SUBSTITUIÇÃO ENTRE OS INSUMOS ENERGÉTICOS NA ECONOMIA BRASILEIRA: UMA ILUSTRAÇÃO DO USO DO MODELO TRANSLOG

José Welisson Rossi*

RESUMO

Neste estudo ilustramos o uso do modelo Translog estimando as possibilidades de substituição entre os insumos energéticos primários na economia brasileira entre 1973 e 1981. Como resultados principais temos que: i) a baixa elasticidade-preço (-0,14) para a demanda do Petróleo indica que aumentos nos preços internacionais deste insumo resultariam em pouca redução no seu consumo interno, com reflexos sérios, pois, no balanço de pagamentos e/ou recessão econômica e inflação internas; e ii) como Petróleo e Energia Elétrica são substitutos (i.e., apresentam elasticidade de substituição positiva) então aumentos nos preços do primeiro permitiriam ao segundo desempenhar papel cada vez mais importante nas atividades produtivas do país.

ABSTRACT

In this study we illustrate the use of the translog model by estimating the possibilities of substitution among the energy inputs in the Brazilian economy during the period 1973-1981. The main results include: i) the low price elasticity (-0.14) for the demand of oil indicates that increases on the international prices of such

* O autor é professor da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) e Diretor de Economia da Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

Agradecemos a um parecerista desta Revista pelos comentários e sugestões apresentados a uma versão preliminar deste artigo.

an input would result in little reduction of its domestic consumption, resulting in serious consequences to the balance of payment and/or economic recession and domestic inflation; and ii) as oil and eletricity are substitutes (i.e., having positive elasticity of substitution) then increases on the prices of the former would enable the latter to play an increasingly important role in the economic activities of the country.

1. INTRODUÇÃO

Uma investigação sobre as possibilidades de substituição entre os insumos energéticos na economia brasileira parece ser de muito interesse atual em face das dificuldades do País com as suas contas externas, onde a importação do petróleo tem papel de relevo. Naturalmente, se as possibilidades de substituição entre o petróleo e os outros insumos energéticos e/ou os fatores de produção (i.e., Capital e Trabalho) forem diminutas, então aumentos nos preços internacionais desse combustível teriam reflexos graves em termos tanto do balanço de pagamentos como da recessão econômica e inflação internas; e também uma política interna de aumento de preço desse combustível seria pouco eficiente para reduzir a sua demanda.

Este artigo tem objetivos sobretudo ilustrativos e preocupa-se apenas com as possibilidades de substituição entre os insumos energéticos primários na economia brasileira^{1/}. O estudo está assim organizado: na próxima seção discutimos a especificação Translog em detalhes; a Seção 3 descreve os dados utilizados, bem como

¹ Alguns estudos utilizando a função de produção (ou custo) translog para estimar as possibilidades de substituição entre os vários insumos já começam a surgir no Brasil, mas quase todos aplicados a setores específicos de transporte; ver, por exemplo, Firmino (1982) para uma aplicação ao transporte de cabotagem; Rezende (1983) e Garrone (1983) para aplicações ao setor de transporte rodoviário de carga, e Souza (1983) para uma aplicação ao transporte de cabotagem de derivados de petróleo. Para trabalhos de cunho mais teórico, mas ainda voltados para problemas de transporte rodoviário, ver Bispo dos Reis (1983) e Laurencel (1983). Finalmente, para uma aplicação à agricultura, com dados agregados a nível de estados da federação, ver Dias et alii (1982).

os aspectos relativos ao método de estimação adotado; na Seção 4 analisamos os resultados obtidos para, finalmente, na Seção 5 apresentarmos alguns comentários de ordem geral.

2. O MODELO TRANSLOG DE CUSTO

A função de custo (ou produção) translog proposta por Christensen, Jorgenson e Lau (1971) pertence à classe das chamadas formas flexíveis, da qual também faz parte, por exemplo, a função Leontief generalizada proposta por Diewert (1971). A vantagem básica da especificação translog sobre as formas tradicionais do tipo Cobb-Douglas e CES (Elasticidade Constante de Substituição) é o fato de não impor qualquer restrição a priori aos valores das elasticidades parciais de substituição de Allen. Isto representa uma útil generalização em relação às funções Cobb-Douglas e CES, que restringem essas elasticidades a serem respectivamente constantes iguais a um para todos os pares de insumos, ou simplesmente constantes mas com as várias elasticidades guardando proporções fixas entre si (cf. Humphrey e Moroney (1975)). Além disso, a função translog, diferentemente da Cobb-Douglas e CES, não impõe que os insumos sejam fracamente separáveis entre si^{2/}.

Conforme demonstrado por Shephard (1953) é possível investigar-se as tecnologias da produção (e.g., elasticidades de substituição e retorno de escala) a partir da função de custo. O alcance dessa proposição é importante do ponto de vista da estimação econômica. Como a função da produção tem para regressores as quantidades dos insumos que, por serem em geral variáveis endógenas na

2

A separabilidade fraca entre um fator N e dois outros representados por K e L significa que a elasticidade de substituição entre K e L independe dos níveis de N, ou seja a taxa marginal de substituição entre estes dois insumos não seria afetada pelas quantidades utilizadas de N (cf. Berndt e Christensen (1973)).

equação, são contemporaneamente correlacionadas com o erro estocástico da regressão, então o uso de Mínimos Quadrados Ordinários (MQO) produz estimadores que, além de tendenciosos são inconsistentes; naturalmente o uso de Variáveis Instrumentais produziria estimadores consistentes, entretanto encontrar tais variáveis poderá constituir-se num problema. Já na função de custo os regressores são os preços dos insumos e a quantidade do produto, que podem ser, particularmente os primeiros, mais facilmente tomados como variáveis exógenas na regressão, fazendo com que a aplicação de MQO seja a técnica de estimação apropriada. Por essa razão, aliás, a estimação das elasticidades de substituição a partir da função de custos tem sido o procedimento preferido nas aplicações, e será também o adotado neste estudo.

Com efeito, considere-se que na economia como um todo os agregados Capital (K), Trabalho (L) e Energia (E) sejam fracamente separáveis do insumo denominado Materiais (M), o qual incluiria insumos intermediários e matérias primas não-energéticas; este pressuposto é quase sempre adotado nas aplicações setoriais (e.g., Griffin e Gregory (1976), e Pindyck (1979)) por não dispor-se em geral de informações adequadas sobre o insumo Materiais. Se tal premissa for válida então as elasticidades de substituição entre os pares dos demais insumos em nada seriam afetadas pela ausência desse insumo^{3/}. Dentro dessa mesma linha de raciocínio, é às vezes também tomado por premissa que a função de produção seja separável nos agregados Capital, Trabalho e Energia, de tal modo que as elasticidades de substituição entre os insumos energéticos que compõem o agregado Energia possam ser estimadas independentemente dos níveis dos outros dois agregados. Pelo lema da dualidade de Shephard essas propriedades da separabilidade na função de produção seriam extensivas à função de custo^{4/}. Assim, seja a função de custo representada de forma genérica como:

³ A evidência empírica não parece muito clara a este respeito pois enquanto numa aplicação à indústria de transformação americana Berndt e Wood (1975) rejeitam a fraca separabilidade, Humphrey e Moroney (1975) aceitam-na em cinco dos sete setores dessa mesma indústria por eles analisada.

⁴ Sobre esta questão ver, por exemplo, Halvorsen (1977), e Pindyck (1979).

$$C = F(P_K, P_L, P_E(P_{E_1}, P_{E_2}, \dots, P_{E_n})) \quad (1)$$

onde P_i representa o preço do agregado i , e P_{E_j} é o preço do insumo energético j pertencente ao agregado Energia. Note-se que P_E é aqui função apenas dos preços dos seus componentes e não da quantidade total de energia utilizada (i.e., a função é homotética) o que de acordo com Denny e Fuss (1977) fornece a condição necessária e suficiente para a estimação desta função de custo em duas etapas - isto é primeiramente estima-se a função P_E e então estima-se C como função dos preços dos agregados, o que claramente permite economizar graus de liberdade na estimação. Tais premissas são também adotadas aqui.

Com essas considerações, seja a função homotética para P_E do tipo translog⁵:

$$\text{Log } P_E = \alpha_0 + \sum_i \alpha_i \text{Log } P_i + \frac{1}{2} \sum_i \sum_j \gamma_{ij} \text{Log } P_i \text{Log } P_j \quad (2)$$

Supondo-se que esta função seja homogênea de grau um nos preços dos insumos (i.e., se os preços dos insumos aumentarem numa dada proporção então o preço do agregado energia crescerá nessa mesma proporção, para um dado nível de produção), tem-se as seguintes restrições para os parâmetros:

$$\sum \alpha_i = 1$$

$$\sum_i \gamma_{ij} = \sum_j \gamma_{ij} = \sum_i \sum_j \gamma_{ij} = 0 \quad (3)$$

Recorrendo-se agora à dualidade de Shephard, a função de demanda do combustível energético X_i seria dada por (cf. Halvorsen - (1977):

⁵ É interessante observar aqui que os P_E gerados por essa especificação translog são equivalentes aos preços obtidos para P_E através da agregação, pelo índice Divisia, dos preços dos insumos energéticos que compõem o agregado Energia; isto é, o índice Divisia é um índice exato para a forma funcional translog. Sobre estes pontos ver Diewert (1976), e Fuss (1977), onde são também discutidas as virtudes do índice Divisia como agregador de preços ou quantidades.

$$\frac{\delta P_E}{\delta P_i} = X_i \quad (4)$$

Desta forma, segue-se que:

$$\frac{\delta \log P_E}{\delta \log P_i} = \frac{\delta P_E}{\delta P_i} \frac{P_i}{P_E} = \frac{P_i X_i}{\sum_i P_i X_i} = S_i \quad (5)$$

onde S_i representa a parcela do custo do insumo X_i no custo unitário do agregado Energia. A aplicação deste resultado na função translog dada em (2) permite obter a seguinte função de parcela de custo na sua versão estocástica:

$$S_i = \alpha_i + \sum_j \gamma_{ij} \log P_j + u_i ; \quad (6)$$

note-se que as restrições em (3) seguiriam ainda do fato que a soma dos S_i é igual a um.

A fórmula da elasticidade parcial de substituição de Allen, como desenvolvida por Uzawa (1962), quando aplicada à função de custo translog produz^{6/}:

$$\sigma_{ii} = (\gamma_{ii} + S_i^2 - S_i) / S_i^2$$

e

$$\sigma_{ij} = (\gamma_{ij} + S_i S_j) / (S_i S_j), \text{ para } i \neq j \quad (7)$$

Finalmente, da relação estabelecida por Allen (1938), entre essas elasticidades e as elasticidades-preço da demanda, segue-se que estas últimas são dadas por:

$$\epsilon_{ij} = S_j \sigma_{ij} , \quad (8)$$

indicando que apesar de $\sigma_{ij} = \sigma_{ji}$ temos que, em geral, $\epsilon_{ij} \neq \epsilon_{ji}$.

⁶ O fato dessas elasticidades possuírem forma bem mais simples quando são estimadas da função de custo, em vez da função de produção (sobre esta última ver Humphrey e Moroney (1975)), parece ser uma razão a mais para a preferência de tal abordagem nas aplicações empíricas.

3. NATUREZA DOS DADOS E MÉTODO DE ESTIMAÇÃO

3.1. Dados^{7/}

Dos insumos energéticos listados pelo Balanço Energético Nacional (BEN) do Ministério das Minas e Energia utilizamos neste estudo: Petróleo (P), Gás Natural (G), Carvão Vapor (V), Carvão Metalúrgico (M), Energia Elétrica (E) e Lenha (L). As quantidades anuais destes insumos são fornecidas em Toneladas Equivalentes de Petróleo (TEP), e o período coberto vai de 1973 a 1981.

Quanto aos preços de tais insumos, foram obtidos como se segue: i) Petróleo - tomamos o preço FOB do petróleo importado como fornecido pelo Anuário Estatístico do Conselho Nacional do Petróleo (CNP) de 1982; a taxa de câmbio adotada na conversão do dólar foi aquela em vigor a 15 de julho de cada ano, e os preços, por referirem-se à unidade volume (i.e., m^3), foram convenientemente convertidos para a unidade tonelada, com base na densidade de $860 \text{ kg}/m^3$, fornecida pelo BEN; ii) Gás Natural - conforme a opinião de especialistas, os preços deste insumo têm acompanhado de perto os preços do óleo combustível em equivalente energético; assim, adotamos para o seu preço médio anual (i.e., uma média ponderada em função dos períodos em que estiveram em vigor tais preços) o mesmo do óleo combustível em TEP (onde uma tonelada de óleo combustível é igual a 0,927 TEP, de acordo com o BEN); iii) Carvão Vapor - foi utilizado como referência o preço ao consumidor de carvão da Mina Leão, CRM, no Rio Grande do Sul, dada a sua condição de figurar como preço médio entre os carvões nacionais; para o seu conteúdo energético adotamos a relação 0,40 TEP indicada pelo BEN; iv) Carvão Metalúrgico - utilizou-se o preço do carvão importado, por representar cerca de 80 por cento do consumo^{8/}; a taxa de câmbio adota-

⁷ Gostaríamos de agradecer a Roberto Becker (aluno de mestrado na COPPE) por ter colaborado tanto no levantamento destes dados como na própria redação desta seção.

⁸ valor CIF: os dados entre 1973 e 1980 provêm do Anuário Mineral Brasileiro, e para 1981 os dados são do Boletim de Preços dos Bens Minerais e Produtos Metalúrgicos - Departamento Mineral, MME.

da foi aquela em vigor a 15 de julho de cada ano, e a equivalência energética utilizada foi 0,735 TEP do BEN; v) Energia Elétrica - para o período entre 1973 e 1978 adotamos a tarifa média para fornecimento, da Eletrobrás; entre 1979 e 1981 consideramos o mesmo percentual de aumento da tarifa para fins industriais fornecido por "Informações" (nº 27 de 06/82) da FIPE/USP; a equivalência de 1 MWH = 0,29 TEP do BEN foi adotada; e finalmente vi) Lenha - este insumo engloba na verdade lenha e carvão vegetal; como o BEN só fornece as quantidades da lenha, os preços médios de "Lenha" para o período 1973-1979 foram obtidos mantendo-se a proporção entre a lenha e o carvão vegetal listada pelo Anuário Estatístico do Brasil IBGE. Para 1980 e 1981, por falta de informações, assumimos a manutenção da produção da lenha nas matas nativas (fornecidas pelos dados do IBGE) e incremento de 3×10^6 m³ ao ano na produção da lenha das matas plantadas (esta é a média histórica de crescimento do período 1973/1979); para preços adotamos elevação de 90 por cento entre 1979 e 1980, e 100 por cento entre 1980 e 1981, taxas estas que ficam um pouco abaixo da inflação dos correspondentes períodos. Finalmente para equivalência energética adotamos 0,630 TEP para a tonelada do carvão vegetal e 0,0655 TEP para o metro cúbico da lenha, conforme indicado pelo BEN.

3.2. Método de Estimação

Em vista das restrições dadas em (3), os parâmetros de uma das equações de parcela do custo, dadas em (6), poderão ser obtidos a partir dos parâmetros das demais equações. Além disso, como os erros u_i são contemporaneamente correlacionados entre essas equações (o erro cometido numa equação de parcela deverá ser compensado com os erros das demais para que as parcelas somem igual a um) então o método dos Mínimos Quadrados Ordinários (MQO), por ignorar essas correlações, não seria estatisticamente eficiente. O método proposto por Zellner (1962) para equações aparentemente não correlacionadas leva em conta essa informação adicional da matriz de covariâncias dos erros, sendo pois uma técnica mais apropriada para o problema. Numa breve exposição, este método consiste na estimação, inicialmente por MQO, das $(n-1)$ equações de parcela do

custo, tomadas isoladamente. Isto permitirá estimar a matriz de covariâncias dos erros, a qual seria, em seguida, utilizada na estimação do sistema das $(n-1)$ equações pelo método dos Mínimos Quadrados Generalizados (MQG); a estimação nessa segunda etapa seria efetuada impondo-se as restrições em (3) além da simetria $\gamma_{ij} = \gamma_{ji}$ - esta última segue da derivada parcial da função translog de custo (i.e., do Teorema de Young)^{9/}. Os estimadores obtidos por este método, denominado de Zellner de Dois Estágios (Z2E), não são entretanto invariáveis com relação à equação omitida em (6). Porém, se o método for aplicado de modo iterativo até que seja alcançada a convergência dos estimadores, então os parâmetros obtidos serão invariáveis com relação à equação omitida. Na verdade, tais estimadores seriam equivalentes aos de máxima verossimilhança, conforme demonstrado por Kmenta e Gilbert (1968) através de experimentos de Monte Carlo, ou por Ruble (1968) analiticamente. O método iterativo de Zellner é, de fato, um procedimento eficiente para obter-se os estimadores de máxima verossimilhança e tem sido largamente utilizado na prática.

Nesta análise aplicamos tanto o método da Máxima Verossimilhança (MV)^{10/} como o de MQO. Apesar dos primeiros serem os estimadores mais adequados para o caso sob consideração, foram também calculados os estimadores de MQO para efeito de comparação, já que são de uso bastante disseminado.

Na estimação das equações em (6) levamos em conta tanto as restrições em (3) como a condição de simetria $\gamma_{ij} = \gamma_{ji}$. Naturalmente, dadas as restrições em (3), necessitamos estimar apenas 5 das 6 equações de parcela. Assim, omitindo-se a equação de parcela para o insumo Lenha, temos as seguintes equações de parcela de custo:

$$S_P = \alpha_P + \gamma_{PP} \text{Log}(P_P/P_L) + \gamma_{PG} \text{Log}(P_G/P_L) + \gamma_{PV} \text{Log}(P_V/P_L) + \\ + \gamma_{PM} \text{Log}(P_M/P_L) + \gamma_{PE} \text{Log}(P_E/P_L)$$

⁹ Sobre este ponto ver, por exemplo, Chiang (1967)

¹⁰ Somos gratos a Luiz Laurencel e Saulo Bispo dos Reis por terem efetuado a estimação do modelo pelo método da máxima verossimilhança.

$$\begin{aligned}
 S_G &= \alpha_G + \gamma_{GP} \text{Log}(P_P/P_L) + \gamma_{GG} \text{Log}(P_G/P_L) + \gamma_{GV} \text{Log}(P_V/P_L) + \gamma_{GM} \\
 &\quad \cdot \text{Log}(P_M/P_L) + \gamma_{GE} \text{Log}(P_E/P_L) \\
 &\quad \cdot \\
 S_E &= \alpha_E + \gamma_{EP} \text{Log}(P_P/P_L) + \gamma_{EG} \text{Log}(P_G/P_L) + \gamma_{EV} \text{Log}(P_V/P_L) + \\
 &\quad + \gamma_{EM} \text{Log}(P_M/P_L) + \gamma_{EE} \text{Log}(P_E/P_L),
 \end{aligned}$$

onde os coeficientes γ_{PL} , γ_{GL} , γ_{VL} , γ_{ML} e γ_{EL} de cada uma das equações em (6) foram obtidos com base na restrição $\sum_j \gamma_{ij} = 0$, dada em (3). Por este procedimento já se reduz o total de parâmetros a estimar de 35 para 30. Se impomos adicionalmente a restrição da simetria $\gamma_{ij} = \gamma_{ji}$, então reduzimos o número de parâmetros para 20; isto exigirá, porém, que as 5 equações sejam estimadas como um bloco¹¹. É importante ressaltar-se ainda que esta última restrição exigirá que, no caso de MQO, a regressão seja ajustada sem a interseção linear¹².

Os resultados obtidos após seguir esses procedimentos são apresentados e discutidos na próxima seção.

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

A tabela 1 mostra os parâmetros da função translog estimados pelos dois métodos, com respectivos desvio-padrão e valores de t . Como os resultados indicam claramente, há em geral, grandes dife-

¹¹ Para detalhes adicionais sobre este ponto ver Humphrey e Moroney (1975).

¹² A técnica proposta por Hawkins (1980) para forçar a regressão passar pela origem foi aqui adotada, e consiste simplesmente em entrar com o conjunto dos dados de X e Y também na sua forma negativa, procedendo-se à regressão com $2n$ observações, em vez de n ; isto garantirá que os estimadores dos coeficientes sejam corretamente produzidos, mas os seus respectivos desvios-padrão necessitam uma ligeira correção, que é de fácil implementação.

renças entre os resultados dos dois métodos de estimação e em quase todos os casos os parâmetros são estatisticamente mais significativos quando estimados pelo método da MV. Com relação à estimação de MQO, ressalte-se apenas que é bom o ajustamento global, como indicado pelo coeficiente de determinação (i.e., $R^2 = 0.999$), porém tal resultado é enganoso já que dispõe-se de poucos graus de liberdade.

As elasticidades-substituição e elasticidades-preço avaliadas no ponto médio das parcelas de custo ($\bar{S}_i$) são apresentadas nas tabelas 2 e 3, respectivamente. Os desvios-padrão dessas elasticidades, que estão também nessas tabelas, foram estimados supondo-se que em (7) e (8) apenas o coeficiente estimado $\hat{\gamma}_{ij}$ seja uma variável aleatória, mas não as parcelas $\bar{S}_i$ e $\bar{S}_j$. Este procedimento, que é aliás semelhante ao adotado por Humphrey e Moroney (1975), representa todavia uma simplificação, pois um tratamento estatisticamente mais adequado seria considerar também essas parcelas como variáveis aleatórias, o que significaria, entretanto, que as elasticidades em (7) e (8) seriam funções não-lineares das variáveis aleatórias $\bar{S}_i$, $\bar{S}_j$ e $\hat{\gamma}_{ij}$, e as variâncias assintóticas dessas elasticidades só seriam obtidas, então, após realizarmos uma aproximação de primeira ordem da expansão de Taylor de tais funções. Dessa expansão obteríamos as variâncias das elasticidades como uma combinação linear das variâncias e covariâncias de $\bar{S}_i$, $\bar{S}_j$, $\hat{\gamma}_{ij}$ ^{13/}. Para efeito desta análise, porém, adotamos a hipótese simplificadora que considera $\bar{S}_i$ e $\bar{S}_j$ não-estocásticos^{14/}.

¹³ Para detalhes sobre este procedimento ver Kmenta (1971), pp. 443-444.

¹⁴ Halvorsen (1977) adota um método engenhoso para estimar a variância de $\bar{S}_i$: redefine os preços dos insumos de tal modo que tenham média igual a um; desse modo, os parâmetros estimados $\hat{\alpha}_i$ serão iguais às próprias parcelas $\bar{S}_i$ ajustadas, e obviamente também iguais seriam as suas respectivas variâncias.

Tabela 1

PARÂMETROS ESTIMADOS DA FUNÇÃO DE CUSTO TRANSLOG PARA
INSUMOS ENERGÉTICOS NA ECONOMIA BRASILEIRA 1973 - 1981

PARÂMETROS	ESTIMATIVAS		DESVIOS-PADRÃO		ESTATÍSTICA t	
	MQO	MV	MQO	MV	MQO	MV
α_P	0,516	0,196	0,020	0,007	25,9	29,8
α_G	-0,099	0,002	0,029	0,000	-3,4	3,4
α_V	0,037	0,003	0,009	0,000	3,9	4,3
α_M	0,001	0,026	0,042	0,002	0,0	14,2
α_E	0,242	0,575	0,056	0,009	4,3	63,6
α_L	0,300	0,197	-	-	-	-
γ_{PP}	0,187	0,187	0,008	0,005	24,7	41,9
γ_{GG}	0,040	0,007	0,011	0,000	3,7	16,0
γ_{VV}	0,004	0,002	0,003	0,000	1,4	8,9
γ_{MM}	0,031	0,038	0,023	0,002	1,3	16,4
γ_{EE}	0,175	0,131	0,034	0,021	5,2	6,2
γ_{LL}	0,163	0,038	-	-	-	-
γ_{PG}	-0,013	0,000	0,008	0,001	-1,7	0,1
γ_{PV}	0,006	0,001	0,003	0,000	2,2	2,7
γ_{PM}	-0,015	-0,015	0,011	0,002	-1,3	-9,8
γ_{PE}	-0,150	-0,122	0,011	0,001	-13,6	-17,8
γ_{GV}	-0,008	-0,000	0,004	0,000	-2,3	-0,6
γ_{GM}	0,019	0,004	0,014	0,001	1,4	5,8
γ_{GE}	0,059	0,002	0,015	0,003	3,9	0,7
γ_{VM}	-0,010	-0,004	0,004	0,001	-2,4	-8,5
γ_{VE}	-0,018	-0,001	0,005	0,002	-4,1	-0,8
γ_{ME}	-0,006	-0,028	0,021	0,005	-0,3	-5,7
γ_{PL}	-0,016	-0,052	-	-	-	-
γ_{GL}	-0,096	-0,013	-	-	-	-
γ_{VL}	0,027	0,002	-	-	-	-
γ_{ML}	-0,019	0,006	-	-	-	-
γ_{EL}	-0,059	0,019	-	-	-	-
R^2	0,999					

Nota: - significa valor não calculado, já que o parâmetro correspondente fora estimado a partir dos demais parâmetros, dificultando então o cálculo do desvio-padrão.

Tabela 2

ELASTICIDADES DE SUBSTITUIÇÃO (NO PONTO MÉDIO)
COM BASE NA FUNÇÃO DE CUSTO TRANSLOG PARA A ECONOMIA
BRASILEIRA, 1973 - 1981

ELASTICIDADES	ESTIMATIVAS		DESVIOS-PADRÃO	
	MQO	MV	MQO	MV
σ_{PP}	-0,31	-0,31	0,04	0,02
σ_{GG}	-798,62	19,73	260,40	10,41
σ_{VV}	582,71	-12,32	720,22	66,48
σ_{MM}	-0,84	5,24	21,20	2,11
σ_{EE}	-0,41	-0,69	0,21	0,13
σ_{LL}	3,09	-4,47	-	-
σ_{PE}	0,13	0,29	0,06	0,00
σ_{MV}	-158,49	-67,58	68,58	8,13
σ_{PL}	0,71	0,08	-	-
σ_{GL}	-114,03	-15,06	-	-
σ_{PG}	-3,60	1,04	2,80	0,24
σ_{PV}	8,27	2,58	3,51	0,59
σ_{PM}	-0,05	-0,06	0,79	0,11
σ_{GV}	-646,77	-8,00	291,50	17,00
σ_{GM}	89,58	20,58	63,87	3,45
σ_{GE}	23,96	1,86	5,88	1,13
σ_{VE}	-22,96	-0,59	6,12	2,13
σ_{ME}	0,54	-1,17	1,61	0,37
σ_{ML}	-3,48	2,42	-	-
σ_{EL}	-0,16	1,36	-	-

Nota: -significa valor não calculado, já que o parâmetro no qual baseia-se tal elasticidade fora estimado a partir dos demais parâmetros.

Tabela 3

ELASTICIDADES-PREÇO E ELASTICIDADES-CRUZADAS
(NO PONTO MÉDIO) COM BASE NA FUNÇÃO DE CUSTO TRANSLOG PARA A
ECONOMIA BRASILEIRA, 1973 - 1981

ELASTICIDADES	ESTIMATIVAS		DESVIOS-PADRÃO	
	MQO	MV	MQO	MV
ϵ_{PP}	-0,14	-0,14	0,02	0,01
ϵ_{GG}	5,19	0,13	1,69	0,07
ϵ_{VV}	1,11	-0,02	1,37	0,13
ϵ_{MM}	-0,03	0,17	0,70	0,07
ϵ_{EE}	-0,16	-0,27	0,08	0,05
ϵ_{LL}	0,40	-0,57	-	-
ϵ_{PE}	0,05	0,11	0,03	0,00
ϵ_{EP}	0,06	0,13	0,03	0,00
ϵ_{VM}	-5,23	-2,23	2,26	0,27
ϵ_{MV}	-0,30	-0,13	0,13	0,02
ϵ_{PL}	0,09	0,01	-	-
ϵ_{LP}	0,31	0,03	-	-
ϵ_{GL}	-14,64	-1,93	-	-
ϵ_{LG}	-0,74	-0,10	-	-
ϵ_{PG}	-0,02	0,01	0,02	0,00
ϵ_{GP}	-1,56	0,45	1,22	0,10
ϵ_{PV}	0,02	0,00	0,01	0,00
ϵ_{VP}	3,59	1,12	1,52	0,26
ϵ_{PM}	-0,00	-0,00	0,03	0,00
ϵ_{MP}	-0,00	-0,00	0,34	0,05
ϵ_{GV}	-1,23	-0,02	0,55	0,03
ϵ_{VG}	4,20	-0,05	1,90	0,11
ϵ_{GM}	2,96	0,68	2,11	0,11
ϵ_{MG}	0,58	0,13	0,42	0,02
ϵ_{GE}	9,47	0,74	2,32	0,45
ϵ_{EG}	0,15	0,01	0,04	0,00
ϵ_{VE}	-9,08	-0,23	2,40	0,15
ϵ_{EV}	-0,04	-0,00	0,01	0,00
ϵ_{ME}	0,21	-0,46	0,64	0,15
ϵ_{EM}	0,02	-0,04	0,05	0,01
ϵ_{ML}	-0,45	0,31	-	-
ϵ_{LM}	-0,11	0,08	-	-
ϵ_{EL}	0,02	0,17	-	-
ϵ_{LE}	-0,06	0,54	-	-

Nota:- significa valor não calculado, já que o parâmetro no qual baseia-se tal elasticidade fora estimado a partir dos demais parâmetros.

Considerando-se inicialmente as elasticidades de substituição, e restringindo a análise àquelas estimadas pelo método de MV e que sejam estatisticamente significativas ao nível de 5 por cento, temos que^{15/}: i) complementares (i.e., com elasticidade de substituição negativa) são os insumos Carvão Metalúrgico e Carvão Vapor e ii) substitutos (i.e., com elasticidade de substituição positiva) são os insumos Petróleo e Energia Elétrica, Petróleo e Carvão Vapor, Petróleo e Gás Natural e Carvão Metalúrgico e Gás Natural.

Quanto às elasticidades-preço da demanda dos insumos que são estatisticamente significativas pelo método da MV, temos sinal apropriado apenas para os casos do Petróleo e Energia Elétrica, mas sinal contrário para Gás Natural e Carvão Metalúrgico^{16/}.

Para considerar apenas dois dos resultados (relativos ao Petróleo e à Energia Elétrica, que são de longe os insumos energéticos quantitativamente mais importantes - as suas participações relativas médias no período foram de 0,434 e 0,395 respectivamente), temos as seguintes implicações principais para a economia. Primeiramente, se a estimativa da elasticidade-preço para o Petróleo estiver correta, então a elasticidade encontrada de - 0,14 significaria que aumentos nos preços mundiais desse insumo acarretariam, ceteris paribus, pouca redução no seu consumo interno, com consequências graves, pois, para o balanço de pagamentos do País^{17/}. Por outro lado, a contrabalançar tais efeitos adversos, temos que como Petróleo e Energia Elétrica são aqui substitutos, então tais aumentos de preços possibilitariam uma utilização mais intensiva de Energia Elétrica, em vez de Petróleo, nas atividades produtivas do País, como aliás parece ser o objetivo de políticas econômicas governamentais que já começam a se esboçar.

¹⁵ Nestas considerações não incluímos as elasticidades com o insumo Lenha, pois não dispomos das suas variâncias; note-se que os parâmetros da equação de parcela do custo para a Lenha são obtidos por diferença dos parâmetros das demais funções de parcela - isto significa que a variância dos seus estimadores são obtidas das variâncias e covariâncias dos estimadores das demais funções de parcela, e estas covariâncias não foram aqui estimadas.

¹⁶ Estas elasticidades com sinal trocado significam que a função de custo não tem a convexidade apropriada (i.e., a matriz Hessiana da função de custo, com base nos parâmetros estimados, não é negativa semidefinida no ponto em que a elasticidade foi avaliada). Sobre este ponto ver, por exemplo, Berndt e Wood (1975).

¹⁷ Note-se, neste particular, que ambos os métodos de estimação (i.e., MQO e MV) fornecem a mesma elasticidade.

5. COMENTÁRIOS FINAIS

As considerações nas seções anteriores quanto à natureza dos dados, por si só já sugerem claramente que as nossas elasticidades devem ser vistas como valores apenas tentativos. Assim, as premissas aqui adotadas da fraca separabilidade entre Energia e os outros insumos da economia, e da homotetia para a função de custo do agregado Energia só poderiam contribuir para o caráter tentativo desses resultados, pois não sabemos a extensão em que as elasticidades seriam afetadas com a violação de tais pressupostos.

Além disso, as elasticidades-preço são, pela própria definição, valores parciais, pois nos seus cálculos o pressuposto de que o agregado Energia permanece constante é implicitamente assumido. Isto não é, contudo, realista já que qualquer alteração no preço de um dos insumos que compõem o agregado Energia afetaria também o preço deste último, devendo ocasionar, assim, alguma substituição na economia entre este agregado e os demais, como Capital e Trabalho. De fato, a elasticidade-preço total da demanda do insumo energético j seria, no modelo translog (cf. Halvorsen (1977), Fuss (1977), ou Pindyck (1979)):

$$\epsilon_{ij}^T = \epsilon_{ij} + \epsilon_E \cdot S_j,$$

onde ϵ_{ij} é, naturalmente, a elasticidade - preço do agregado Energia (i.e., com relação ao seu próprio preço). Apesar de não conhecermos ϵ_{ij}^T aqui, pois desconhecemos ϵ_E , fica claro da sua fórmula que a tendência é para que seja maior (menor), em valor absoluto, do que a elasticidade - preço (elasticidade - cruzada) parcial. De qualquer modo, a estimação de ϵ_E desta relação é de interesse em si mesma e talvez devesse merecer atenção em pesquisas futuras. Neste sentido, os próprios valores de P_E aqui estimados poderiam contribuir para tal fim pois, conforme ressaltado na nota de rodapé número 5, a função translog de custo utilizada para o cálculo da elasticidade ϵ_E deveria ter entre os seus argumentos os preços P_E gerados pela especificação de tipo também translog, ou, equivalentemente, obter P_E através do índice agregador de preços do tipo Divisia.

Para concluir, um outro ponto a merecer investigação futura seria a questão da substituição entre os derivados de petróleo e os demais insumos (energéticos e não-energéticos) da economia. Sobre tudo investigações setoriais, dentro desta linha, seriam particularmente atrativas. Aqui logo vem à mente o caso específico do álcool na substituição da gasolina e óleo diesel no transporte rodoviário. Neste último caso há, porém, que se esperar mais alguns anos até que os dados acumulados permitam estimações econométricas apropriadas.

REFERÊNCIAS

- ALLEN, R.G.D. (1938) *Mathematical Analysis for Economists*, London, MacMillan.
- BERNDT, E.R., e CHRISTENSEN, L.R. (1973) "The Internal Structure of Functional Relationships: Separability, Substitution, and Aggregation", *Review of Economic Studies*, 40, Julho: 403-10.
- BERNDT, E.R., e WOOD, D.O. (1975) "Technology Prices and the Derived Demand for Energy", (3) Agosto: 259 - 268.
- BISPO DOS REIS, S. (1983) *Produção e Custo: Abordagem Dual e Aplicação ao Setor de Transporte de Carga*, tese de mestrado, COPPE.
- CHIANG, A.C. (1967) *Fundamental Methods of Mathematical Economics*, McGraw-Hill, New York.
- CHRISTENSEN, L.R., JORGENSEN, D.W. e LAU, L.J. (1971) "Conjugate Duality and the Transcendental Logarithmic Production Function", *Econometrica*, 39, Julho: 255 - 256.
- DENNY, M., e FUSS, M.A. (1977) "The Use of Approximation to test for Separability and the Existence of Consistent Aggregates", *American Economic Review*, 67 (3), Junho: 404 - 418.
- DIAS, R.S., BRANDT, S.A., e FONTES, R.M.D. (1982) "Modelo Translog de Substituição de Fatores na Agricultura Brasileira", IV Encontro Brasileiro de Econometria, 7 a 9 de dezembro: 187 - 201.
- DEWERT, W.E. (1971) "An Application of the Shephard Duality Theorem: A Generalized Leontief Production Function", *Journal of Political Economy*, 79, Maio/Junho: 481-507.
- DEWERT, W.E. (1976) "Exact and Superlative Index Numbers", *Journal of Econometrics*, 4, Maio: 115 - 145.
- FIRMINO, A.C. (1982) *A Estimação de Funções - Custo Tipo Translog: Aplicação à Cabotagem Brasileira*, Tese de Mestrado em Economia, FEA - USP.
- FUSS, M.A. (1977) "The Demand for Energy in Canadian Manufacturing: An Example of the Estimation of Production Structures with Many Inputs", *Journal of Econometrics*, 5, Janeiro: 89 - 116.

- GARRONE, R. (1983) *Análise Econômica das Empresas de Transporte Rodoviário de Carga*, tese de mestrado em fase de conclusão, COPPE.
- GRIFFIN, J.M., e GREGORY, P.R. (1976) "An Intercountry Translog Model of Energy Substitution Response", *Review of Economics and Statistics*, 58 (4), Novembro: 845-857.
- HALVORSEN, R. (1977) "Energy Substitution in U.S. Manufacturing", *Review of Economics and Statistics*, 59 (4), Novembro: 381-388.
- HAWKINS, D.M. (1980) "A Note on Fitting a Regression Intercept Term", *The American Statistician*, 34 (4), Novembro: 233.
- HUMPHREY, D.B., e MORONEY, J.R. (1975) "Substitution of Labor and Natural Resource Products in American Manufacturing", *Journal of Political Economy*, 83 (1) Fevereiro: 57-82.
- KMENTA, J. (1971) *Elements*
- KMENTA, J., e GILBERT, R. (1968) "Small Sample Size Bias of Estimators of Parameters of American Statistical Association", 63, Dezembro: 1180 - 2000.
- LAURENCEL, L.C. (1983) *Dualidade, Medidas do Fator de Produtividade e a Indústria de Transportes: Uma Sinopse Metodológica (título tentativo)*, tese de mestrado em fase de conclusão, COPPE.
- PINDYCK, R.S. (1979) "International and Industrial Energy: An International Review of Economics and Statistics", 61 (2), Maio: 169-179.
- REZENDE, A.E. (1983) "Uma Função de Custo por Transporte" —
- RUBLE, W.L. (1968) *Improving the Computation of Simultaneous Stochastic Linear Equation Estimates*, tese de Ph. D., Michigan State University.
- SHEPARD, R.W. (1953) *Cost* Press.
- SOUZA, C.L.S.P. (1983) *O Transporte Marítimo de Derivados de Petróleo: Uma Abordagem a Partir da Teoria Econômica*, (Título tentativo), tese de mestrado em fase de conclusão, COPPE.
- UZAWA, H. (1962) "Production Functions with Constant Elasticity of Substitution", *Review of Economics and Statistics*, 44 (1), Maio: 291-299.
- ZELLNER, A. (1962) "An Efficient Method of Estimating Seemingly Unrelated Regressions", *The American Statistical Association*, 57, Junho: 348-368.