	Avaré
EU ₆	536	94	372	176	458	622	Botucatu
LW ₁	550	188	466	82	552	716	Borebí
LW ₂	528	90	334	172	386	566	Itatinga
RI ₁	351	513	505	557	345	705	São Simão
RI ₂	376	478	432	410	300	638	Ibaté
RI ₃	470	288	486	288	406	744	B.E.do Sul
RI ₄	266	324	316	332	220	556	Itirapina
RI ₅	497	135	413	29	499	663	Lençóis Paulista
RI ₆	626	256	516	262	504	724	Avaré
RI ₇	833	515	623	597	729	835	Itararé
RI ₈	190	488	146	570	140	346	Campinas
SU ₁	560	682	412	764	482	124	Salesópolis
SU ₂	655	837	579	919	565	345	S.L.Paraitinga
SU ₃	432	496	236	553	374	430	Pdo Sul
SU ₄	572	134	408	216	430	610	Itatinga
SU ₅	828	510	618	592	724	830	Itararé

Fonte: Mapa Rodoviário da Revista Quatro Rodas (1996)

A primeira coluna da tabela mostra as fazendas produtoras de matéria prima e o município tomado como referência para sua localização. Os elementos internos da matriz são os coeficientes “Cij” da função objetivo do modelo de transporte e representam os custos de se movimentar uma tonelada de toras curtas de eucalipto em cada rota. A última linha e a última coluna representam respectivamente as demandas anuais de matéria prima de cada indústria consumidora e as ofertas anuais de cada fazenda.

Formulação matemática do modelo

Com base nas informações contidas na Tabela 4 e com os valores definidos para as restrições de demanda e de oferta de madeira para o modelo, tem-se:

$$\text{Função objetivo : } Z = \sum_{i=1}^{32} \sum_{j=1}^6 C_{ij} X_{ij} \quad (6)$$

Minimizar “Z” sujeito a :

$$\sum_{i=1}^{32} X_{ij} \geq D_j \quad \text{para } j = 1 \text{ a } 6 \quad (7)$$

$$\sum_{j=1}^6 X_{ij} \leq O_i \quad \text{para } i = 1 \text{ a } 32 \quad (8)$$

$$\sum_{i=1}^{32} O_i = \sum_{j=1}^6 D_j = \sum_{i=1}^{32} \sum_{j=1}^6 X_{ij} = 4.355.422,42 \quad (9)$$

$$X_{ij} \geq 0; \quad i = 1 \text{ a } 6; \quad j = 1 \text{ a } 32 \quad (10)$$

Onde:

Z = Custo mínimo total do transporte principal das toras de eucalipto, em dólares (US\$);

Cij = Coeficientes da Tabela 4, em dólares para transportar uma tonelada de toras de eucalipto por rota;

Xij = Variável de decisão, em total de toneladas anualmente transportadas na rota ij, para abastecimento da indústria j;

m = 32;

n = 6;

Dj = Demanda total anual, em toneladas de toras de eucalipto, de cada uma das seis indústrias (última linha da Tabela 4);

Oi = Capacidade limite anual de oferta, em toneladas de toras de eucalipto, de cada uma das 32 fazendas (última coluna da Tabela 4).

A fábrica da Ripasa S/A, pelo mapa político encontra-se localizada no município de Limeira, porém administrativamente encontra-se no perímetro urbano da cidade de Americana, motivo pelo qual esta última é tomada como referência para definição de rotas e cálculo de distâncias.

Pressuposições e limitações do modelo

- ✓ representa a realidade para o período de um ano (1996);
- ✓ é aplicado para as condições da região leste do Estado de São Paulo;
- ✓ consideram-se inexistentes os vínculos de propriedade da madeira das fazendas com as respectivas indústrias;
- ✓ a madeira em toras curtas de eucalipto é considerada uma mercadoria,
- ✓ as fazendas foram agregadas em torno do município mais próximo, tomado como referência para cálculo das distâncias no mapa;
- ✓ as rotas são consideradas disponíveis e acessíveis durante todo o ano;
- ✓ os custos de transporte não fazem referência à existência ou não de estradas de terra;
- ✓ os custos de transporte levantados junto às indústrias, não fazem referência ao tipo de caminhão utilizado no transporte principal da madeira nem à capacidade de carga;
- ✓ para os cálculos no trabalho, consideram-se os caminhões trabalhando a plena capacidade de carga;
- ✓ considera-se que os caminhões retornem vazios pelo mesmo trajeto da viagem de ida;

Tabela 4

Matriz dos custos de transporte rodoviário de toras curtas de eucalipto (US\$/t.) no Estado de São Paulo, para o ano de 1996.

(Main road transportation costs matrix for short eucalyptus logs (US\$/ton) in the State of São Paulo, 1996 values)

Indústrias j	CH	DU	EU	LW	RI	SU	Oferta
Fazendas i	M.Guaçu	Botucatu	Salto	L.Paulista	Americana	Suzano	Oi (t./ano)
CH ₁ /M.Gu	3,33	7,02	7,74	7,66	9,01	11,59	588884,9
CH ₂ /Brotas	9,91	8,60	11,07	8,05	8,15	13,51	233208,9
CH ₃ /SRPQ	7,73	7,05	10,67	7,03	7,39	13,51	67060,56
CH ₄ /Agud	13,00	6,91	12,68	6,71	10,66	16,32	34145,8
CH ₅ /Itapet.	11,14	8,98	7,72	11,28	9,10	9,46	131771
CH ₆ /Altino	9,81	8,66	17,38	8,03	10,75	18,72	8090,6
CH ₇ /Piraca	8,91	8,84	9,11	10,76	8,55	9,04	20268,9
CH ₈ /Avaré	10,38	8,51	10,67	8,48	10,66	13,31	63680,08
DU ₁ /Botuc	9,54	2,90	9,45	6,61	10,66	12,15	159218,2
DU ₂ /Itating	10,61	5,80	10,18	9,41	10,46	12,31	16241,44
DU ₃ /L.Paul	10,51	9,24	11,48	7,55	11,60	14,85	371904,2
EU ₁ /Itu	5,93	9,25	2,65	11,56	8,28	8,82	18562
EU ₂ /Salto	5,26	8,98	0,69	11,28	6,83	8,55	11521
EU ₃ /Pirapo	8,34	11,32	8,77	6,92	7,39	9,15	16295
EU ₄ /Pdo S	8,40	6,47	6,88	7,82	9,66	9,09	40983
EU ₅ /Avaré	10,53	8,90	10,87	8,85	9,03	13,47	62006
EU ₆ /Botuc	10,19	4,55	10,40	8,20	9,58	12,85	246687
LW ₁ /Bore	10,46	5,11	11,41	3,82	11,54	14,79	211048,1
LW ₂ /Itating	10,04	4,35	9,34	8,01	9,71	11,69	43061,97
RI ₁ /S.Sim	8,32	6,56	12,36	7,74	8,68	14,57	35451,5
RI ₂ /Ibaté	8,91	6,11	10,57	11,23	7,54	13,18	100076,2
RI ₃ /BedoS	8,93	7,84	11,90	7,89	10,21	15,37	96035,2
RI ₄ /Itirapin	6,31	8,81	8,83	9,09	9,39	11,49	84358,9
RI ₅ /L.Paul	9,45	6,53	11,55	1,35	10,43	13,70	116890,2
RI ₆ /Avaré	11,90	6,96	12,63	7,17	10,54	14,96	128235,6
RI ₇ /Itararé	15,84	6,58	15,25	8,30	15,24	17,25	200733
RI ₈ /Campin	8,01	6,24	8,43	7,92	5,98	9,37	53099
SU ₁ /Saleso	10,65	8,72	11,52	10,62	10,08	5,29	207690,5
SU ₂ /SLPar	12,45	10,70	14,17	12,77	11,81	9,34	68550,7
SU ₃ /Pdo S	8,21	6,34	6,60	7,69	9,41	8,88	492055,2
SU ₄ /Itating	10,87	6,48	11,41	10,06	8,99	12,60	338562,7
SU ₅ /Itararé	15,74	6,52	15,13	8,23	15,14	17,15	89045,1
Dj (t./ano)	1147111	547363,8	396054	254110,1	814879,6	1195904	4355422

Fonte: Consulta às indústrias e estimativas deste estudo.

✓ não foram considerados no cálculo dos custos de transporte os seguintes itens: qualidade das estradas; efeitos das variações climáticas; limitações técnicas das estradas para tráfego dos diferentes tipos de caminhões; existência ou não de pedágios ou balanças; operações de carga e descarga; demoras, manutenção, reparos, manobras, filas etc.

✓ o enfoque do trabalho é exclusivamente no trajeto de viagem efetivamente percorrido pelos caminhões, isto é, no trajeto cujo tempo de percurso é função da distância de ida e volta na rota considerada.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise dos resultados foi organizada e conduzida de maneira a abordar primeiramente a perspectiva de conjunto constituído do agregado das indústrias (sistema) e, em seguida, a abordagem do comportamento individual, desmembrando-as do agregado. Para faci-

litar o trabalho, as informações foram resumidas e organizadas em três tabelas, considerando três aspectos distintos, a saber:

- ✓ relações de trocas entre as indústrias (qualitativa e quantitativa),
- ✓ aspectos de custos do transporte principal (eficiência econômica),
- ✓ aspectos de produção do transporte principal (eficiência técnica).

A primeira abordagem, com base na Tabela 5, considera o aspecto das trocas de fontes de abastecimento (fazendas ou origens) que, apesar da quebra do vínculo de propriedade, continuam definidas de maneira a permitir a identificação e o percentual das fazendas e indústrias que interagem nestas trocas.

A segunda abordagem dentro do aspecto de eficiência econômica utiliza a Tabela 6 para comparar os dois cenários segundo seus custos totais anuais (US\$/ano) e custos da tonelada de madeira posta fábrica (US\$/t.).

Tabela 5

Número de origens (fazendas) por destino na solução apresentada pelo modelo.
(Number of origins (farms) by destination in the solution presented by the model)

Destinos (Indúst.)	Sistema e Modelo	Origens (Fazendas)					Origens de terceiros (%)	
		CH	DU	EU	LW	RI	SU	
CH	Realizado	8						0
	Modelo	2	1			3		66,6
DU	Realizado		3					0
	Modelo		1	1	1	1	1	80
EU	Realizado			6				0
	Modelo	1	1	3	1			50
LW	Realizado				2			0
	Modelo				1	1		50
RI	Realizado					8		0
	Modelo	3		1		2	1	71,4
SU	Realizado						5	0
	Modelo	2	1	2	1	1	4	63,6
Sistema	Realizado	8	3	6	2	8	5	0
	Modelo	8	4	7	4	8	6	64,9

Fonte: Resultados deste estudo

Tabela 6

Desempenho econômico, medido pelo custo anual total e unitário de transporte, da solução apresentada pelo modelo. (Economic performance of the solution presented by the model, measured by the unitary and annual total transportation cost)

Indústrias, Modelo	Sistema e	Custos anuais		US\$ / viagem	US\$/Km	US\$/t		US\$/t/km
		US\$	D (%)			US\$	D (%)	
CH	Realizado	7.622.746	0	191,38	0,70	6,65	0	0,024
	Modelo	7.239.278	-5,0	181,75	0,66	6,31	-5,0	0,025
DU	Realizado	3.991.511	0	363,88	2,41	7,29	0	0,048
	Modelo	2.852.541	-28,5	260,05	0,82	5,21	-28,5	0,030
EU	Realizado	3.721.567	0	249,95	0,75	9,40	0	0,042
	Modelo	3.876.201	4,1	260,34	0,72	9,79	4,1	0,037
LW	Realizado	1.150.989	0	62,51	0,64	4,53	0	0,047
	Modelo	681.943	-40,7	37,03	0,64	2,68	-40,7	0,047
RI	Realizado	8.783.050	0	286,7	0,62	10,78	0	0,028
	Modelo	7.135.783	-18,7	232,93	0,60	8,76	-18,7	0,023
SU	Realizado	11.902.858	0	264,75	0,58	9,95	0	0,026
	Modelo	10.634.887	-10,6	236,55	0,60	8,89	-10,6	0,025
Sistema	Realizado	37.172.722	0	232,77	0,69	8,53	0	0,035
	Modelo	32.420.632	-12,8	203,01	0,64	7,44	-12,8	0,030

Fonte: Estimativas deste estudo

A terceira abordagem diz respeito à eficiência técnica do transporte principal (Tabela 7) medida em termos de quilometragem total percorrida no ano, quilometragem contida em uma tonelada de madeira posta fábrica (km/t.) e número de viagens realizadas anualmente.

O comportamento do sistema como um todo e de cada indústria pode ser medido pela eficiência técnica (Tabela 6) e pela eficiência econômica (Tabela 7), utilizando-se alguns parâmetros tomados como referência. No caso da eficiência econômica avalia-se a realização da tarefa de abastecimento, que atende à demanda anual de madeira do sistema ou das indústrias individualmente, segundo o custo total de transporte principal (US\$/ano) e segundo o custo da tonelada de madeira posta fábrica (US\$/t.). No caso da eficiência técnica mede-se a realização da mesma tarefa de abastecimento industrial, segundo o total de quilômetros anualmente percorridos (km/ano), segundo a quilometragem por tonelada de madeira posta

fábrica (km/t.), ou ainda, segundo o número de viagens necessárias para o abastecimento (viagens/ano).

Transporte realizado versus solução ótima do modelo para a condição de sistema

Esta comparação avalia principalmente os ganhos para o sistema, advindos da suposta quebra do vínculo de propriedade entre povoamento e indústria. O intercâmbio de madeira resultante da solução ótima do modelo promove uma nítida alteração na redistribuição final das fazendas. Mais da metade das rotas anteriormente realizadas (64,9%) são trocadas por rotas com origem em fazendas de terceiros, que respondem por quase metade do volume total de madeira transportada (47,4%). O número de rotas utilizadas passa de 32 no Realizado para 37 no Modelo, significando que com a solução ótima do Modelo, algumas fazendas abastecem mais de uma indústria. É o caso das fazendas EU₆, SU₄, LW₁, LW₂ e DU₃ que atendem as se-

guintes rotas: EU₆ - EU, EU₆ - DU, LW₁ - LW, LW₁ - DU, SU₄ - SU, SU₄ - RI, LW₂ - EU, LW₂ - SU, DU₃ - CH, DU₃ - EU. A fazenda EU₆ da Eucatex tem sua capacidade de oferta anual de madeira de 246.687 t. repartida entre a sua própria fábrica e a da Duratex, o mesmo ocorrendo com as fazendas LW₁ (211.048,1 t.) que atende à própria demanda e à da Duratex, e a fazenda SU₄ (338.562,7 t.) que atende à própria demanda e à da Ripasa. As fazendas LW₂ (43.062 t.) e DU₃ (371.904 t.) têm suas capacidades anuais de oferta totalmente comprometidas e direcionadas para atender exclusivamente fazendas de terceiros.

Pode-se afirmar que na condição de ótimo com base no custo de transporte, todas as seis indústrias participam do processo de troca de madeira no abastecimento. O percentual observado de trocas de fazendas próprias para de terceiros entre indústrias, varia de um mínimo de 50% a um máximo de 80%. Quem troca com quem e em que intensidade ocorre fica

mais evidente na análise individual por indústria.

Analisando por sistema dentro do período de tempo considerado, a redução observada nos custos totais anuais devido à otimização é de 12,8% (US\$ 4.752.090,00) sem comprometer o abastecimento de nenhuma das indústrias envolvidas. Esta redução nos custos totais de transporte de longa distância reflete nas mesmas proporções sobre os custos da tonelada de madeira posto fábrica (US\$/t.). Segundo Ribeiro (1998), Costa Filho et al. (1980), Ramirez (1979) e Fahraeus (1974), a participação do transporte principal no custo final do produto para a indústria de celulose, gira em torno de uma média de 10%. Considerando o mesmo percentual para a indústria de chapas de composição, gera-se uma expectativa de redução de 1,28% nos custos do produto final, ampliando a margem de eficiência econômica do agregado de indústrias.

Tabela 7

Desempenho técnico, medido pelo volume e quilometragem percorrida em cada solução apresentada pelo modelo (Technical performance measured by the volume and distance presented by each solution offered by the model)

Indústrias, Sistema e Modelo		Quilometragem percorrida nas rotas das fazendas					Km/ t.	Viagens por ano	Toneladas transportadas		t. / km
		Total	Próprias	De terceiros	% terceiros	Km/ viagem			De terceiros	% terceiros	
CH	Realizado	10.839.530	10.839.530	0	0	272,1	9,4	39.830	0	0	0,106
	Modelo	10.928.927	1.731.646	9.197.281	84,2	274,4	9,5	39.830	550.135,3	47,95	0,105
DU	Realizado	1.654.023	1.654.023	0	0	150,8	3,0	10.969	0	0	0,331
	Modelo	3.497.595	191.445	3.306.150	94,5	318,9	6,4	10.969	388.145,6	70,91	0,156
EU	Realizado	4.994.323	4.994.323	0	0	335,4	12,6	14.889	0	0	0,079
	Modelo	5.385.013	3.144.025	2.240.988	64,1	361,7	13,6	14.889	143.823,3	36,31	0,074
LW	Realizado	1.790.769	1.790.769	0	0	97,3	7,0	18.414	0	0	0,142
	Modelo	1.061.003	815.364	245.639	23,2	57,6	4,2	18.414	116.890,2	45,99	0,239
RI	Realizado	14.155.265	14.155.265	0	0	462,1	17,4	30.635	0	0	0,058
	Modelo	11.875.679	3.558.407	8.317.272	70,0	387,7	14,6	30.635	586.567,8	71,98	0,069
SU	Realizado	20.354.061	20.354.061	0	0	452,7	17,0	44.959	0	0	0,059
	Modelo	17.689.338	13.215.082	4.474.256	25,3	393,5	14,8	44.959	279.191,7	23,34	0,068
Sistema	Realizado	53.787.970	53.787.970	0	0	336,8	12,3	159.696	0	0	0,081
	Modelo	50.437.555	22.655.969	27.781.586	55,1	315,8	11,6	159.696	2.064.753,8	47,40	0,086

Fonte: Resultados deste estudo

A importância do processo de trocas de fontes de abastecimento (fazendas) pode ser medida no modelo otimizado, pelo elevado percentual de quilometragem anualmente percorrida em rotas que ligam indústrias a fazendas de terceiros (55,1%). O número de viagens anuais necessárias para o abastecimento mantém-se o mesmo (159.696 Viagem/Ano), apresentando uma redução de 3.350.415 quilômetros no total anual percorrido. Observa-se redução também na distância média por viagem (km/viagem) e na demanda de quilômetros por tonelada de madeira posta fábrica (km/t.). Estas reduções implicam em um ganho de eficiência técnica que gira em torno de 6%, o que se considerando 300 dias úteis no ano, significa uma margem de folga de 18 dias úteis no planejamento anual do transporte principal.

Transporte realizado versus solução ótima do modelo para a condição individual

International Paper do Brasil

No modelo otimizado, a participação de rotas de terceiros no transporte principal é de 66,6% no que diz respeito à fonte de abastecimento ou origem, recebendo madeira de fazendas pertencentes à Duratex e à Ripasa. Em termos de volume (toneladas de madeira posta fábrica), as trocas respondem por 47,95% da demanda total anual da indústria. Considerando-se quilometragem anual percorrida, as rotas que levam às fazendas de terceiros respondem por 84,2% do total de quilômetros no modelo otimizado.

Os custos totais anuais apresentam redução para o modelo de otimização, com quedas bastante significativas da ordem de 5% (US\$ 383.018,00), tendência que se repete de maneira idêntica em percentual para os custos da tonelada de madeira posta fábrica (US\$/t.). O modelo otimizado apresenta um acréscimo de 89.397 quilômetros na distância total percorrida no abastecimento, aumentando a quilometragem por tonelada de madeira posta fábrica,

o que significa perda de eficiência operacional em função de ganhos de eficiência econômica. Este fato não se constitui em problema, uma vez que a função objetivo minimiza custos e não distâncias. Além disto, o modelo foi elaborado considerando-se uma situação agregada (sistema) e não a situação particular de uma indústria isoladamente.

O termo “terceiros” nas Tabelas 5 e 7 é utilizado para designar fazendas ou origens da madeira que não sejam de propriedade do mesmo grupo empresarial da indústria que está sendo abastecida. As colunas “D%”, indicam variação na vertical, no caso deste estudo a referência é sempre o “Realizado”, e as colunas com “%” indicam variações em linha nas tabelas.

Duratex S/A

De todas as seis indústrias, a Duratex é a que apresenta os maiores índices percentuais de participação de fazendas de terceiros no abastecimento (80%), recebendo madeira de fazendas da Eucatex, Lwarcel, Ripasa e Suzano. Estas trocas respondem por 70,91% do volume em toneladas de madeira anualmente transportadas para consumo industrial e pela quase totalidade dos quilômetros percorridos no abastecimento, chegando a 94,5% das rotas ligadas a fazendas de terceiros.

A redução no custo total anual e no custo da tonelada de madeira posta fábrica é da ordem de 28,5% para o modelo, quando comparados com o Realizado.

Com a otimização, há um aumento significativo na quantidade total dos quilômetros anualmente percorridos (111%), bem como na quilometragem por tonelada de madeira posta fábrica (de 3,0 para 6,4 Km/t.). O número de viagens realizadas por ano mantém-se constante, porém as viagens na média tornam-se duas vezes mais longas, demonstrando uma grande queda de eficiência operacional.

Eucatex S/A

A reestruturação da distribuição espacial das origens da madeira apresenta índices de troca de 50% para o modelo de transporte, ou seja, metade das fazendas que abastecem a indústria não pertence ao mesmo grupo empresarial. As indústrias que apresentam trocas com a Eucatex são a International Paper do Brasil, a Duratex e a Lwarcel, cujas fazendas no modelo respondem por 36,3% do volume de madeira transportada (t./ano) e por 64,1% da quilometragem anualmente percorrida para proceder ao abastecimento.

O modelo apresenta uma perda de eficiência operacional com acréscimo de 7,8% (390.690 Km.) na quilometragem anual percorrida, sem alteração do número de viagens anualmente necessárias para o abastecimento.

A Eucatex no modelo otimizado é o único caso de elevação dos custos totais anuais de transporte observado em todo o trabalho, com uma variação de positiva de 4,1% em relação ao custo Realizado, significando perda de eficiência econômica e elevação dos custos da tonelada de madeira posta fábrica (US\$/t.), apesar de redução nos custos por quilômetro percorrido (US\$/km).

Com a otimização do sistema o que ocorre com a Eucatex é uma elevação do seu custo total anual com transporte principal e do seu custo por tonelada de madeira transportada, que não são totalmente compensados pela redução em termos de custo por quilômetro percorrido.

Lwarcel Celulose e Papel Ltda.

A reorientação das rotas de transporte no abastecimento cujo percentual reflete a tendência da empresa para o intercâmbio de matéria-prima madeira, apresenta trocas de 50% com fazendas da Ripasa S/A, parceiro único que responde ainda por 45,99% do volume anual (t.) de madeira demandada pela indústria. Cerca de 23,2% da quilometragem percorrida anualmente pelos caminhões no processo de abas-

tecimento no modelo de otimização dá-se em rotas que ligam a indústria a fazendas de propriedade da Ripasa S/A.

O modelo apresenta ganhos idênticos de eficiência econômica e operacional de 40,7% no transporte principal. A condição no Modelo apresenta o mesmo número de viagens que o Realizado, porém dentro de um percurso médio (km/viagem) cerca de 40% menor, implicando em menos tempo gasto com o transporte no abastecimento.

A Lwarcel é, entre todas as indústrias estudadas, a que apresenta os mais elevados índices percentuais de redução de custos e de quilometragem, conseqüentemente apresenta os maiores ganhos de eficiência operacional e econômica com a adoção do modelo de otimização. Porém, em termos de integração ou intercâmbio com as demais indústrias, ela e a Eucatex apresentam os menores índices percentuais de trocas (50%).

Ripasa S/A

A reorientação das rotas na solução ótima do modelo de transporte apresenta uma composição final com o mais alto índice de intercâmbio observado, onde 71,4% das fazendas são de propriedade de empresas não pertencentes ao mesmo grupo empresarial da Ripasa. As indústrias com as quais se processam as trocas no abastecimento são a International Paper do Brasil, a Eucatex S/A e a Cia. Suzano de Papel e Celulose. A indústria responde ainda pelo maior índice percentual de trocas observado em termos de toneladas de madeira transportada (71,98%) e pelo terceiro maior índice (70%) em termos de quilometragem percorrida em rotas unindo fazendas de terceiros com a indústria.

O modelo promove reduções nos custos totais (eficiência econômica) da ordem de US\$ 1.647.267,00 (-18,7%), com reflexo de mesma magnitude nos custos da tonelada de madeira posta fábrica (US\$/t.).

O modelo apresenta ganho de eficiência operacional com redução 16% na quilometragem anual e na distância média percorrida por viagem (km/viagem).

Cia. Suzano de Papel e Celulose

A recombinação de rotas promovida pela solução ótima do modelo indica uma participação de fazendas de terceiros no abastecimento industrial de 63,6% do total de fazendas. Quando se considera a participação de terceiros em termos de toneladas de madeira posta fábrica, o percentual se reduz para 23,34% do volume total anual de madeira movimentado. Em termos de quilômetros percorridos em rotas unindo a indústria a fazendas de terceiros, o percentual gira em torno de 25,3%.

Esta indústria é a que apresenta a maior intensidade de intercâmbio, interagindo com todas as outras cinco no processo de otimização promovido pelo modelo.

O modelo apresenta redução nos custos totais em relação ao transporte praticado (Realizado) com índice de 10,6% (US\$ 1.267.971,00), percentual que se repete para o custo da tonelada de madeira posta fábrica (US\$/t.).

O efeito das otimizações do transporte principal no modelo promove uma redução na quilometragem total percorrida de 2.664.723 quilômetros, gerando redução de 13% na quilometragem por tonelada posta fábrica (km/t.) e na distância média de transporte (km/viagem).

CONCLUSÕES

✓ Os resultados confirmam para as indústrias estudadas, a existência de ineficiências na distribuição espacial das fazendas produtoras de toras curtas de eucalipto em relação às suas respectivas indústrias consumidoras. Os elevados índices de trocas observados no modelo de otimização demonstram que no planejamento e na construção destas fábricas (notadamente na região leste do Estado), a preocupação vigente na época, pode ter sido com o escoamento da produção (transporte do produto final), em detrimento do abastecimento de matéria prima madeira (transporte principal);

✓ Os ganhos de eficiência através da redistribuição das fontes de abastecimento se confirmam para a condição de sistema. Considerando as indústrias individualmente este ganho não se repete de forma generalizada, pois uma das empresas (Eucatex) apresenta aumento anual de custo total. Neste caso, esta indústria não se sentiria estimulada a participar do processo de intercâmbio de matéria prima por apresentar perda de eficiência econômica no rearranjo espacial das fontes fornecedoras;

✓ Todas as seis indústrias participam em maior ou menor intensidade do processo de trocas, cujos índices de eficiência econômica, transferem para o produto final reduções de custos de 1,28% em termos de sistema e entre -0,4% e 4,0% em termos de indústrias individualmente;

✓ Os ganhos individuais de eficiência técnica e econômica juntamente com os índices individuais observados de trocas de fontes de abastecimento (entre 50% e 80%) e índices de troca de madeira, variando entre 23,3% e 71,98% entre indústrias, confirmam a decisão de reestruturar as combinações origem-destino da matéria prima madeira, como uma opção administrativa a mais, com reais possibilidades de melhoria do nível de competitividade das indústrias, sem interferir no setor de transformação.

✓ Os ganhos individuais de eficiência técnica e econômica juntamente com os índices individuais observados de trocas de fontes de abastecimento (entre 50% e 80%) e índices de troca de madeira, variando entre 23,3% e 71,98% entre indústrias, confirmam a decisão de reestruturar as combinações origem-destino da matéria prima madeira, como uma opção administrativa a mais, com reais possibilidades de melhoria do nível de competitividade das indústrias, sem interferir no setor de transformação.

AUTORES

ROBERTO ANTONIO TICLE DE MELO E SOUSA é Professor Doutor da Faculdade de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Mato Grosso - Av. Fernando Correa da Costa, s/n - Coxipó - Cuiabá, MT - 78060-900 – E-mail: rapms@terra.com.br

LUIZ CARLOS ESTRIVIZ RODRIGUEZ é Professor Livre Docente do Departamento de Ciências Florestais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – Universidade de São Paulo - Av. Pádua Dias, 11 - Caixa Postal 9

- Piracicaba, SP - 13400-970 - E-mail: lcer@carpa.ciagri.usp.br

FERNANDO SEIXAS é Professor Associado do Departamento de Ciências Florestais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – Universidade de São Paulo. Av. Pádua Dias, 11 – Caixa Postal 9 – Piracicaba, SP – 13400-970 - E-mail: fseixas@esalq.usp.br

JOSÉ VICENTE CAIXETA FILHO é Professor Associado do Departamento de Economia, Administração e Sociologia da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – Universidade de São Paulo. Caixa Postal 9 – Piracicaba, SP – 13400-970 - E-mail: jvcaixet@esalq.usp.br

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABPM - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTORES DE MADEIRA. Oferta de madeira tende a ser menor. **Revista da madeira**, n.20, 1995.
- ANFPC - ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE PAPEL E CELULOSE. **Relatório estatístico florestal: reflorestamento e correlatos**. São Paulo, 1996.
- CARLSSON, D.; ARVIDSSON, P.A. Optimized route planning - good for both: profits and the environment. **Resultat-SkogForsk**, n.23, p.1-4, 1998.
- CONJUNTURA ECONÔMICA. Estatísticas macroeconômicas. **Conjuntura econômica**, v.51, n.5, 1997.
- COSTA FILHO, P.P.; COSTA, H.B.; AGUIAR, O.R. Exploração mecanizada da floresta tropical úmida sem babaçu. **Circular técnica EMBRAPA / CPATU**, n.9, p.1-38, 1980.
- DASSIE, C. Silvicultura no caminho do desenvolvimento sustentável. **Celulose e papel**, n.54, p.20-24, 1996.
- DYKSTRA, D.P. **Mathematical programming for natural resource management**. New York: McGraw-Hill, 1984. p.16-37
- DURAN, D.O.; VALDEZ, P.F.; COROMINAS, E.R. **Modelos econômicos matemáticos**. Cuba: Universidad de La Habana, 1985. 360p.
- FAHRAEUS, L.B. **Manual of logging and transport in Eucalyptus plantations**. Roma: FAO / SWE, 1974. 50p.
- FLORESTAR ESTATÍSTICO. São Paulo, v.4, n.11, p.1-84, 1996.
- GABARRO, J.; CHEVALIER, P.; WEINTRAUB, A.; NIETO, E.; EPSTEIN, R. A system for the design of short term harvesting strategy. **European journal of operational research**, v.119, n.2, p.427-439, 1999.
- HADLEY, G. **Programação linear**. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1982. 458p.
- HARSTELA, P. Decision support system in wood procurement: a review. **Silva fennica**, v.3, n.2, p.215-223, 1997.
- HILLIER, F.S.; LIEBERMAN, G.J. **Introduction to operations research**. 6.ed. New York: McGraw-Hill, 1995. 975p.
- MARTELL, D.L.; GUNN, E.A.; WEINTRAUB, A. Forest management challengers for operational researchers. **European journal of operational research**, v.104, p.1-17, 1998.
- MARTINS, R.S. **Racionalização da infra-estrutura de transporte no Estado do Paraná: o desenvolvimento e a contribuição das ferrovias para a movimentação de grãos e farelo de soja**. Piracicaba, 1998. 216p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Universidade de São Paulo
- McGUIGAN, B.N. A log resource allocation model to assist forest industry managers in process selection and location, wood allocation and transportation and production planning. **Apitta**, v.37, n.4, p.289-296, 1984.
- NEVES, M.R. Tendências dos mercados doméstico e internacional para produtos de base florestal. In: SEMINÁRIO DE ATUALIZAÇÃO EM SISTEMAS DE COLHEITA DE MADEIRA E TRANSPORTE FLORESTAL, Curitiba, 1998. **Anais**. Curitiba: FUPEF / UFPR, 1998.
- ONDRO, W.J.; COUTO, L.; BETTERS, D.R. The status and practice of forestry in Brazil in the early 1990s. **The forestry chronicle**, v.71, n.1, p.107-119, 1995.
- RAMIREZ, P.F. **Análisis técnico y de costos de las faenas de carguo, transporte y estiba de rollizos de exportacion en la compañía agrícola y forestal Copihue**. Santiago: Universidad de Chile, 1979. 113p. (Monografia de Graduação)
- RIBEIRO, B.A.M. **Coordenação vertical do transporte de madeira: análise empírica dos arranjos institucionais existentes na indústria brasileira de celulose**. Piracicaba, 1998. 113p. Tese (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Universidade de São Paulo
- ROSS, A.D. Performance-based strategic resource allocation in supply networks. **International journal of production economics**, v.63, n.2, p.255-266, 2000.
- WILLIAMS, H.P. **Model building in mathematical programming**. 3.ed. Chichester: John Wiley, 1993. 356p.