
A QUESTÃO ENERGÉTICA E OS TRANSPORTES

José Goldemberg*

INTRODUÇÃO

Energia é um dos ingredientes do processo produtivo, ao lado do capital, trabalho e tecnologia. Não mereceu, até recentemente, qualquer atenção especial por ser abundante e barata, mas o nível de consumo da energia tem subido tanto que ameaça de exaustão a sua fonte mais conveniente, o petróleo, além de a queima indiscriminada de petróleo, carvão mineral e gás natural estar-se constituindo numa fonte importante de poluição ambiental, degradando a qualidade da atmosfera.

Por não serem itens de muito peso no custo de produção industrial e do transporte, as fontes de energia foram tratadas como outras matérias-primas quaisquer, e se acreditava que a exaustão de uma delas, o petróleo por exemplo, levasse à sua substituição por outra equivalente, sem maiores dificuldades. Há, contudo, certas peculiaridades do insumo ENERGIA que merecem um tratamento especial.

Em primeiro lugar, as diferentes fontes de energia não são realmente equivalentes e a substituição de uma por outra implica em alterações muito importantes da estrutura de consumo, ou então simplesmente se depara com dificuldades tecnológicas intransponíveis; este é o caso da substituição de gasolina por eletricidade. Ambas são formas de energia, mas a gasolina não pode ser substituída por eletricidade nos veículos automotores, pois a tecnologia necessária para tanto — no caso, baterias elétricas eficientes — ainda não existe.

Em segundo lugar, as principais fontes de energia em uso no mundo, *atualmente*, são de origem fóssil — carvão, petróleo e gás natural representam mais de 90% do consumo mundial de energia. Sendo fósseis, estas fontes de energia têm seu custo fixado não pelo trabalho (e capital) necessário para sua produção (e que não ocorre) mas por razões políticas. O cartel do petróleo (formado pelos países exportadores de petróleo), que em 1973 decretou a quadruplicação de seu preço, demonstrou claramente a natureza política dos preços das principais fontes de energia.

* Do Instituto de Física da Universidade de São Paulo.

Em terceiro lugar, estes recursos fósseis mostram sinais claros de exaustão; apesar das controvérsias que cercam as previsões sobre as reservas de petróleo, gás natural e carvão, parece unânime a certeza de que a produção de petróleo declinará a partir de 1985, agravando muito a competição para obtê-lo a preços aceitáveis.

Finalmente, as reservas de combustíveis fósseis estão distribuídas de forma muito desigual pelo planeta; o Brasil, em particular, parece não ter sido brindado pela natureza com reservas significativas de algum deles. Por conseguinte, o País tem importado quantidades significativas destes combustíveis fósseis, onerando de forma apreciável sua balança comercial. Qualquer aumento dos custos do petróleo, fixado pela OPEP (sobre a

qual não temos o menor controle), afeta duramente a economia nacional.

1. A ESTRUTURA DE CONSUMO DE ENERGIA NO BRASIL

Até 1940, o Brasil possuía uma estrutura de consumo de energia extremamente primitiva: as chamadas *fontes não comerciais* de energia (lenha, bagaço de cana, carvão vegetal e resíduos vegetais) representavam cerca de 80% do consumo, atendendo à maior parte das necessidades do País, excluindo as grandes cidades, as quais se supriam pelas fontes de energia comerciais (hidroeletricidade, carvão e petróleo), os outros 20% do consumo total do País (tabela 1 e figura 1).

TABELA 1

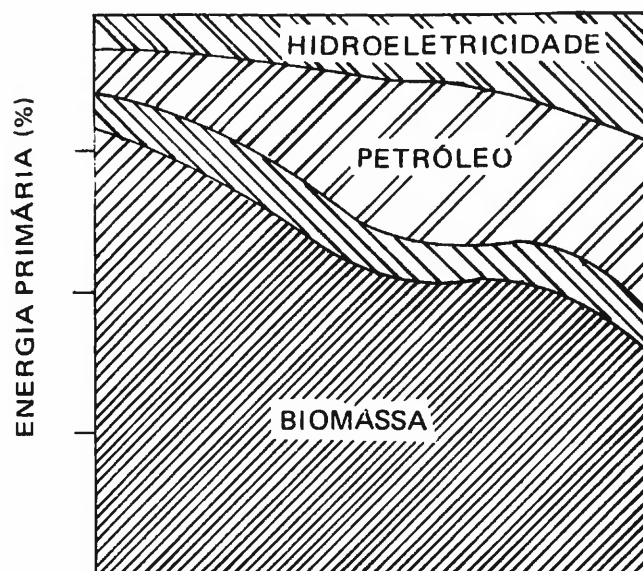
FONTES DE ENERGIA
(em toneladas equivalentes de petróleo X 1000)

ANO	CARVÃO	GÁS E PETRÓLEO	BIOMASSA *	HIDROELETRICIDADE	TOTAL
1941	1293	1687	14103	1282	18365
1946	1471	2357	13056	1441	18325
1952	1476	6680	13071	2663	23890
1953	1440	7510	12926	2675	24551
1954	1519	8516	13000	2882	25917
1955	1692	9652	13047	3075	27466
1956	1486	10703	13382	3685	29256
1957	1491	10139	13216	4314	29160
1958	1436	11784	15686	5070	33976
1959	1248	12323	15830	5182	34583
1960	1355	14260	16883	5331	37829
1961	1356	14850	17503	5494	39203
1962	1706	16487	18377	5992	42562
1963	1559	17192	20114	6011	44876
1964	1643	19313	20981	6408	48345
1965	1762	18409	22034	7399	49604
1966	1990	19803	21295	8093	51181
1967	2139	21348	21994	8465	53946
1968	2435	24261	21244	8860	56800
1969	2450	25815	21258	9481	59004
1970	2487	27269	22604	11560	63920
1971	2522	30512	21687	12549	67270
1972	2543	32087	21687	14761	71078

* Lenha, bagaço de cana e carvão vegetal.

Fonte: WILBERG, J.A. Consumo Brasileiro de Energia. *Energia Elétrica*. 27, 1974.

FIGURA 1
PERFIL DO CONSUMO DE ENERGIA
(EVOLUÇÃO HISTÓRICA)



A partir de 1940, o País ingressa numa rápida fase de "modernização", acompanhada de forte movimento migratório da zona rural para as cidades, e atinge, na última década, um elevado índice de urbanização. Isto significa, em termos de energia, que os habitantes migrados para a cidade passam a consumir energia *comercial*, provocando um crescimento na demanda devido à ampliação do número de consumidores (*crescimento horizontal*); além disto, uma vez na cidade, muitos deles avançam na escala social comprando automóveis, geladeiras e outros aparelhos consumidores de energia, provocando um *crescimento vertical* da demanda.

Como resultado disto, o consumo de fontes não comerciais permaneceu praticamente constante de 1940 até o presente (no que, aliás, acompanhou a evolução da população

rural). O consumo de fontes comerciais, contudo, aumentou explosivamente nas cidades, não só em função do crescimento acelerado destas (cerca de 6% ao ano, isto é, a população urbana duplicada a cada 11 anos), mas por a vida nas cidades exigir elevado índice de consumo.

O crescimento das fontes comerciais de energia tem sido elevado, superior a 8% ao ano. Parte desta demanda foi atendida pela produção de energia elétrica de origem hídrica, cuja fonte, muito abundante no Brasil, é renovável, de custo baixo e de impacto sobre o meio ambiente relativamente pequeno. Sucede, porém, que as sociedades modernas não utilizam mais do que 30% de eletricidade. Outros tipos de energia devem atender às demais necessidades, principalmente os combustíveis líquidos, já que é grande a importância do setor de transportes na sociedade moderna.

2. O PAPEL DOS TRANSPORTES NO QUADRO ENERGÉTICO

Qual a fração da energia consumida pelos transportes no Brasil?

Para o ano de 1975, a tabela 2 fornece os números e compara a mesma função para os Estados Unidos.

O setor transporte representava em 1975 cerca de 25% do consumo total de energia no País. Para obter esta energia sob a forma adequada (gasolina e óleo diesel) necessitava-se refinar cerca de 800.000 barris de petróleo por dia, obtendo-se ainda óleo combustível (na proporção de 1/3 para cada um deles), como se vê na figura 2:

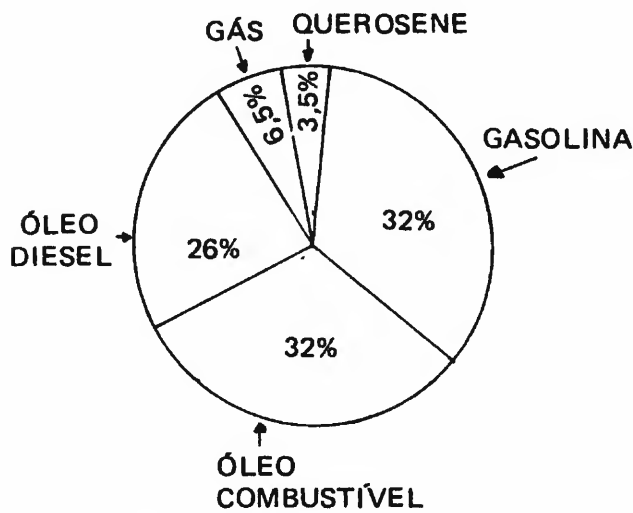
TABELA 2

USOS DA ENERGIA (1975)

	INDÚSTRIA	TRANSPORTE	COMERCIAL E RESIDENCIAL
Brasil	39%	25%	36%
São Paulo	49%	30%	21%
Estados Unidos	37%	26%	37%

Fonte: *Consumo Energético no Brasil: perspectivas para 1990* Fundação para o Desenvolvimento Tecnológico de Engenharia (FDTE), 1978.

FIGURA 2
PERFIL DO REFINO DE PETRÓLEO NO BRASIL



Em 1980, o consumo de petróleo atingiu 1 milhão de barris por dia, dos quais apenas 20% são produzidos no Brasil. A importação de 80% do total representa mais de 10

bilhões de dólares por ano, carga pesadíssima em nossa balança de pagamentos. Por conseguinte, o setor de transportes, apesar de não ser dominante no conjunto do balanço energético nacional, é o principal responsável pela grave crise econômica que atravessamos.

Na realidade, o setor de transportes é mais importante na economia nacional do que indicado na tabela 2, pela seguinte razão: além dos *custos energéticos diretos* que ocorrem através do uso de derivados de petróleo, existe uma fração apreciável de energia (computada no setor industrial) consumida na manufatura e reparo de veículos, construção e manutenção de estradas, perdas de refino do petróleo e nos equipamentos de suporte aos diversos tipos de transportes como portos, trilhos e terminais. Estes são *custos energéticos indiretos*.

A tabela 3 mostra como se distribuem estes custos nos Estados Unidos para o ano de 1967, e a tabela 4 para o Brasil em 1970.

TABELA 3
ENERGIA NO SETOR DE TRANSPORTES
ESTADOS UNIDOS (1967)

	% do total
CUSTOS DIRETOS	
Combustível para automóveis	11,8
Combustível para caminhões	4,7
Combustível para aviação	3,5
Outros	5,3
Subtotal	25,3
CUSTOS INDIRETOS	
Manufatura e reparação de veículos, pneus etc.	4,2
Construção e manutenção de estradas	1,7
Equipamentos auxiliares	1,9
Perdas de refino	5,3
Operação de equipamentos auxiliares	4,3
Subtotal	17,4
TOTAL	42,7

Fonte: POLLARD, J., HIATT, D. & RUBIN, D. A summary of opportunities to conserve transportation energy. Report nº DOT-TSC-OST-75-22, U.S. Department of Transportation, August 1975.

TABELA 4
ENERGIA NO SETOR DE TRANSPORTES
BRASIL (1970)

	% do total
CUSTOS DIRETOS	
Gasolina	12,8
Diesel	6,9
Querosene aviação	0,3
Subtotal	20,0
CUSTOS INDIRETOS	
Manufatura e reparação de veículos	3,3
Construção e manutenção de estradas	2,2
Equipamentos auxiliares	4,6
Perdas de refino	2,0
Subtotal	12,1
TOTAL	32,1

Fonte: GRAÇA, G.M.G., VANIN, V.R., MOREIRA, J.R. & GOLDEMBERG, J. *Coefficientes de Energia para a Economia*, Preprint do Instituto de Física da USP (em publicação).

Como se vê, o setor de transportes nos Estados Unidos representava 42,7% do consumo total de energia, dos quais 25,3% com custos diretos (combustíveis) e 17,4% com custos indiretos. No Brasil este setor representava, em 1970, 32,1% do consumo total, dos quais 20,0% com custos diretos e 12,1% com custos indiretos. É provável que alguns itens tenham deixado de ser computados na alínea de custos indiretos devido à natureza da matriz intersetorial brasileira de 1970.

Os custos indiretos são calculados para os dois países a partir da tabulação das matrizes intersetoriais, devidamente multiplicadas pelos coeficientes de energia apropriados. Como se pode ver, estes são consideráveis (cerca de 50% dos custos diretos) nos dois países.

Por conseguinte, medidas de conservação de energia não podem ser consideradas de maneira simplista, do tipo economia apenas

na operação do veículo, mas sim em toda a cadeia de operações que envolve a construção, uso e operação do veículo.

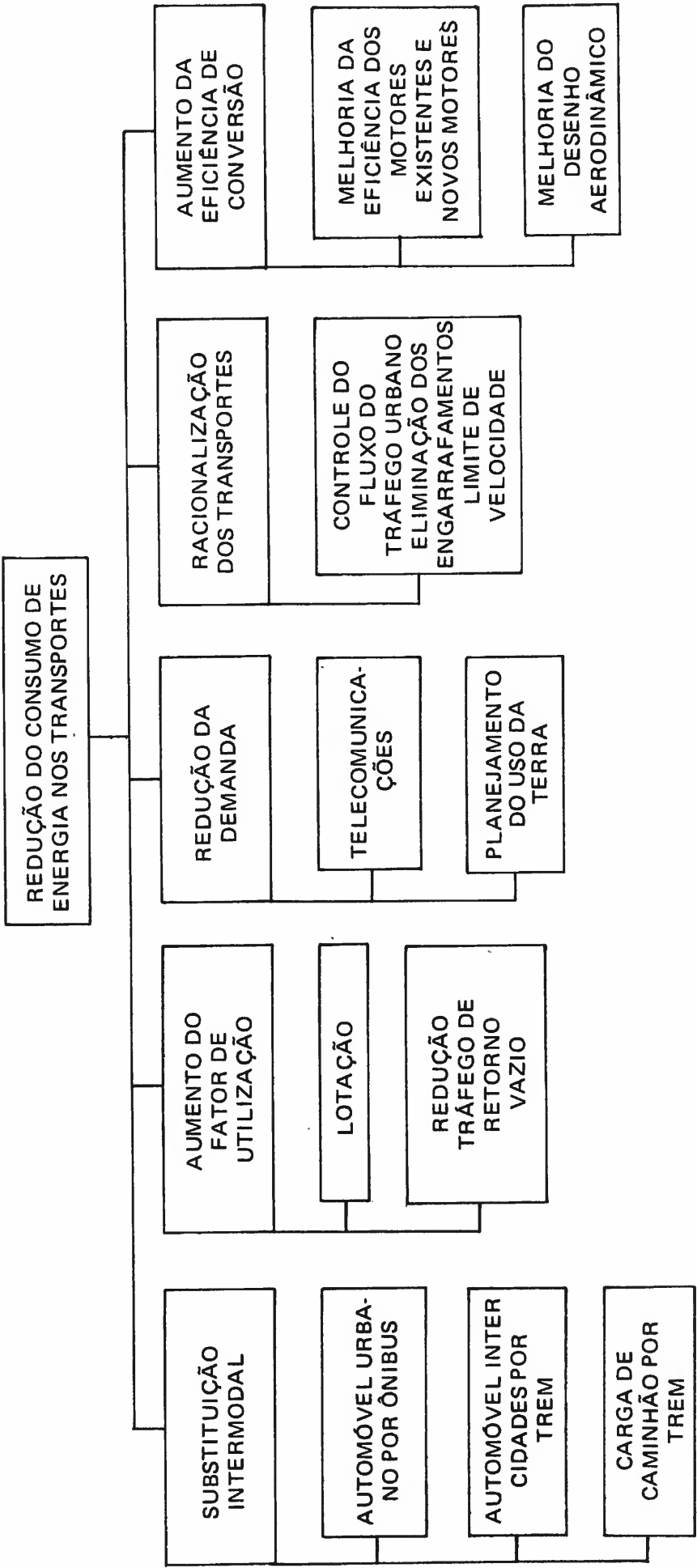
Pode-se chegar, com esta análise, a conclusões inesperadas: parece óbvio, por exemplo, que a substituição do uso do automóvel individual, como meio de transporte, pelo METRÔ é extraordinariamente econômica em termos energéticos. Quando se consideram, porém, os investimentos energéticos na construção do METRÔ e na sua operação, as conclusões parecem bem menos favoráveis.

Existe uma grande variedade de medidas para reduzir os gastos de energia com transportes. A figura 3 relaciona as mais importantes, que serão discutidas adiante: passagem para modos mais eficientes de transporte (substituição intermodal); aumento do fator de utilização; redução da demanda; racionalização dos transportes e aumento da eficiência de conversão.

FIGURA 3

ALTERNATIVAS PARA REDUZIR O CONSUMO DE ENERGIA NOS TRANSPORTES

ALTERNATIVAS PARA REDUZIR O CONSUMO DE ENERGIA NOS TRANSPORTES



3. SUBSTITUIÇÃO INTERMODAL

A característica fundamental do sistema de transporte brasileiro é a de ser o transporte de carga totalmente dominado pelo tráfego rodoviário (caminhões) e o de passageiros, por automóveis e ônibus, em detrimento do trem, como se pode ver nas tabelas 5 e 6.

TABELA 5

EVOLUÇÃO DA CARGA TRANSPORTADA
POR MODALIDADE
(Bilhões de toneladas/quilômetro)

Modo	1960	1970	1978
Rodoviário	42,0	124,5	275,7
Ferroviário	13,1	30,3	64,0
Hidroviário	14,5	21,5	39,5
Aéreo	0,1	0,2	0,8
Outros	—	2,3	11,2
Total	69,7	178,8	391,2

Fonte: GEIPOT. Anuário Estatístico, 1979.

Como se pode ver, o tráfego rodoviário, que representava 60% do total em 1960, pas-

sou a 70% em 1978, e o ferroviário, que representava 18,8% em 1960, caiu para 16,4% em 1978.

TABELA 6

TRÁFEGO INTERURBANO DE
PASSAGEIROS
(Bilhões de passageiros/quilômetro)

Modo	1960	1970	1978
Rodoviário	29,6	108,6	314,6
Ferroviário	7,5	5,4	4,2
Hidroviário	—	—	—
Aéreo	2,3	2,0	7,4
Total	39,4	116,0	326,2

Fonte: Idem tabela 5.

O tráfego de passageiros nas cidades é também predominantemente rodoviário (automóvel e ônibus), como se pode ver na tabela 7, que dá a estrutura do tráfego urbano em São Paulo em 1977

TABELA 7

TRANSPORTE DE PASSAGEIROS EM SÃO PAULO

Modo	Viagens por dia	
	número de viagens	
		%
Transporte público	10.140.000	64,2
Metrô	548.000 (3,5%)	
Trem suburbano	493.000 (3,1%)	
Táxi	557.000 (3,5%)	
Ônibus	8.542.000 (54,1%)	
Transporte particular	5.472.000 (34,7%)	34,7
Outros modos	180.000 (1,1%)	1,1
Total	15.792.000 (100,0%)	100,0

Fonte: CET, São Paulo, 1977.

Como é bem sabido, o custo energético do transporte de diferentes modalidades é muito diferente tanto quando se consideram apenas os custos diretos de energia, como os

indiretos. A tabela 8 mostra quais são estes custos para diferentes modos de transporte de passageiros.

TABELA 8

CUSTOS ENERGÉTICOS PARA TRANSPORTE DE PASSAGEIROS
(Litros de petróleo equivalentes por passageiro/quilômetro)

Modo	Energia direta	Energia indireta	Total	<u>Energia indireta</u> Energia total
Automóvel	0,135	0,041	0,176	23%
Ônibus	0,045	0,008	0,053	15%
Trem suburbano	0,045	0,041	0,086	48%
Bonde	0,065	0,023	0,088	26%
Metrô	0,061	0,052	0,112	45%

Fonte: Idem tabela 3.

A tabela 9, bastante incompleta, dá os custos energéticos do transporte de carga.

TABELA 9

CUSTOS ENERGÉTICOS PARA O TRANSPORTE DE CARGA
(Litros de petróleo equivalentes por tonelada/quilômetro)

Modo	Energia direta	Energia indireta	Total	<u>Energia indireta</u> Energia total
Trem	0,014	0,028	0,042	70%
Avião	0,93	0,45	1,38	32%
Hidrovia	0,009	—	—	
Caminhão pesado (mais de 15 toneladas)	0,041	0,017	0,058	29%
Caminhão médio (4,5 a 15 toneladas)	0,161	—	—	
Caminhão leve (menos de 4,5 toneladas)	0,121	—	—	

Fonte: Idem tabela 3.

Uma análise destas tabelas mostra que o ônibus é, claramente, o mais econômico meio de transportar passageiros (cerca de 3 vezes mais econômico que o automóvel individual) considerando a energia total gasta no transporte. Já o transporte por METRÔ, bastante atraente quando se considera apenas a energia direta (40% do custo direto do automóvel) exerce menos atração quando se computa energia total (60% do custo total do automóvel).

O mesmo ocorre para o transporte de carga. O trem parece muito superior ao caminhão pesado, uma vez que gasta apenas 30% de combustível por tonelada/quilômetro

transportada. Considerado o custo total de energia o trem consome cerca de 70% do que é consumido pelo caminhão.

É este tipo de consideração que torna decepcionantes os efeitos de substituições intermodais que à primeira vista poderiam ter sucessos espetaculares na economia de combustíveis.

A tabela 10 mostra avaliações detalhadas, feitas por diversos grupos, para um conjunto de medidas de substituição intermodal. Nenhuma delas foi feita para condições brasileiras, mas os resultados obtidos dão uma idéia do que se pode obter com diversas substituições.

TABELA 10

SUBSTITUIÇÃO INTERMODAL

Tipo de substituição	Economia de combustível (fração da energia direta gasta em transporte)	Período de tempo necessário para otimizar benefí- cios (em anos)	Observações
Automóvel urbano por ônibus ¹	8,6-11,6*		50% dos usuários
Automóvel intercidades por trem ²	1,5	15	50% dos usuários
Carga de caminhão por trem ²	3,4	15	50% do transporte

*Percentagem da energia total usada na Inglaterra no transporte de passageiros.

Fontes: 1 — MALTBY, D. *et al.* The UK surface passenger transport sector. *Energy Policy*, December, 1978.

2 — *Energy and Transportation* — SAE-SP-406, Feb. 1976.

A substituição de 50% do tráfego de automóvel por ônibus teria um impacto importante: uma economia de 8,6 a 11,6% do combustível gasto em transporte de passageiros.

4. AUMENTO DO FATOR DE UTILIZAÇÃO

O uso coletivo de automóveis parece ser o método mais promissor de economizar combustível, como se pode ver na tabela 11.

TABELA 11

AUMENTO DO FATOR DE UTILIZAÇÃO

Tipo de ação	Economia de combustível (fração da energia direta gasta em transporte)
Uso coletivo de automóveis no nível de 70% de participação (lotação)	3,8 - 4,9
Redução do tráfego de retorno vazio (caminhão)	1,8 - 2,1

Fonte: National Cooperative Highway Research Program, National Research Council, Washington, D.C. 1977.

5. REDUÇÃO DA DEMANDA

Poderia ter impacto significante, mas ne-

cessitaria uma mudança importante da psicologia dos usuários.

TABELA 12

REDUÇÃO DA DEMANDA

Tipo de ação	Percentagem de energia total usada na Inglaterra em transporte de passageiros
Substituição por telecomunicações de 50% dos assuntos tratados através do uso do automóvel.	6,2 - 9,9
Redução de 50% de outros usos pessoais e sociais por automóvel particular.	16,6 - 18,7

Fonte: MALTBY, D. *et al.* The UK surface passenger transport sector. *Energy Policy*, December 1978.

6. RACIONALIZAÇÃO DOS TRANSPORTES

Este conjunto de medidas envolve o uso

de faixas exclusivas, controle de velocidade e controle eletrônico de tráfego, mas as economias possíveis são pequenas, apesar de poderem ser implantadas rapidamente.

TABELA 13
RACIONALIZAÇÃO DOS TRANSPORTES

	Economia de combustível (fração da energia direta gasta em transporte)
Controle do fluxo do tráfego urbano ¹	0,4 – 0,7
Eliminação de 50% dos "engarrafamentos" ²	1,6
Limite de velocidade ² 80 km/hora	2,9

Fonte: 1 – Idem tabela 11.
2 – CARRIER, R.E. Energy Conservation Through Urban Transportation Planning. *Transportation Review*, 1974.

7. AUMENTO DA EFICIÊNCIA DE CONVERSÃO

É o método mais promissor de economizar combustível a curto e médio prazo.

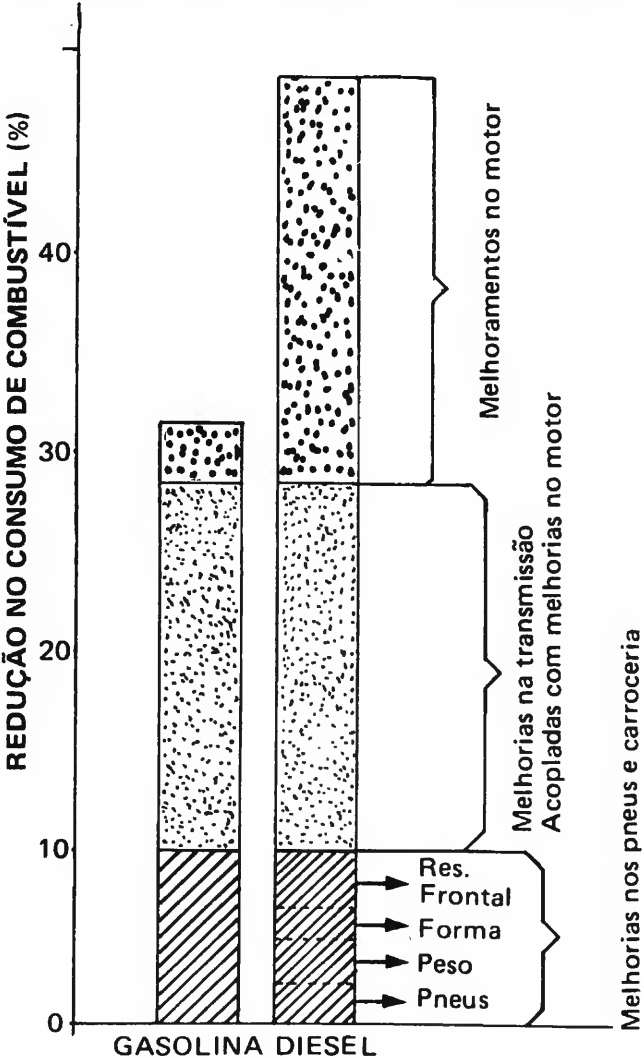
O que a experiência internacional tem mostrado é o seguinte⁽¹⁾:

- a. melhorias no desenho aerodinâmico – podem reduzir o consumo de combustível em 5% (6% no caso de carga).
- b. melhorias no motor e no uso de combustível por meio de controle eletrônico – redução de 20-30%.
- c. transmissão contínua acoplada com controle do motor – 25% de economia.
- d. motor estratificado – 13-16%.

Naturalmente, todas estas economias não são aditivas.

FIGURA 4

AUMENTO DA EFICIÊNCIA DE CONVERSÃO



(1) BUSINARO, U.L. & FREDEGHINI, A. *Prospects of Energy Conservation in Transportation*. International School of Energetics, Erice, Sicily, July 1980.

8. CONCLUSÕES

Apesar de existirem diversas alternativas de redução do consumo de energia no setor de transportes, estas mostram-se mais complexas do que aparentam, quando se consideram não apenas os gastos *diretos* de energia (combustíveis), mas também os gastos *indiretos*.

Uma análise de algumas destas medidas: Substituição Intermodal (tabela 10), Aumento do Fator de Utilização (tabela 11), Redução da Demanda (tabela 12), Racionalização dos Transportes (tabela 13), e Aumento da Eficiência de Conversão (figura 4), mostra que entre todas, isoladamente, teria efeito mais dramático na redução do consumo de combustíveis no setor de transporte a de aumentar a eficiência de conversão, onde economias de cerca de 40% são possíveis. Elas implicam contudo em desenvolvimentos técnicos de alto custo e demandarão provavelmente vários anos de pesquisas e desenvolvimentos atualmente em andamento em muitas das grandes empresas produtoras de veículos (Fiat, Volkswagen, General Motors etc.).

Além desta medida de caráter técnico, a substituição do automóvel urbano por ônibus tem grandes potencialidades, bem como o uso de lotações. As telecomunicações

em lugar do automóvel individual, ou a mudança de outros hábitos que envolvem o uso desnecessário do automóvel poderiam ter também impacto apreciável.

Outras medidas, como controle de tráfego urbano ou redução do tráfego de retorno vazio de caminhões, ou a introdução de limites de velocidade têm impactos menores do que poderia parecer. Em cada caso uma análise detalhada do problema a resolver tem de ser feita, bem como uma comparação das alternativas existentes, considerados todos os efeitos diretos ou indiretos envolvidos.

É preciso, contudo, levar em conta que os efeitos destas medidas encontrados nas tabelas 10, 11, 12 e 13 foram calculados para situações diferentes das nossas. Estas referem-se a cidades americanas e inglesas e são provavelmente características de situações locais, não transferíveis à nossa realidade. Existe mesmo a possibilidade de que certas medidas de racionalização do tráfego urbano no Brasil tenham um efeito mais dramático que o indicado nas tabelas. A experiência de Curitiba é animadora neste sentido.

Finalmente, deve-se mencionar que as hipóteses e metodologia utilizadas nos estudos americanos e ingleses são, em geral, baseadas em "modelos" do sistema de tráfego urbano, o que simplifica sobremaneira certas situações.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BUSINARO, U.L. & FREDEGHINI, A. *Prospects of Energy Conservation in Transportation*. International School of Energetic, Erice, Sicily, July 1980.
- CARRIER, R.E. *Energy Conservation Through Urban Transportation Planning*. *Transportation Review*, 1974.
- SÃO PAULO. CET, 1977.
- Energy and Transportation*. SAE — SP - 406, Feb. 1976.
- FDTE. *Consumo Energético no Brasil: perspectivas para 1990*, 1978.
- GEIPOT. *Anuário Estatístico*, 1979.
- GRAÇA, G.M.G., VANIN, V.R., MOREIRA, J.R. & GOLDEMBERG, J. Coeficientes de Energia para a Economia. Preprint do Instituto de Física da USP (em publicação).
- MALTBY, D. *et al.* The UK surface passenger transport sector. *Energy Policy*, December 1978.
- POLLARD, J., HIATT D. & RUBIN, D. A Summary of opportunities to conserve transportation energy. Report nº DOT-TSC-OST-75-22, U.S. Department of Transportation, August 1975.
- WASHINGTON, D.C. National Research Council. National Cooperative Research Program, 1977.
- WILBERG, J.A. Consumo Brasileiro de Energia. *Energia Elétrica*, 27, 1974.