

Dimensionamento de um sistema integrado de transporte de álcool e óleo diesel na região de influência da hidrovía Tietê-Paraná

(Design of an integrated system for transporting alcohol and diesel oil in the Tietê-Paraná waterway influence region)

Rui Carlos Botter* Marco Antonio Brinati**

José Roberto Romeu Roque** Mário Tvrzsky de Gouvêa**

Celso Luiz S. P. de Souza***

Serviço de Bibliotecas
Biblioteca de Engenharia Mecânica, Naval e Oceânica
1991

Resumo: o artigo trata do desenvolvimento dos modelos operacional e de avaliação econômica para um sistema integrado de transporte de álcool e óleo diesel na região de influência da hidrovía Tietê-Paraná. No modelo operacional merecem destaque especial:

I) o acompanhamento de todos os veículos que compõem o sistema, sejam eles comboios fluviais, comboios ferroviários ou caminhões;

II) a forma em que se revela a influência da tancagem dos terminais intermodais sobre a transferência de carga, com eventual bloqueio dessa operação;

III) as operações de transposição das eclusas.

No modelo de avaliação econômica são considerados os custos dos diferentes modos de transporte do sistema integrado – rodoviário, hidroviário, dutoviário e ferroviário, e também os custos dos terminais intermodais e de imobilização da carga.

Abstract: this paper presents the operational and economic evaluation models developed for designing an integrated transportation system for alcohol and diesel oil in the influence region of Tietê-Paraná waterway. The main features of the operational model are the following areas:

I) the model follows the operations of each vehicle within a closed loop;

II) the effect of the terminal storage capacity on the cargo handling operations with the eventual blocking of these operations is represented in the model;

III) the model simulates the locking process.

The economic evaluation model includes the procedures for calculating the transportation cost for each mode – highway, waterway, pipeline and railway and also terminal and inventory costs.

Results are presented and analyzed and they show the advantage of the proposed transportation system with respect to the existing one.

* CEPEN - EPUSP/FATEC - Jahu

** CEPEN - USP

*** PETROBRÁS/DETRAN



ão apresentados e analisados parte dos resultados obtidos, mostrando-se a vantagem do sistema proposto com relação ao sistema atual de transporte.

INTRODUÇÃO

Atualmente a malha ferroviária da FEPASA – Ferrovias Paulistas S.A., em conjunto com uma parte da malha ferroviária da RFFSA – Rede Ferroviária Federal S.A., é responsável pelo escoamento dos derivados de petróleo produzidos pela REPLAN – Refinaria do Planalto da Petrobrás, localizada na cidade de Paulínia, S.P., até as bases distribuidoras localizadas junto às ferrovias nas regiões de Presidente Prudente, Bauru, Ourinhos, São José do Rio Preto, Votuporanga, Cuiabá, Sinop, Campo Grande, Corumbá e Dourados, além de outras que estão muito distantes de uma possível influência da

Hidrovia Tietê-Paraná. Várias destas cidades, às quais se inclui Santa Adélia, na região de influência da hidrovia, são responsáveis pela captação, por via rodoviária, de uma parte da produção de álcool das usinas do Estado de São Paulo, sendo que este produto é transportado até a base de Paulínia por via ferroviária para posterior distribuição a outros locais. Uma parte da produção de álcool da região de Araçatuba é atualmente transportada por rodovia até um ponto a montante da eclusa de Nova Avanhandava, sendo aí embarcada em comboios fluviais que sobem o rio até um terminal junto à região de Santa Maria da Serra. A partir deste ponto, o álcool é transportado para a base de Paulínia por via rodoviária. A figura 1 mostra esquematicamente o sistema atual de escoamento de produtos claros e álcool, na região acima mencionada, que pode ser considerada a região onde os rios Tietê e Paraná podem competir no transporte desses produtos.

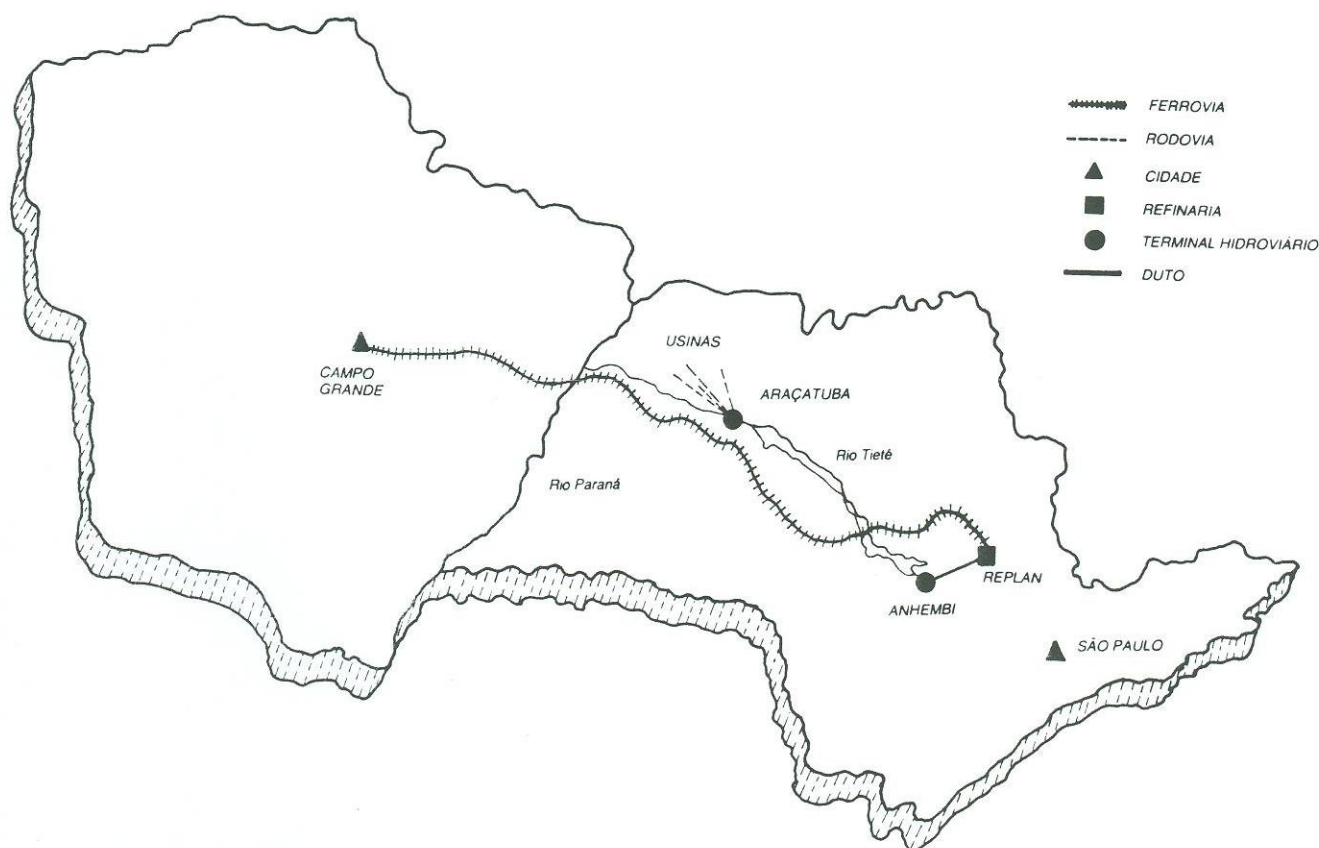


Fig. 1. – Sistema de Transporte Atual

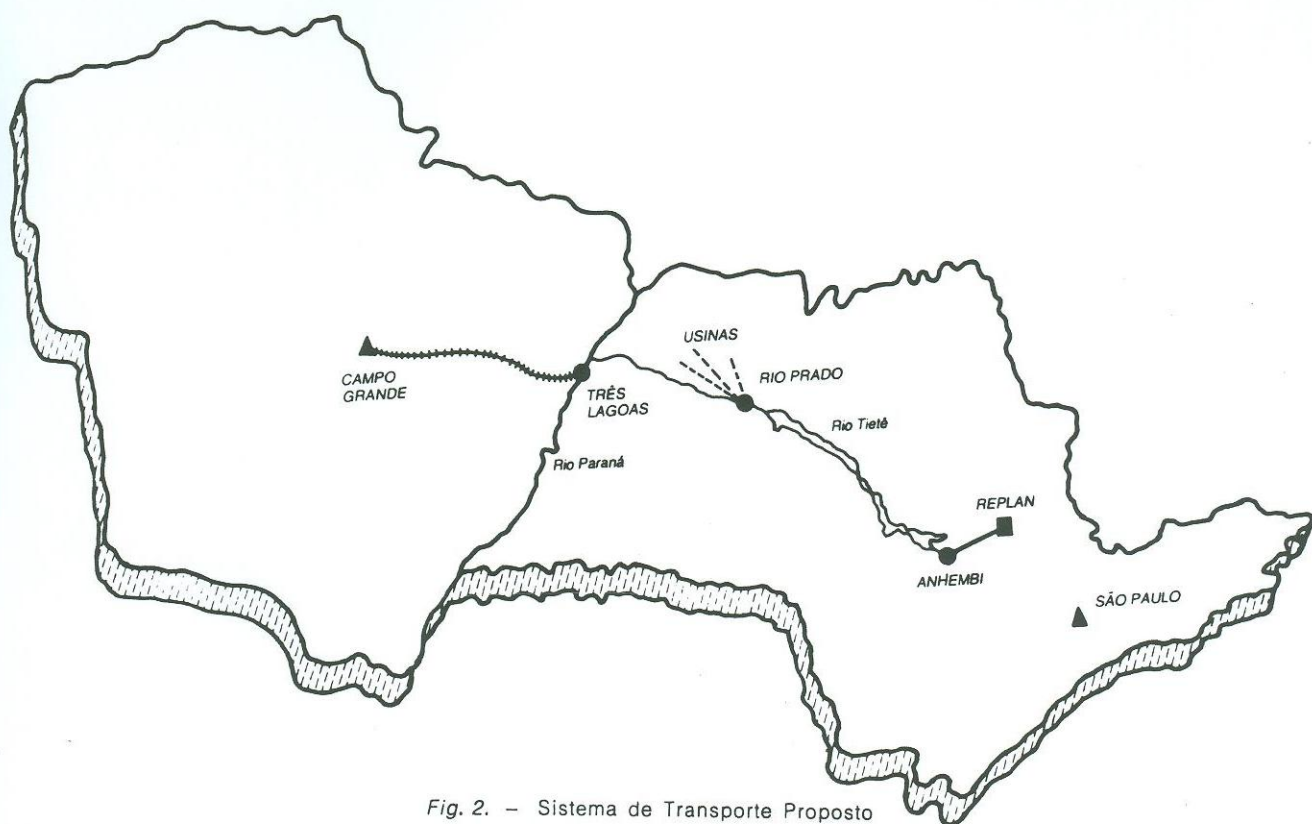


Fig. 2. – Sistema de Transporte Proposto

A região de influência potencial da hidrovía Tietê-Paraná e o sistema de transporte proposto neste trabalho, foram caracterizados a partir da análise da demanda das cargas envolvidas e definidos com base no custo total de transporte para cada origem no sistema otimizado.

Os derivados de petróleo possuem como origem a refinaria de Paulínia (REPLAN) e como destinos as bases distribuidoras de derivados já mencionadas.

O álcool possui como origem as usinas alcooleiras que enviam o produto por rodovia aos centros distribuidores e coletores junto à ferrovia e, em alguns casos, diretamente à REPLAN.

Com as demandas de álcool e óleo diesel, origens e destinos definidos, foi caracterizada a região de influência da hidrovía Tietê-Paraná, numa primeira aproximação, como aquela para a qual a hidrovía tem potencialmente maior vantagem em termos de restrições à navegação e menor distância em relação a outros modais de transporte. Tal configuração corresponde ao transporte de óleo diesel da REPLAN para Campo Grande e ao transporte de álcool da

região de Araçatuba para a REPLAN. Os fluxos de carga decorrentes são mostrados na tabela abaixo.

Tabela 1. – FLUXOS DE CARGA DE PROJETO (1989 - estimativa)

Origem	Destino	Tipo de Carga	Quantidade anual
Usinas	REPLAN	álcool	550.000 m ³
REPLAN	Campo Grande	óleo diesel	517.000 m ³

O sistema de transporte proposto, mostrado na figura 2, é constituído pelos componentes especificados a seguir:

– Transporte dutoviário de óleo diesel, num sentido, e de álcool no outro, entre a REPLAN até um terminal fluvial localizado próximo à cidade de Anhembi no alto Tietê, numa extensão de aproximadamente 97 km.

– Transporte fluvial de óleo diesel por comboios até o terminal de Três Lagoas, que deverá dispor de interface ferroviária, localizado a jusante da eclusa de Jupia no rio Paraná.

Nesse trajeto de 667 km, os combios fluviais transpõem 7 eclusas (Barra Bonita, Bariri, Ibitinga, Promissão, Nova Avanhandava, Três Irmãos e Jupia).

- Transporte ferroviário de óleo diesel até o seu destino final na cidade de Campo Grande, num total de 342 km. Os trens retornam vazios a Três Lagoas.

- Transporte fluvial de álcool do terminal de Pio Prado, que deverá dispor de interface rodoviária, na região de Araçatuba, até Anhembi. No trecho hidroviário entre Três Lagoas e Pio Prado os comboios não transportam carga.

- Transporte rodoviário das usinas produtoras de álcool na região de Araçatuba até o terminal de Pio Prado.

Para completar esta introdução, convém acrescentar duas observações. Este artigo relata parte dos resultados de um projeto de pesquisa, desenvolvido ao abrigo do convênio PETROBRÁS-USP, sobre a viabilidade de transporte de álcool e derivados de petróleo pela hidrovia Tietê-Paraná. Tal projeto é continuação de uma pesquisa anterior realizada em 1985, apresentada em (1), que concluiu pela viabilidade econômica do transporte fluvial de álcool da região de Araçatuba para Paulínia. Este transporte, conforme mencionado acima, já vem sendo realizado regularmente, embora em escala inferior à prevista.

A outra observação diz respeito à área de influência da hidrovia para a movimentação de álcool e óleo diesel. Além dos fluxos mencionados neste artigo, foram estudados também:

- O transporte de óleo diesel para São José do Rio Preto;

- O transporte de álcool das usinas da região de Santa Adélia.

O DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA

Para o sistema de transporte proposto, a metodologia desenvolvida permite a definição, considerando aspectos de eficiência operacional e o mínimo custo de transporte para a movimentação da demanda acima mencionada,

dos seguintes itens, considerados como variáveis de decisão:

- Número de empurradores e velocidade de serviço;

- Número de conjuntos de 2 chatas;

- Número de caminhões para o transporte de álcool entre usinas e o terminal de Pio Prado;

- Número de comboios ferroviários para o transporte de diesel entre o terminal de Três Lagoas e a cidade de Campo Grande;

- Número de berços de atracação em cada terminal hidroviário;

- Relação entre a capacidade de tancagem nos terminais e a capacidade do comboio hidroviário.

Foram parametrizadas e analisadas as seguintes condições físicas e operacionais do sistema:

- Capacidade dos comboios hidroviários em dois níveis, 3000, 2100 metros cúbicos;

- O número de horas diárias de operação dos terminais e eclusas, que podem ser de 12 ou 24 horas/dia.

O MODELO OPERACIONAL

A operação do sistema foi estudada através de um modelo de simulação que contempla os seguintes módulos:

- TERMINAIS FLUVIAIS – Cada terminal (Anhembi, Três Lagoas e Pio Prado) é composto de dois componentes. O primeiro componente é sempre relativo à operação do comboio fluvial. O segundo componente é relativo ao desempenho operacional do outro modal que está presente na outra face do terminal, sendo que neste componente acompanha-se o trajeto completo dos veículos envolvidos.

- ECLUSAS – Simula-se a operação completa de transposição de uma eclusa pelos comboios fluviais.

- NAVEGAÇÃO – Simula-se a navegação dos comboios entre eclusas e entre uma eclusa e um terminal.

A seguir são mostrados com detalhes aspectos dos blocos relativos à operação dos veículos junto às interfaces dos terminais e nas eclusas.

Carga e descarga de comboios hidroviários

– O comboio fluvial ao ser designado para um terminal fluvial, entra em fila aguardando até que uma posição de atracação seja liberada;

– Havendo posição livre avança o tempo relativo à operação de atracação;

– Se o comboio estiver carregado com álcool, é iniciado um processo cíclico de descarga para o tanque do terminal. Ao início de cada ciclo, verifica-se a possibilidade de descarga segundo a taxa nominal horária, se a embarcação ainda tiver carga suficiente. Podem ocorrer, portanto, quatro situações distintas, ou seja: há álcool suficiente na embarcação para uma descarga segundo a taxa nominal horária e espaço suficiente no tanque (ciclo normal); há álcool suficiente na embarcação e falta espaço no tanque (o ciclo horário é cumprido, o tanque é elevado ao seu nível máximo e é descarregado do comboio e a diferença entre a capacidade máxima de tancagem e o nível existente); não há álcool suficiente na embarcação (a quantidade de álcool é menor que a taxa nominal de descarga horária) e há espaço no tanque do terminal (este caso indica o fim da descarga, e o tempo de ciclo normal é corrigido segundo a proporção carga da embarcação e taxa nominal de descarga horária) e finalmente não há álcool suficiente na embarcação e não há espaço no tanque para esta quantidade de carga (neste caso cumpre-se o ciclo horário, o tanque é elevado ao seu nível máximo e é descarregado do comboio a diferença entre a capacidade máxima de tancagem e o nível existente).

Nota-se portanto, que não havendo espaço suficiente no tanque de álcool do terminal, a operação de descarga é inibida, podendo ocorrer o bloqueio da operação ou uma descarga a níveis inferiores à taxa nominal de descarga horária;

– Ao terminar o ciclo de descarga se naquele terminal houver o carregamento de óleo diesel no comboio (como é o caso do terminal de Anhembi), é iniciado um processo cíclico de carregamento do comboio com características semelhantes ao processo de descarregamento acima descrito, porém, no sentido inverso, onde a modelagem mede se o nível zero de tancagem é ou não atingido e se o comboio está ou não totalmente carregado;

– Finalizado o carregamento, o comboio está pronto para seguir viagem, devendo cumprir um tempo referente ao processo de desatracação. O controle do roteiro das embarcações é efetuado internamente pelo modelo de simulação, tendo em vista as distâncias envolvidas no sistema proposto e as eclusas existentes.

O terminal de Anhembi na interface hidroviária, tanto descarrega os comboios com álcool provenientes de Pio Prado como os carrega com óleo diesel; já o terminal de Três Lagoas somente recebe os comboios com óleo diesel e o terminal de Pio Prado somente recebe os comboios para serem carregados com álcool.

Foi simulada também a operação dos comboios fluviais com desmembramento nos terminais. Neste caso existe um conjunto de chatas adicional em cada terminal de tal forma que, ao chegar um comboio fluvial, o empurrador se desmembra das chatas e se o conjunto adicional de chatas já estiver convenientemente preparado (carregado ou descarregado conforme o terminal) o empurrador não espera, podendo seguir viagem.

Convém citar que a capacidade de bombeamento nominal de cada berço dos terminais foi considerada fixa em 220 metros cúbicos por hora.

Transferência de óleo diesel para comboios ferroviários

— Os comboios ferroviários, todos com mesma capacidade volumétrica de 1.140 metros cúbicos, chegando junto à interface ferroviária do terminal, cumprem um período de tempo de espera no pátio de estacionamento e manobras;

— Após esse tempo, entram em fila para a alocação de uma vaga para o carregamento de óleo diesel cujo destino é a cidade de Campo Grande;

— Liberada a vaga, é iniciado um período cíclico horário, sendo que no início de cada ciclo é verificado se existe carga suficiente para o carregamento de óleo diesel nos vagões naquele período. Havendo carga suficiente, o nível tanque do terminal é diminuído de tal quantidade. Não havendo tal quantidade de carga, a composição aguarda até que o nível necessário seja atingido através da operação da interface hidroviária. Note-se que a ligação entre as interfaces está no nível de tancagem de óleo diesel, podendo ocorrer o bloqueio desta operação caso não haja nível de tancagem suficiente de óleo diesel no terminal;

— Finalizada a operação de carregamento, o comboio ferroviário cumpre um avanço de tempo referente ao tempo de espera para receber uma locomotiva para o seu deslocamento até Campo Grande;

— Após esse tempo, simula-se o tempo de percurso até Campo Grande, em seguida essa transação repete o processo anterior de espera no pátio, descarregamento do óleo diesel, designação de uma locomotiva e retorno até o terminal de Três Lagoas, operando portanto em circuito fechado.

Transferência de álcool dos caminhões para os tanques

— Os caminhões chegam à interface rodoviária, entrando em fila, à espera de uma vaga para descarga do álcool;

— Havendo vaga, procede-se a um avanço de tempo referente à operação de vistoria de lacres e, em seguida, simula-se um tempo de descarregamento que depende do tamanho do caminhão, cuja média foi calculada em torno de 33.500 litros e de uma taxa média de descarga. Antes da descarga, o nível do tanque do terminal é testado, ocorrendo a descarga somente se houver espaço suficiente no tanque. Não havendo espaço, o caminhão espera o esvaziamento do tanque pela interface hidroviária;

— Finalizada a descarga, simula-se o tempo de ida até as usinas, o carregamento nas usinas, que da mesma forma depende do tamanho do caminhão, o retorno até o terminal de Pio Prado, fechando o ciclo dessa operação.

Transferência de álcool e óleo diesel por dutos

— Cada duto é simulado segundo um ciclo, constituído por 7.200 minutos em operação e 800 minutos de interrupção da operação por motivos diversos;

— Durante a operação, ao início de ciclo horário, o nível de tancagem é verificado, ou seja, para o bombeamento de óleo diesel no sentido REPLAN/Anhembí, é comparado o nível máximo com a taxa nominal de bombeamento. Se não houver espaço suficiente, naquele ciclo a tancagem é elevada ao nível máximo. Para o álcool, é verificado o nível zero do tanque em Anhembí, em processo similar.

Operação de transposição das eclusas

São simuladas as 7 eclusas existentes no percurso hidroviário. Para uma melhor caracterização da hidrovia são simuladas também outras embarcações não pertencentes ao sistema proposto, para atingir um nível de ocupação das eclusas. A simulação da transposição de uma eclusa pode ser descrita nas seguintes etapas:

– Uma embarcação chegando a montante ou a jusante entra em fila;

– A primeira embarcação em fila, se esta existir, testa se a câmara naquele lado (montante ou jusante) está aberta e disponível. Caso positivo, é simulado o processo de transposição. Caso negativo, testa-se se a câmara está disponível no outro sentido e sem embarcação para transpor. Caso esta condição seja confirmada é simulado somente o enchimento ou esvaziamento da câmara para o atendimento da embarcação que efetuou este teste. Caso contrário, significa que está ocorrendo uma transposição e portanto a embarcação permanece em fila. Como existem duas filas concorrentes, uma a jusante e outra a montante da eclusa, sempre será atendida uma embarcação por vez, dependendo da posição da câmara.

Algumas das estatísticas avaliadas pelo modelo de simulação operacional estão indicadas na tabela 2.

O MODELO DE AVALIAÇÃO ECONÔMICA

Conforme já foi explicado, o dimensionamento do sistema integrado de transporte foi realizado através da minimização dos custos totais. Tendo em vista a existência de vários modais e as diversas alternativas tecnicamente viáveis, foi necessária a implementação de um modelo específico de avaliação de custos.

Tabela 2. – ESTATÍSTICAS CALCULADAS PELO MODELO

FILAS

Local	Veículo	Média	Máxima	Tempo Médio
Eclusas	Comboios	0.92	6	312.0
T. Anhembi	Comboios	0.21	2	395.9
T. Três Lagoas	Comboios	0.20	2	393.8
T. Pio Prado	Comboios	0.15	1	293.8
T. Três Lagoas	Trens	0.42	2	478.9
T. Pio Prado	Caminhões	3.5	16	109.76

BERÇOS DOS TERMINAIS

Local	Número de Berços	Ocupação
Anhembi	2	0.689
Três Lagoas	1	0.790
Pio Prado	1	0.673

"TABLES" TANCAGEM NOS TERMINAIS

Local	Carga	Cap. Nominal	Nível Médio
Anhembi	Álcool	2.100	1.007
Anhembi	Diesel	1.960	998
Três Lagoas	Diesel	1.960	1.587
Pio Prado	Álcool	2.100	1.224

"TABLES" TEMPO DE CICLO

Veículo	Tamanho da Frota	Tempo Médio
Comboios	10	18.437
Trens	5	5.774
Caminhões	16	501

Obs.: – Tempos em minutos.

– Capacidades em metros cúbicos.

– Configuração com operação de 12 horas por dia, capacidade do comboio de 2.100 m³ e sem desmembramento.

O modelo de avaliação de custos buscou estimativas para o custo total equivalente anual do sistema global, propiciando a comparação imediata entre diferentes alternativas, bem como a calibração do modelo através do frete praticado nos diferentes modais em situações semelhantes.

As formulações para cada subsistema de transporte foram escolhidas através de modelos de custo empregados na literatura nacional e internacional, sendo explicitadas as suas principais características a seguir.

Modo hidroviário

O custo total anual foi subdividido em três grandes itens, a saber: custo de capital anual, custos fixos e variáveis operacionais anuais.

A tabela 3. mostra as formulações utilizadas e os respectivos parâmetros, sendo mencionados abaixo os principais aspectos:

– O preço do comboio foi estimado baseado em projeto preliminar do empurrador e chatas para o comboio tipo Tietê, constituído por 2 chatas em linha, na faixa de 2.100 a 3.000 metros cúbicos, com velocidade de projeto entre 10 e 12 km/hora;

– A seleção dos valores dos parâmetros utilizados, tendo em vista as diferentes fontes conhecidas, foi feita através da análise das situações reais defrontadas pela operação na hidrovia Tietê para o transporte de álcool. A influência dos seus valores foi avaliada por "análise de sensibilidade" nas faixas possíveis de variação;

– O custo de combustível se resume ao dispendido durante o tempo de navegação, pois não há consumo nas eclusas e nos terminais;

– Foi admitida uma taxa de lucro "normal" de 10%, aplicada sobre a totalidade dos custos incorridos;

Tabela 3. – FORMULAÇÕES UTILIZADAS PARA O MODO HIDROVIÁRIO

ITEM DE CUSTO	FÓRMULA	PARÂMETROS
CAPITAL ANUAL	$C_{cap} = N_c \left[\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right] \cdot \left[P_c - \frac{P_c F_s}{(1+i)^n} \right]$	N_c – Número de comboios P_c – Preço do comboio i – Taxa de juros F_s – Fração para preço de sucateamento n – Vida útil do comboio (anos)
FIXO OPERACIONAL ANUAL:		F_{ri} – Fração do preço do comboio para o item de custo i , sendo:
- Manutenção e Reparos - Docagem - Seguro do Casco - Administração	$C_{F1} = N_c \cdot P_c \cdot F_{r1}$ $C_{F2} = N_c \cdot P_c \cdot F_{r2}$ $C_{F3} = N_c \cdot P_c \cdot F_{r3}$ $C_{F4} = \left(\sum_{i=1}^3 C_{Fi} + \sum_{i=4}^5 C_{oi} \right) \cdot F_{r4}$	$i = 1$ – manutenção $i = 2$ – docagem $i = 3$ – seguro $i = 4$ – administração
VARIÁVEL OPERACIONAL ANUAL:		
- Combustível - Tripulação - Alimentação - Lubrificantes - Material de Bordo	$C_{o1} = (C_{comb} \cdot C_{ec} / 1000) (P_{ot} \cdot T_{nav})$ $C_{o2} = 12 \cdot N_c \cdot (1 + F_{r5}) \cdot P_{sal} \cdot N_t$ $C_{o3} = 365 \cdot N_c \cdot N_t \cdot P_{al}$ $C_{o4} = C_{o1} \cdot F_{r6}$ $C_{o5} = 365 \cdot C_{mb} \cdot N_c$	F_{r5} – Fração de encargos sociais sobre salário direto C_{com} – Preço de combustível, (US\$/t) C_{ec} – Consumo específico do motor (kg/np* h) P_{ot} – Potência do empurrador (hp) T_{nav} – Tempo total anual de navegação da frota (h) P_{sal} – Salário médio da tripulação (US\$) N_t – Número de tripulantes P_{al} – Custo diário de alimentação por tripulantes (US\$) F_{r6} – Fração de lubrificante em relação ao custo de combustível C_{mb} – Consumo diário com material de bordo (US\$)

– O preço e o número de comboios são especificados exogenamente ao modelo para cada alternativa analisada;

– O tempo anual de navegação dos comboios é calculado endogenamente no modelo de simulação.

Modo rodoviário

O modelo baseou-se no cálculo do custo total operacional por quilômetro percorrido, detalhado na referência (5), com correções devido às condições de tráfego e da rodovia, realizadas no comprimento da rodovia "ideal", acrescidos aos custos de capital. A tabela 4.

mostra as formulações utilizadas e os respectivos parâmetros; os principais aspectos são salientados a seguir:

– O preço do caminhão, a taxa rodoviária única e custos de seguro são funções do tipo de caminhão, tendo sido considerados caminhões SCANIA - 112, hoje utilizados no transporte de álcool em distâncias e volumes similares aos tratados neste projeto;

– O cálculo da quilometragem percorrida pelos caminhões é feito pelo modelo de simulação da operação do sistema de transporte. Incidem sobre esta quilometragem acréscimos que devem ser incorporados ao modelo de custos para considerar condições reais da via e

Tabela 4. – FORMULAÇÕES UTILIZADAS PARA O MODO RODOVIÁRIO

ITEM DE CUSTO	FÓRMULA	PARÂMETROS
CAPITAL ANUAL	$C_{cap} = \left[\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right] \cdot \left[P_c - \frac{P_c F_s}{(1+i)^n} \right]$	P_c – Preço de cada caminhão com carroceria para transporte de álcool F_s – Fração para preço de sucateamento i – Taxa de juros n – Vida útil do caminhão
FIXO OPERACIONAL ANUAL:	$C_{01} = P_{sa1} \cdot 12(1 + A_p)(1 + F_{rs}) \cdot N_t$ $C_{02} = f$ (tipo de caminhão-tabelas das TRU) $C_{03} = f$ (tipo do caminhão) $C_{04} = F_{r2} \left[N_{com} \cdot \sum_{i=1}^3 C_{oi} + \sum_{i=5}^8 C_{oi} \right]$	P_s – Salário médio mensal dos motoristas A_p – Adicional de periculosidade F_{rs} – Fração de encargos sociais sobre salário direto N_t – Número médio de ocupantes nos caminhões N_{cam} – Número de caminhões utilizados F_{r2} – Fração do custo operacional total, excluindo combustível, para cálculo do custo administrativo
VARIÁVEL OPERACIONAL ANUAL:	$C_{05} = C_{07} \cdot (C_{MTH} / CC_{TM})$ $C_{06} = N_{pm} \cdot Km \cdot \left[\frac{C_{om}(1 + F_{r3})}{K_p} \right]$ $C_{07} = Km \cdot C_g \cdot C_{comb}$ $C_{08} = Km \cdot (P_{rc} / P_{TC} + P_{TD} / P_{TD})$ $C_{09} = Km \cdot P_{lav} / T_{lav}$	C_{MTH} – Custo médio padrão arbitrado de manutenção para veículos de carga Km – Quilometragem anual percorrida pela frota de caminhões K_p – Distância útil do pneu, incluída uma recapagem C_{pm} – Custo do pneu F_{r3} – Fração do preço do pneu novo do custo de recapagem N_{pm} – Número de pneus do caminhão C_{omb} – Preço do litro de óleo diesel C_c – Consumo de combustível em condições ideais P_{TC} – Período de troca de óleo de câmbio P_{TD} – Período de troca de óleo de diferencial P_{rc} – Preço de óleo de câmbio P_{lav} – Preço de cada lavagem T_{lav} – Distância média percorrida entre lavagens CC_{TM} – Custo Médio padrão arbitrado de combustível para veículos de carga P_{TD} – Preço do óleo do diferencial

de velocidade dos caminhões. Para uma velocidade média de 30 km/hora, aclives, declives e curvas moderados e revestimento primário, considerados no estudo em questão, aceitou-se um aumento de 9% na quilometragem;

— Os resultados de custo por quilômetro percorrido obtidos pela aplicação do modelo, com os parâmetros adotados, foram comparados aos fretes praticados em situações semelhantes. As diferenças encontradas, em alguns casos de até 30%, não levam a crer que existam fatores não considerados ou parâmetros incorretos, podendo ser justificadas por situações de mercado diversas, propiciando diversas margens brutas.

Modo ferroviário

O modelo adotado foi semelhante ao discutido na referência (5) com algumas alterações nos parâmetros, oriundas de entrevistas com técnicos de indústrias fornecedoras de vagões e da FEPASA. As formulações e parâmetros são sumarizados na tabela 5. Convém destacar que:

— Tanto no curso de capital anual, como no modelo de avaliação operacional, adotou-se comboio-tipo com 20 vagões com capacidade total de 1.140 metros cúbicos, operando a uma velocidade média de 48 km/hora;

— A tripulação considerada por comboio é constituída por um maquinista, um auxiliar de maquinista e um auxiliar de trem;

Tabela 5. — FORMULAÇÕES E PARÂMETROS UTILIZADOS PARA MODO FERROVIÁRIO

ITEM DE CUSTO	FÓRMULA	PARÂMETROS
Capital anual por comboio	$C_{F01} = \left[\frac{i(1+i)^{n_{Loc}}}{(1+i)^{n_{Loc}} - 1} \right] \left[C_{Loc} \left(\frac{1 - F_{Loc}}{(1+i)^{n_{Loc}}} \right) + \right.$ $\left. + N_{vag} \left[\frac{i(1+i)^{n_{vag}}}{(1+i)^{n_{vag}} - 1} \right] C_{vag} \left(\frac{1 - F_{s}^{vag}}{(1+i)^{n_{vag}}} \right) \right]$	i — Taxa de juros anual real (%) n_{Loc} — Vida útil da locomotiva (anos) n_{vag} — Vida útil dos vagões (anos) F_{Loc} — Fator residual para cálculo de sucateamento de locomotivas F_{s}^{vag} — Fator residual para cálculo de sucateamento de vagões (%)
Fixos Operacionais Anuais por Comboio:		S_{al} — Soma dos salários médios mensais com a equipagem (\$) F_{r1} — Porcentagem de encargos sociais e outros ônus trabalhistas (%) P_{a1} — Custo de alimentação por tripulante (\$) F_{r2} — Fração de custo operacional total para cálculo de administração
Variáveis Operacionais Anuais (para a frota de Comboio) . Combustível . Óleo Lubrificante . Manutenção do comboio	$C_{01} = C_{kl} \times k_m \times P_{comb}$ $C_{02} = F_{r3} \cdot C_{01}$ $C_{03} = (C_{mL} + N_{vag} \cdot C_{mv}) \cdot k_m$	N_c — Número de comboios C_{kl} — Consumo de combustível (l/km) km — Quilometragem anual percorrida pelos comboios em condições ideais P_{comb} — Preço do combustível (\$/lt.) F_{r3} — Fração para cálculo de custo de óleo lubrificante N_{vag} — Número de vagões por comboio C_{mL} — Custo de manutenção da locomotiva (\$/km) C_{mv} — Custo de manutenção do vagão (\$/km)
Manutenção Anual da Ferrovia	$C_F = 1019 \times \sqrt{MTB} + 175 \times MTB$	$N_{tripulantes}$ — Número médio de tripulantes do trem MTB — Milhões de toneladas brutas transportadas anualmente pela ferrovia

– Similarmente ao modo rodoviário, acresce-se à quilometragem percorrida pelos comboios uma percentagem devido às condições reais da via férrea (aclives, declives, curvas etc.), aceitando-se no modelo empregado um acréscimo de 10%;

– Considerou-se uma taxa de lucro normal de 10%, incidente sobre todos os itens de custos calculados;

– A calibração do modelo, considerando-se os parâmetros adotados e as tarifas praticadas pela FEPASA para distâncias similares às empregadas no sistema de transporte em análise, determinou um fator multiplicativo de 1,55 sobre a somatória dos itens de custos calculados.

Modo dutoviário

Para o modo dutoviário utilizou-se um modelo baseado nos valores fornecidos pela Petrobrás com base em sua rede dutoviária. Tal procedimento se justifica pelos seguintes motivos:

– Não há necessidade do dimensionamento detalhado do sistema dutoviário para este trabalho de análise de viabilidade de sistema de transporte;

– A perna dutoviária representa no máximo 20% do custo total do sistema de transporte;

– Os resultados obtidos por esse procedimento simplificado não divergem, na situação em análise, aos obtidos através de cálculos mais elaborados obtidos através do método utilizado na referência(6).

A regressão utilizada para o custo total anual foi:

$$C_d^{An} = (a + bQ) Km$$

onde a e b são parâmetros obtidos por regressão, Q é a vazão anual em metros cúbicos e km é o comprimento total da dutovia em quilômetros.

Segundo a referência (6) os dutos a serem utilizados teriam diâmetros menores que 12 polegadas, observando-se que a dutovia possuiria dutos independentes para o transporte de álcool em um sentido e de óleo diesel no sentido inverso.

Terminais

Para a avaliação dos custos em terminais foram considerados os valores estimados pela CESP (7) e pelo IPT (5) em situações similares. Como havia a necessidade de uma modelagem sensível ao número de dolphins, realizou-se uma estimativa detalhada dos itens de custo (obras civis nos piers, plataformas para bombas, pátios, implantação de ramal ferroviário, acesso rodoviário, balança rodo-ferroviária, prédio de administração, bombas e tubulações, custos operacionais e de tancagem), comparando-se os valores obtidos aos das referências citadas.

Estocagem

Este último item de custo considerado no modelo engloba os custos decorrentes da imobilização da carga nos tanques de estocagem nos terminais e em movimento nas chatas, dutos, comboios ferroviários e caminhões. Apesar de não ser um custo diretamente alocável ao sistema de transporte, deve ser considerado pois onera o preço pago pelo usuário do produto transportado.

Resultados e conclusões

As tabelas 6, 7 e 8 mostram resultados obtidos na simulação do sistema integrado de transporte de álcool e óleo diesel. Em cada linha das tabelas aparece a melhor solução em termos de custo total de transporte, quando se varia a composição das frotas hidro, rodo e ferroviária, mantidas constantes as demais variáveis de decisão. Cada tabela corresponde a um nível de demanda de transporte e pressupõe um balanceamento entre os fluxos nos dois sentidos. A movimentação anual de 300.000 metros cúbicos por ano está próxima da escala atual de transporte; o fluxo anual de álcool poderia atingir 550.000 metros cúbicos se toda a produção das usinas/destilarias da região fosse transportada para Paulínia por via fluvial, enquanto que o nível de 800.000 metros cúbicos está condicionado a uma ampliação da produção.

Nas tabelas 6, 7 e 8 são consideradas duas capacidades de transporte para o comboio fluvial: 3.000 e 2.100 metros cúbicos. A primeira corresponde a uma restrição de calado de 2,5 metros e a outra a 1,75 metros; nos dois casos o comprimento do comboio e a boca das barcaças são limitadas pelas dimensões das eclusas. As características principais de cada comboio fluvial são apresentadas abaixo:

FORMAÇÃO PARA 3.000 METROS CÚBICOS

- Empurrador			
Comprimento	20,0 metros	Boca	9,5 metros
Calado	1,5 metros	Pontal	2,5 metros
Deslocamento	140 toneladas	Potência	850 BHP
- Chata (formação com 2 em linha)			
Comprimento	58,5 metros	Boca	10,5 metros
Calado	2,5 metros	Pontal	3,0 metros
Deslocamento	1.400 toneladas	Vol. útil	1.500 m ³

FORMAÇÃO PARA 2.100 METROS CÚBICOS

- Empurrador			
Comprimento	20,0 metros	Boca	9,5 metros
Calado	1,5 metros	Pontal	2,5 metros
Deslocamento	140 toneladas	Potência	670 BHP
- Chata (formação com 2 em linha)			
Comprimento	58,5 metros	Boca	10,5 metros
Calado	1,75 metros	Pontal	2,25 metros
Deslocamento	1.020 toneladas	Vol. útil	1.050 m ³

Com relação ao tamanho da frota fluvial, cabe mencionar que no caso de operação com desmembramento do comboio nos terminais, o número mostrado nas tabelas 6, 7 e 8 representa a frota de empurradores. O número de pares de barcaças é igual ao número de empurradores mais 3, pois há um conjunto adicional de barcaças em cada terminal.

Nas tabelas são também mostrados os tempos médios de ciclo dos veículos de cada frota; no caso de desmembramento do comboio fluvial, o tempo médio refere-se ao ciclo dos empurradores.

Efeito do desmembramento dos comboios nos terminais

A motivação para o desmembramento dos comboios é reduzir o tempo de permanência do empurrador nos terminais e o seu resultado é a diminuição do número de empurradores da frota às custas do aumento do número de barcaças.

Conforme estudos apresentados por Brinati (2), a vantagem do desmembramento, em termos de custo hidroviário, depende do índice de congestionamento portuário (e da relação entre o custo das barcaças e o custo do empurrador).

**Tabela 6. - CUSTOS ANUAIS DE TRANSPORTE PARA AS MELHORES ALTERNATIVAS
DEMANDA DE TRANSPORTE DE ÁLCOOL DE 300.000 m³/ano**

Capacidade de transporte de álcool do comboio (m ³)	Horas diárias de operação de terminais e eclusas	Forma de operação dos comboios	Frota Tempo médio de ciclo			Quant. álcool descarr. em Anhembi (mil m ³ /ano)	Custos anuais de transporte (milhões de US\$)						Custo anual total de transporte (milhões de US\$)
			Hidro.	Ferro.	Rodo.		Ferro.	Hidro.	Rodo.	Duto.	Term.	Estoq.	
3000	24	sem desmemb.	3 13421	3 5936	7 375	312	2.83	1.39	0.94	1.46	0.35	0.59	7.59
		com desmemb.	2 9198	3 6041	7 372	306	2.81	1.46	0.95	1.46	0.35	0.70	7.73
	12	sem desmemb.	4 19656	3 6497	9 529	288	2.74	1.65	0.94	1.44	0.35	0.64	7.76
		com desmemb.	3 13413	3 6061	9 501	306	2.81	1.76	0.97	1.45	0.35	0.73	8.09
2100	24	sem desmemb.	4 12240	3 5817	7 367	319	2.87	1.63	0.96	1.47	0.29	0.61	7.83
		com desmemb.	3 9370	3 5920	7 374	310	2.84	1.69	0.95	1.46	0.29	0.70	7.93
	12	sem desmemb.	6 18781	3 5956	9 486	319	2.83	2.16	1.00	1.47	0.29	0.69	8.44
		com desmemb.	4 12882	3 6082	9 493	306	2.81	1.94	0.98	1.46	0.29	0.74	8.24

OBS.: 1) Todos os terminais possuem um único berço.

2) A relação entre a capacidade de lançamento e a capacidade do comboio fluvial é de 1:1.

Tabela 7. – CUSTOS ANUAIS DE TRANSPORTE PARA AS MELHORES ALTERNATIVAS
DEMANDA DE TRANSPORTE DE ÁLCOOL DE 550.000 m³/ano

Capacidade de transporte de álcool do comboio (m ³)	Horas diárias de operação de terminais e eclusas	Forma de operação dos comboios	Frota Tempo médio de ciclo			Quant. álcool descarr. em Anhembi (mil m ³ /ano)	Custos anuais de transporte (milhões de US\$)						Custo anual total de transporte (milhões de US\$)
			Hidro.	Ferro.	Rodo.		Ferro.	Hidro.	Rodo.	Duto.	Term.	Estoque.	
3000	24	sem desmemb.	5 12954	4 4597	13 405	552	4.23	2.35	1.64	1.68	0.35	0.72	11.00
		com desmemb.	4 10230	4 4568	13 398	558	4.23	2.44	1.67	1.69	0.35	0.83	11.23
	12	sem desmemb.	8 20949	5 5799	16 501	540	4.77	3.24	1.73	1.67	0.36	0.83	12.62
		com desmemb.	6 15515	5 5812	16 499	546	4.77	3.03	1.73	1.68	0.36	0.90	12.48
2100	24	sem desmemb.	7 12710	4 4563	13 404	554	4.24	2.82	1.65	1.68	0.29	0.78	11.48
		com desmemb.	5 9094	4 4613	13 411	546	4.23	2.63	1.64	1.68	0.29	0.82	11.29
	12	sem desmemb.	10 18437	5 5774	16 501	546	4.78	3.60	1.73	1.68	0.30	0.90	13.01
		com desmemb.	8 14636	5 5779	16 503	542	4.79	3.42	1.73	1.68	0.30	0.97	12.88

OBS.: 1) Todos os terminais possuem um único berço, exceto Anhembi, em regime de operação de 12 horas diárias, com dois berços.

2) A relação entre a capacidade de tancagem e a capacidade do comboio fluvial é de 1:1.

Tabela 8. – CUSTOS ANUAIS DE TRANSPORTE PARA AS MELHORES ALTERNATIVAS
DEMANDA DE TRANSPORTE DE ÁLCOOL DE 800.000 m³/ano

Capacidade de transporte de álcool do comboio (m ³)	Horas diárias de operação de terminais e eclusas	Forma de operação dos comboios	Frota Tempo médio de ciclo			Quant. álcool descarr. em Anhembi (mil m ³ /ano)	Custos anuais de transporte (milhões de US\$)						Custo anual total de transporte (milhões de US\$)
			Hidro.	Ferro.	Rodo.		Ferro.	Hidro.	Rodo.	Duto.	Term.	Estoque.	
3000	24	sem desmemb.	7 12237	6 4593	19 390	828	6.34	3.37	2.49	1.94	0.35	0.85	15.36
		com desmemb.	5 8770	6 4665	19 394	810	6.29	3.14	2.47	1.92	0.35	0.89	15.08
	12	sem desmemb.	12 23664	8 6174	23 480	810	7.44	4.85	2.57	1.93	0.36	1.03	18.18
		com desmemb.	9 15918	8 6254	23 484	804	7.42	4.32	2.55	1.93	0.36	1.09	17.68
2100	24	sem desmemb.	9 11064	6 4616	19 393	826	6.33	3.82	2.47	1.94	0.29	0.90	15.70
		com desmemb.	7 8701	6 4660	19 396	814	6.30	3.61	2.46	1.93	0.29	0.95	15.54
	12	sem desmemb.	15 19225	8 6732	23 495	789	7.37	5.36	2.51	1.91	0.30	1.51	18.96
		com desmemb.	13 16229	8 6178	23 483	806	7.45	5.19	2.55	1.92	0.30	1.25	18.63

OBS.: 1) Todos os terminais possuem um único berço, exceto Anhembi, em regime de operação de 12 horas diárias, com dois berços.

2) A relação entre a capacidade de tancagem e a capacidade do comboio fluvial é de 1:1.

Ainda que a diferença entre os custos das duas alternativas seja reduzida em todos os casos, os resultados mostrados nas tabelas 6, 7 e 8 ratificam tal conclusão. À medida que aumenta a demanda de transporte, a operação com desmembramento melhora sua posição em relação à alternativa sem desmembramento. Convém observar que, para uma mesma demanda de transporte, o congestionamento portuário é maior quando não há operação noturna e, assim, é nesta situação que o desmembramento é mais indicado. Com o aumento de 1 para 2 berços em Anhembi, quando a demanda anual de transporte de álcool passa de 300.000 metros cúbicos para 550.000 metros cúbicos e não há operação noturna, a análise do efeito do desmembramento em função da demanda fica parcialmente prejudicada, dado que o índice de congestionamento aumenta apenas para Três Lagoas e Araçatuba.

Cabe, por último, assinalar que, para análise da influência do desmembramento e demais análises, uma apropriada comparação entre os custos deve incluir correções para levar em conta as quantidades efetivamente movimentadas.

Efeito da interrupção noturna na operação de terminais e eclusas (Operação de 12 horas/dia)

Os resultados as tabelas 6, 7 e 8 indicam que o efeito da interrupção noturna na operação de terminais e eclusas sobre o custo total de transporte cresce com o aumento da demanda. A explicação para este fato é óbvia – quando a movimentação de produtos é baixa, a demanda de serviços nos terminais também é pequena e a interrupção do atendimento por 12 horas não causa congestionamentos significativos para os diferentes meios de transporte.

Convém observar, porém, que não se deve analisar o aumento do tempo médio de ciclo de cada modo de transporte isoladamente, mas sim no conjunto. A característica essencial dos

terminais de transporte simulados neste trabalho é que, fixados o número de postos de atendimento e a taxa de carregamento/descarregamento em cada interface e a capacidade de armazenamento (tancagem), o atendimento em uma interface depende do tamanho da frota atendida na outra interface. Como o resultado apresentado em cada linha da tabela corresponde ao mínimo custo total para diferentes composições de frotas, não se observa no caso do transporte rodoviário um aumento da relação (tempo médio de ciclo para 12 horas/tempo médio de ciclo para 24 horas de operação), com o aumento da demanda, refletindo o aumento do congestionamento, conforme se constata para os modos fluvial e ferroviário.

Efeito da restrição de calado

Se, por motivo de profundidade dos canais navegáveis da hidrovia, o calado das chatas ficar restrito a 1,75 metros, constata-se, a partir das tabelas 6, 7 e 8, que haverá um acréscimo no custo hidroviário da ordem de 10 a 20%, dependendo da demanda de transporte e do número de horas de operação diária dos terminais e eclusas. No entanto, como o custo de transporte hidroviário representa de 20 a 30% do custo total de transporte e as demais parcelas são poucos sensíveis à variação da capacidade do comboio, o efeito da redução de calado sobre custo total não é normalmente maior que 5%.

Comparação com o sistema atual de transporte

A tabela 9 mostra a comparação entre os custos das melhores alternativas do sistema simulado e o custo do transporte atual. O custo do transporte atual é obtido como soma dos fretes praticados para o sistema descrito na seção 1; no transporte rodoviário das usinas até o terminal, a montante da barragem de Nova Avanhandava, considerando-se o frete médio ponderado. Assim, o custo de US\$ 48,16/m³

significa que, para colocar 1 m³ de álcool em Paulínia e 1 m³ de óleo diesel em Campo Grande, paga-se um frete de US\$ 48,16. Para o sistema simulado, o custo indicado nessa tabela é obtido dividindo-se o custo total mostrado nas tabelas 6, 7 e 8 pela média aritmética das quantidades transportadas de álcool e óleo diesel. Convém observar que na situação menos favorável – calado restrito a 1,75 m, interrupção noturna de operação dos terminais e eclusas e menor demanda, há uma redução de 43,2% no custo de transporte. Esta redução é obtida basicamente a partir de:

i) substituição de trecho ferroviário por transporte fluvial para o óleo diesel, que entra como carga de retorno para a hidrovía;

ii) substituição do transporte rodoviário do terminal de descarga de álcool até Paulínia por uma dutovia.

Como observação final, cabe assinalar que os resultados obtidos para o custo hidroviário nas tabelas 6, 7 e 8 estão baseados em uma estimativa preliminar do peso estrutural das chatas. Um cálculo detalhado mostrou posteriormente que o peso das chatas é menor, acarretando uma redução da ordem de 15% no preço do comboio. No entanto, como o reflexo do custo hidroviário no custo total é pequeno, conforme já foi mencionado, e tendo em vista a usual imprecisão dos parâmetros do modelo de custos, para efeito deste artigo, foram utilizados os resultados previamente calculados.

Tabela 9. – COMPARAÇÃO ENTRE OS CUSTOS DO SISTEMA E DO SISTEMA ATUAL

Demanda anual de transporte		Capacidade Volumétrica comboios (m ³)	Horas diárias de operação	Calado dos comboios (m)	Custo total * por m ³ sem desmembramento	Custo total * por m ³ com desmembramento	Custo do sistema atual (Us\$/m ³) **	Redução do custo de transporte (US\$/m ³)
Álcool	Diesel							
300000	280000	3000	24	2.5	25.17	26.13	48.16	22.99
			12	2.5	27.87	27.35	48.16	20.81
		2100	24	1.75	25.39	26.46	48.16	22.77
			12	1.75	27.37	27.86	48.16	20.79
550000	513000	3000	24	2.5	20.61	20.82	48.16	27.55
			12	2.5	24.18	23.65	48.16	24.51
		2100	24	1.75	21.44	21.39	48.16	26.77
			12	1.75	24.65	24.58	48.16	23.58
800000	747000	3000	24	2.5	19.19	19.26	48.16	28.97
			12	2.5	23.22	22.75	48.16	25.41
		2100	24	1.75	19.66	19.75	48.16	28.50
			12	1.75	24.86	23.91	48.16	24.25

*) Valores em US\$, de acordo com as condições de operação do comboio.

**) No custo total do sistema atual não estão incluídos os custos de terminais e de estoque, computados no modelo desenvolvido para o transporte hidroviário.

Notas e Referências

1. MIURA, O. et alii. "Avaliação econômico-operacional do transporte integrado de álcool da região de Araçatuba utilizando a modalidade hidroviária". Anais do 11º Congresso Nacional de Transportes Marítimos e Construção Naval, 1986, vol. IV, pp. IV-229-245.
2. BRINATI, M. A. – "Influência das condições de operação portuária sobre o dimensionamento de comboios fluviais". In: Proceedings of the 8th Congress of the Pan-American Institute of Naval Engineering, U.S.A., 1983.
3. ROCHE-LANDER, E. – "Le transport maritime du pétrole brut – application au cas du Vénézuéla". Thèse du Doctorat, Université de Paris, France, 1976.
4. GPSS/PC – "Reference Manual". Minuteman Software, U.S.A., 1986.
5. IPT - DEES – Potencial de biomassas vegetais para fins energéticos no estado de São Paulo – custos de transporte de carga, Brasil, 1979.
6. CHARRETON, R. – Transport par oleoducs de grand diametre à l'horizon 1980, França, 1970.
7. FERNANDES, A. S. et alii – Estudo de Viabilidade do Transporte Hidroviário de Álcool da Região de Araçatuba, Companhia Energética de São Paulo, Brasil, 1985.