

**INSTITUTO
DE FÍSICA**

preprint

IFUSP/P-255

A QUESTÃO ENERGÉTICA E OS TRANSPORTES

J. Goldemberg

Instituto de Física - Universidade de São Paulo

INSTITUTO DE FÍSICA - USP
BIBLIOTECA CENTRAL
CAIXA POSTAL, 20516
01000 - SÃO PAULO - SP

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE FÍSICA
Caixa Postal - 20.516
Cidade Universitária
São Paulo - BRASIL

IFUSP/P 255
B.I.F. - USP

A Questão Energética e os Transportes

JOSÉ GOLDEMBERG*

RESUMO

Uma análise é feita da importância do setor de transportes no consumo total de energia no Brasil e das possibilidades de que medidas de racionalização, redução de demanda, aumento do fator de utilização, substituição intermodal e aumento de eficiência redundem em economias reais de energia. Para esse fim são considerados não apenas os gastos diretos de energia na operação dos veículos transportadores mas os gastos indiretos de energia necessários para a sua construção bem como nas facilidades necessárias para sua operação (estradas, estações, aeroportos, etc.).

* Instituto de Física, Universidade de São Paulo

The Energy Problem and Transportation

JOSÉ GOLDEMBERG*

ABSTRACT

An analysis is made of the importance of the transportation sector in the total energy consumption in Brazil and the possibilities of rationalization, demand reduction, increase in load factors, intermodal substitution and improved efficiency in reducing energy use. In the analysis direct energy consumption in the operation of the vehicles was considered in addition to indirect energy costs in the construction of the vehicles as well as in the facilities needed in their operation (highways, terminals, airports, etc.).

*Institute of Physics, University of São Paulo

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 nenhuma atenção especial por ser abundante e barata mas o seu nível de consumo tem subido tanto que colocou em perigo de exaustão a fonte mais conveniente de energia que é o petróleo; além disso, a queima indiscriminada de petróleo, carvão mineral e gás natural acabaram por se constituir numa fonte importante de poluição ambiental, degradando a qualidade da atmosfera.

Não sendo itens que pesassem muito no custo da produção industrial e do transporte, as fontes de energia foram tratadas como outras matérias primas quaisquer e se acreditava que a exaustão de uma das fontes de energia, o petróleo por exemplo, levasse sem maiores dificuldades à sua substituição por outra equivalente. Há contudo certas peculiaridades neste insumo que se chama ENERGIA e 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 auto-

* Instituto de Física, Universidade de São Paulo

motores devido ao fato da tecnologia necessária - no caso, baterias elétricas eficientes - ainda não existir.

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

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 convicção de que a produção de petróleo começará a declinar a partir de 1985 agravando muito a competição pelo seu acesso a preços aceitáveis.

Finalmente, as reservas de combustíveis fósseis estão distribuídas de forma muito desigual sobre a face do planeta, e o Brasil, em particular, parece ter sido pouco brindado pela natureza de reservas significantes de qualquer um deles. Por conseguinte o país tem importado quantidades significantes destes combustíveis fósseis onerando de forma significativa 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.

I - 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 a maior parte das necessidades do país, excluídas as grandes cidades; estas eram supridas com fontes de energia comerciais (hidroeletricidade, carvão e petróleo), que constituíam os outros 20% do consumo. (Tabela 1 e Figura 1)

TABELA I

FONTES DE ENERGIA

(em toneladas equivalentes de petróleo X 1000)

ANO	CARVÃO	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	9654	13047	3075	27466
1956	1486	10703	13382	3685	29256
1957	1491	10139	13218	4314	29160
1958	1436	11784	15696	5070	33976
1959	1248	12823	15830	5182	34583
1960	1355	14260	16883	5331	37829
1961	1376	14850	17503	5494	39203
1962	1706	16487	18377	5992	42562
1963	1559	17192	20114	6011	44876
1964	1643	19313	20961	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: J.A.Wilberg - Consumo Brasileiro de Energia - Energia Elétrica - vol. 27 (1974)

PERFIL DO CONSUMO DE ENERGIA
(EVOLUÇÃO HISTÓRICA)

4.

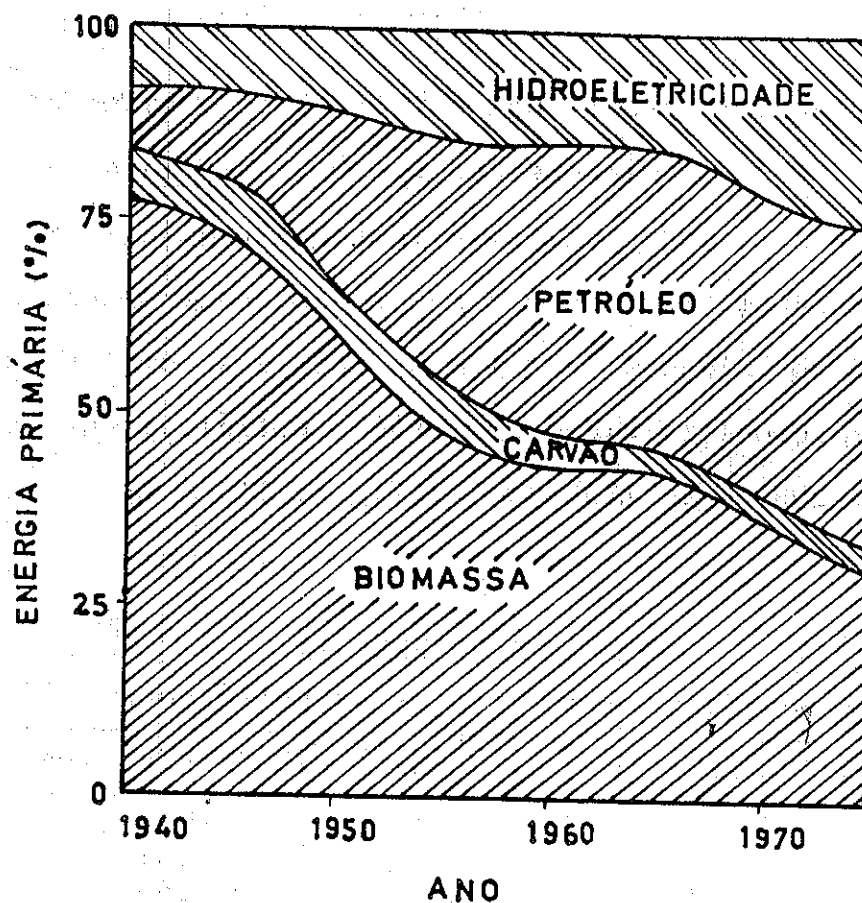


FIGURA 1

A partir de 1940 porém o país ingressou numa rápida fase de "modernização", acompanhada de forte movimento migratório da zona rural para as cidades, tendo atingido, na última década, um elevado índice de urbanização.

O que isto significa em termos de energia é o seguinte: os habitantes que se mudam para a cidade passam a consumir energia comercial provocando um crescimento na demanda que é 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 cres-

cimento vertical da demanda.

Como resultado, o consumo de fontes não-comerciais permaneceu praticamente constante de 1940 até o presente (no que aliás, acompanhou a evolução da população rural que não se alterou muito desde 1940). O consumo de fontes comerciais contudo cresceu explosivamente nas cidades, não só por causa do seu crescimento acelerado (cerca de 6% ao ano, isto é, uma população urbana que duplica a cada 11 anos) mas porque a vida nas cidades exige um elevado índice de consumo.

O crescimento das fontes comerciais de energia tem sido muito elevado, superior a 8% ao ano. Parte desta demanda foi atendida pela produção de energia elétrica de origem hídrica, muito abundante no país.

Esta é uma fonte renovável de energia, de custo baixo e de impacto sobre o meio ambiente relativamente pequeno. Sucede porém que as sociedades modernas não usam mais do que 30% de eletricidade. O restante tem que ser atendido por outros tipos de energia, principalmente os combustíveis líquidos, devido à importância do setor de transporte na sociedade moderna.

II - O PAPEL DOS TRANSPORTES NO QUADRO ENERGÉTICO

Qual a fração da energia usada em transportes no Brasil?

Para o ano de 1975 números são dados na Tabela 2 que inclui para comparação a mesma fração para os Estados Unidos.

TABELA 2 - USOS DA ENERGIA (1975)

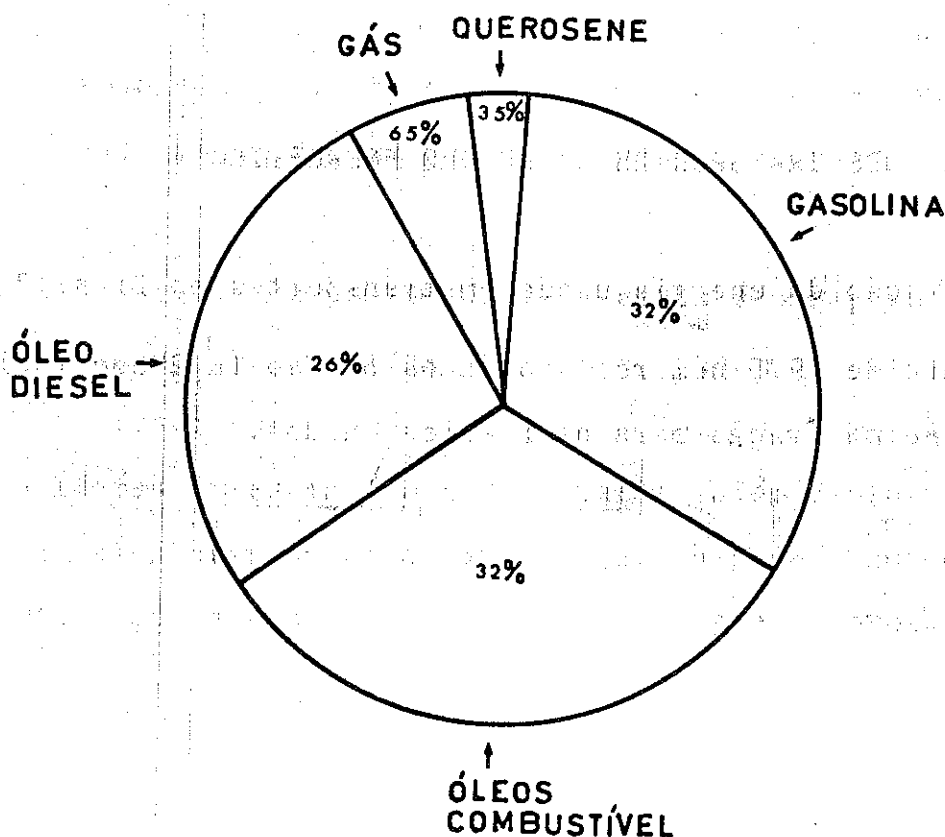
	INDÚSTRIA	TRANSPORTE	COMERCIAL E RESIDENCIAL
Brasil	39%	25%	36%
São Paulo	49%	30%	21%
Estados Unidos	37%	26%	37%

Fonte: Consumo Energético no Brasil: Perspectivas para 1990 - Fundação para o Desenvolvimento Tecnológico de Engenharia (FDTE 1978).

Transportes representavam em 1975 cerca de 25% do consumo total de energia no país. Para obter esta energia sob a forma adequada (gasolina e óleo diesel) era preciso refinar cerca de 800.000 barrís de petróleo por dia, obtendo-se ainda óleo combustível (na proporção de 1/3 para cada um deles) como se vê na Figura 2:

Figura 2

PERFIL DE REFINO DO PETROLEO NO BRASIL



Em 1980 o consumo de petróleo atingiu a marca do milhão de barrís por dia, dos quais apenas 20% produzidos no Brasil. A importação dos 80% restantes representa mais de 10 bilhões de dólares por ano, o que coloca uma 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 razão seguinte: além dos custos energéticos diretos que ocorrem através do uso de derivados de petróleo, existe uma fração apreciável de energia (computada no setor industrial) e que é consumida na manufatura e reparo de veículos, construção e manutenção de estradas, perdas no refino do petróleo e nos equipamentos de suporte aos diversos tipos de transporte 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	<u>5,3</u>
Subtotal	<u>25,3</u>
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	<u>4,3</u>
Subtotal	<u>17,4</u>
=====	
TOTAL	42,7

Fonte: A summary of opportunities to conserve
transportation energy - J.Pollard, D.Hiatt
and D.Rubin. 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	<u>0,3</u>	<u>20,0</u>
Subtotal		
CUSTOS INDIRETOS		
Manufatura e reparação de veículos	3,3	
Construção e manutenção de estradas	2,2	
Equipamentos auxiliares	4,6	
Perdas de refino	<u>2,0</u>	<u>12,1</u>
Subtotal		
TOTAL		<u>32,1</u>

Fonte: Coeficientes de Energia para a Economia Brasileira - G.M.G. Graça, V.R. Vanin, J.R. Moreira e J. Goldemberg, 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% em custos diretos (combustíveis) e 17,4% em custos indiretos.

No Brasil este setor representava em 1970, 32,1% do consumo total dos quais 20,0% diretos e 12,1% 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, os custos indiretos de energia são consideráveis (cerca de 50% dos custos diretos) nos dois países.

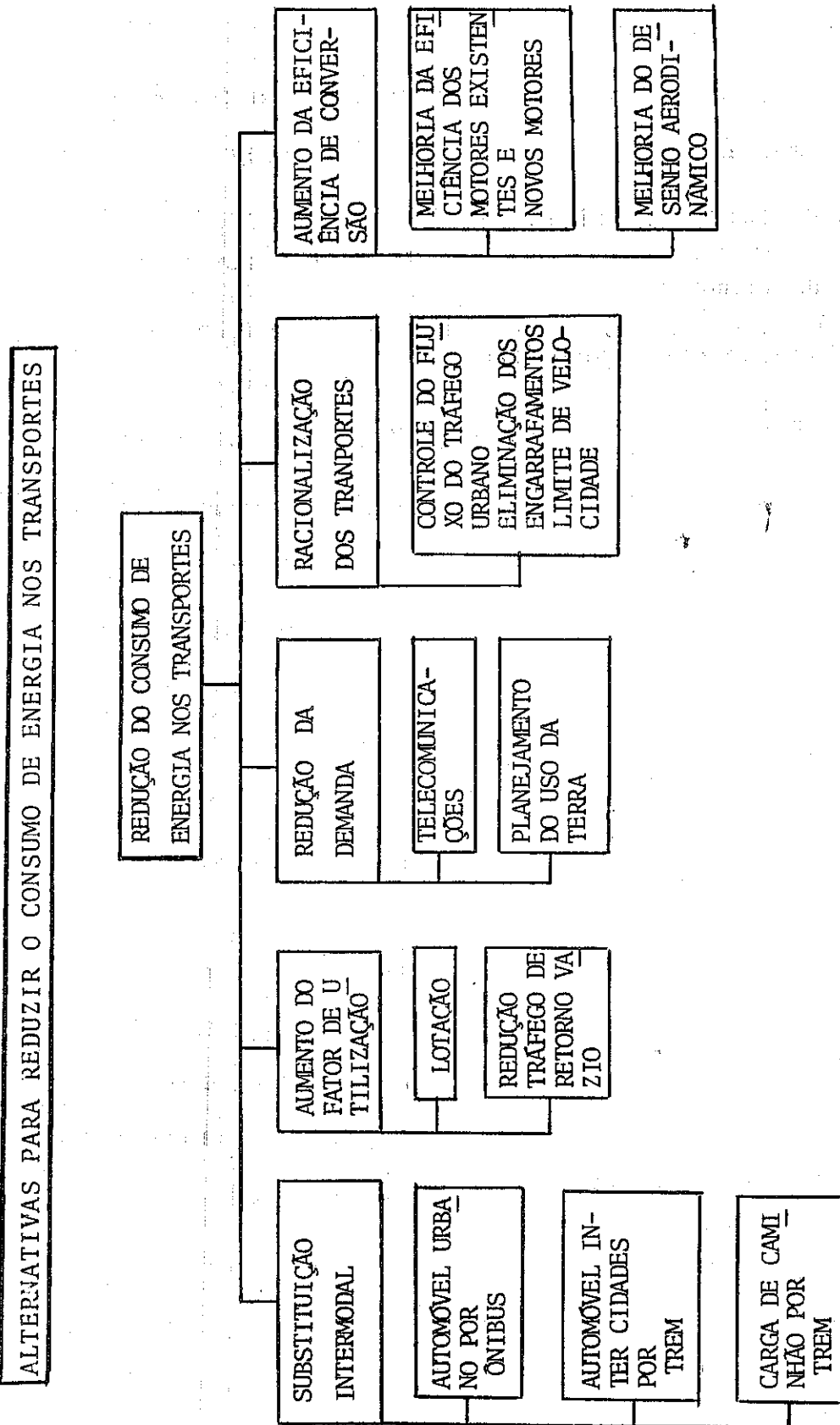
Por conseguinte medidas de conservação de energia não podem ser consideradas de maneira simplista como resultantes da economia na operação do próprio veículo, mas em toda a cadeia de operações que envolve a construção, uso e operação do veículo.

Ao fazer esta análise pode-se chegar a conclusões inesperadas; pode parecer obvio, por exemplo, que a substituição do uso do automóvel individual como meio de transporte pelo METRO seja extraordinariamente econômica em termos energéticos. Quando se considera porém os investimentos energéticos na construção do METRO e na sua operação, as conclusões podem parecer bem menos favoráveis.

Existe uma grande variedade de medidas para reduzir os gastos de energia com transportes. A Figura 3 relaciona as mais importantes e que discutiremos mais adiante:

- a) Passagem para modos mais eficientes de transporte (substituição intermodal)
- b) Aumento do fator de utilização
- c) Redução da demanda
- d) Racionalização dos transportes
- e) Aumento da eficiência de conversão

FIGURA 3



III - SUBSTITUIÇÃO INTERMODAL

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

TABELA 5 - EVOLUÇÃO DA CARGA TRANSPORTADA POR MODALIDADE
(Bilhões de toneladas-quilometro)

Modo	1960	1970	1978
Rodoviário	42,0	124,5	275,7
Ferroviano	13,1	30,3	64,0
Hidroviário	14,5	21,5	39,5
Aereo	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 passou 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-quilometro)

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

Fonte: GEIPOT - Anuário Estatístico (1979).

O tráfego de passageiros nas cidades é também predominantemente rodoviário (automovel e onibus) 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
Metro	548.000 (3,5%)	
Trem suburbano	493.000 (3,1%)	
Taxi	557.000 (3,5%)	
ONIBUS	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: Companhia de Engenharia de Tráfego (São Paulo, 1977).

Como é bem sabido, o custo energético do transporte pelos diferentes modos é muito diferente tanto quando se considera 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-quilometro)

Modo	Energia direta	Energia indireta	Total	$\frac{\text{Energia indireta}}{\text{Energia total}}$
Automovel	0,135	0,041	0,176	23%
Onibus	0,045	0,008	0,053	15%
Trem suburbano	0,045	0,041	0,086	48%
Bonde	0,065	0,023	0,088	26%
Metro	0,061	0,052	0,112	45%

Fonte: A summary of opportunities to conserve transportation energy - J.Pollard, D.Hiatt, D.Rubin, Report n° ... DOT-TSC-OST-75-22 - US Department of Transportation, August 1975.

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-quilometro)

Modo	Energia direta	Energia indireta	Total	$\frac{\text{Energia indireta}}{\text{Energia total}}$
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: A summary of opportunities to conserve transportation energy - J.Pollard, D.Hiatt, D.Rubin, Report n° DOT-TSC-OST-75-22 US Department of Transportation - August 1975.

Uma análise destas tabelas mostra que o onibus é claramente o mais econômico meio para o transporte de passageiros (cerca de 3 vezes mais econômico que o automovel individual) considerando a energia total gasta no transporte. Já o transporte por Metro que é bastante atraente quando se considera apenas a energia direta (40% do custo direto ao automovel) fica menos atraente quando se considera a energia total (60% do custo total do automovel).

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-quilometro 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 ideia 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 benefícios)	Observações
Automovel urbano por onibus ¹	8,6-11,6*		50% dos usuários
Automovel 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 - D.Maltby 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 automovel por onibus teria um impacto importante como se vê: uma economia de 8,6 a 11,6% do combustível gasto em transporte de passageiros.

IV - AUMENTO DO FATOR DE UTILIZAÇÃO (TABELA 11)

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.

V - REDUÇÃO DA DEMANDA (TABELA 12)

Poderia ter impacto significativo mas necessitaria 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 automovel.	6,2 - 9,9
Redução de 50% de outros usos pessoais e sociais por automovel particular.	16,6 - 18,7

Fonte: D.Maltby et al: "The UK surface passenger transport sector" - Energy Policy, December 1978.

VI - RACIONALIZAÇÃO DOS TRANSPORTES (TABELA 13)

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

Fontes: 1 - National Cooperative Highway Research Program - National Research Council, Washington D.C. 1977.

2 - R.E. Carrier - "Energy Conservation Through Urban Transportation Planning" - Transportation Review, 1974.

VII - AUMENTO DA EFICIÊNCIA DE CONVERSÃO (Figura 4)

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

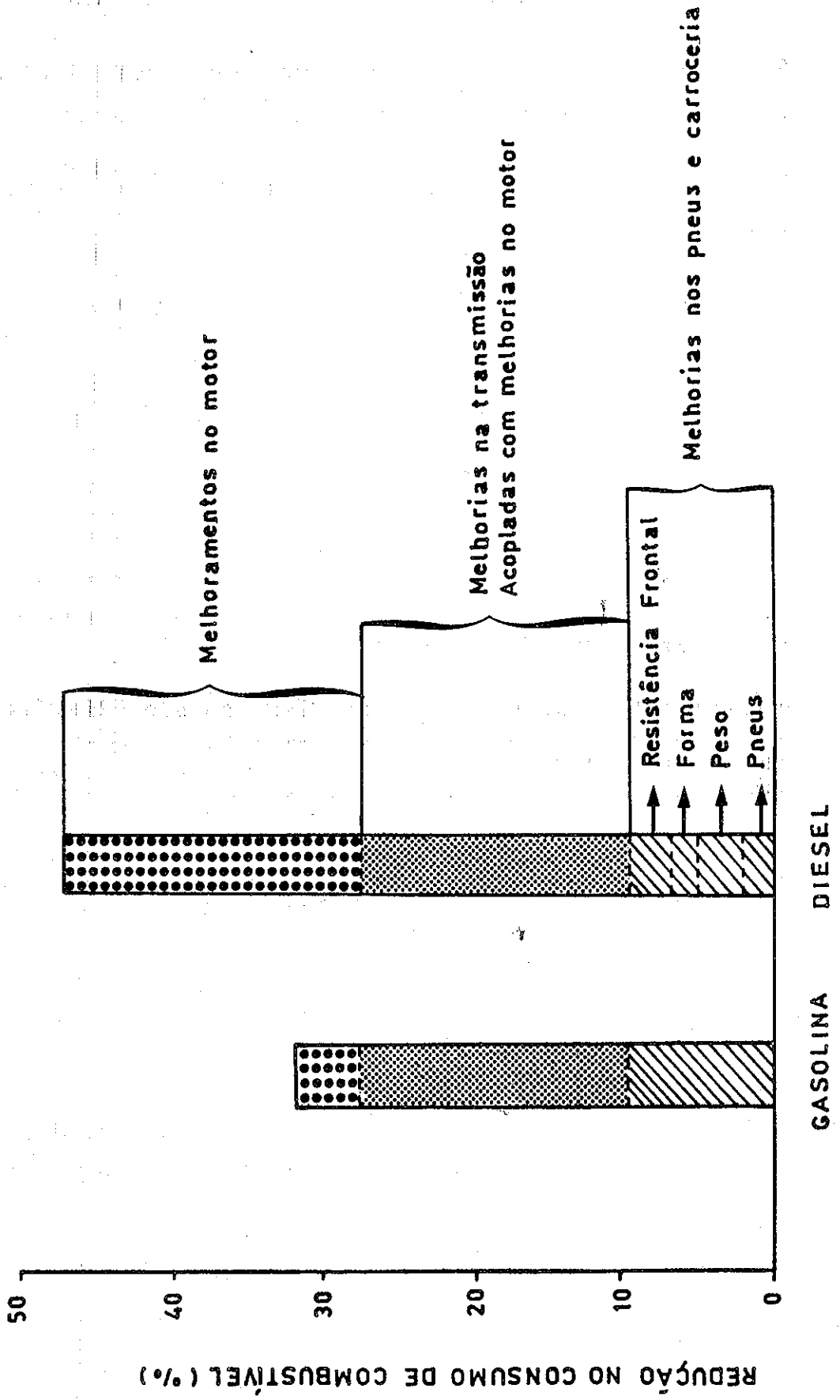
O que a experiência internacional (Businaro e Fredeghini 1980)* tem mostrado é o seguinte:

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

Naturalmente, todas estas economias não são aditivas.

* Prospects of Energy Conservation in Transportation, U.L. Businaro e A. Fredeghini - International School of Energetics (Erice, Sicily July 1980)

Figura 3 - AUMENTO DA EFICIÊNCIA DE CONVERSÃO



VIII - CONCLUSÕES

Apesar de existirem diversas possibilidades de reduzir o consumo de energia no setor de transportes elas são mais complexas do que parece à primeira vista 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 a medida mais eficiente para a redução do consumo de combustíveis no setor de transporte é o aumento da eficiência de conversão onde economias de cerca de 40% são possíveis. Elas implicam contudo em desenvolvimentos técnicos de alto custo e deverão levar varios anos de pesquisas e desenvolvimento que estão em andamento em muitas das grandes empresas produtoras de veículos (Fiat, Volkswagen, General Motors, etc.).

Além desta medida de carater técnico a substituição do automovel urbano por onibus tem grandes potencialidades, bem como o uso de lotações. O uso de telecomunicações em lugar do automovel individual, ou a mudança de outros hábitos que envolvem o uso desnecessário do automovel poderiam ter também impacto apreciável.

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