

SUBSTITUIÇÃO INTERENERGÉTICA E DEPENDÊNCIA METODOLOGIA DE ANÁLISE (*)

José Ramos Pires Manso (**)

Introdução

O tema da substituição interfactorial tem sido particularmente estudado à medida que vão surgindo novas funções de produção. De realçar os estudos elaborados após o aparecimento da função *translog* no meio da década de 70. Desde então para cá, e à volta da questão da substituíbilidade/complementaridade entre os factores energia-capital têm-se desenvolvido duas escolas, uma que defende que a relação entre estes dois factores é de *complementaridade* e cujo expoente máximo é a dupla Berndt e Wood, e outra que defende que essa relação é de *substituíbilidade*, representada pela dupla Gregory e Griffin; tanto uma como outra tem confirmado o seu ponto de vista nos resultados obtidos em estudos empíricos; entretanto foram já surgindo tentativas de apaziguamento das duas correntes desavindas, tentativas que utilizando os mais variados argumentos, tentam conciliar as duas teses em presença. Para uma análise mais rigorosa desta polémica e dos seguidores de cada um dos pontos de vista ver Manso (1991) e também Manso (1996). O primeiro destes textos faz inclusivamente uma aplicação empírica a Portugal para concluir que neste país vinga a tese da *complementaridade* entre os factores em causa.

O tema das substituições interenergéticas é extremamente importante e actual, dada a necessidade de reduzir a dependência energética do quase omnipresente petróleo. Tem, no entanto, sido pouco aprofundado. Realçam-se os contributos de Yves Mainguy e de uma instituição gaulesa (1) e de B. A. Baudet (1985). Quer um quer outro, contudo, não passam de estudos pouco ambiciosos.

É oportuno referir que as causas que podem levar à substituição entre energias podem ir desde a maior *limpeza* e segurança de umas em detrimento de outras, ao seu preço (grandemente condicionado pela política fiscal), a campanhas de *marketing* lançadas com intenção de alterar hábitos de consumo, à tecnologia disponível que por vezes obriga a seleccionar determinada forma de energia, etc.

Segundo Percebois (1989) a substituição de uma forma de energia dominante por outra é um processo lento que se iniciou no período da revolução

(*) Aproveita-se a oportunidade para agradecer ao professor catedrático A. Martins, do ISEG/UTL, pela colaboração dispensada na orientação da referência Manso (1996) e ainda a este e M. Reigado, da UBI, pela leitura e comentários deste texto. Dos erros ou omissões cabe ao autor, e em exclusivo, a responsabilidade.

(**) Professor Auxiliar da Universidade da Beira Interior.

(1) Citado por Percebois (1989).

industrial e se sucedeu segundo uma periodicidade aproximada de cerca de 100 anos⁽²⁾. Marchetti, um autor que estudou esta temática com alguma profundidade, chama a estes lapsos de tempo de *vagas energéticas* para desenvolver uma curiosa, mas fatalista, teoria, segundo a qual as substituições ao nível mundial, foram e continuam a ser muito progressivas «sucendo-se as vagas energéticas umas às outras segundo uma periodicidade quase fatal, um esquema *obligé* ao qual o mundo não pode de maneira nenhuma escapar»⁽³⁾. Segundo aquele estudioso a substituição de uma fonte de energia por outra faz-se sem que os recursos conhecidos da primeira se tenham esgotado decorrendo a penetração da segunda de acordo com o modelo⁽⁴⁾

$$\text{Log} \left(\frac{F_i}{1 - F_i} \right) = \alpha_i + \beta_i \cdot t,$$

onde F_i é a quota-parte do mercado coberta pela i -ésima fonte de energia, t é o tempo, α_i é uma constante positiva e β_i é um parâmetro específico de cada mercado energético.

Uma análise feita a alguns países da União Europeia permitiu concluir que cada fonte de energia levou, em média, 30 anos a passar de uma cota de 1 % para 10 % do balanço energético primário, período que nalguns casos foi reduzido por existirem previamente infra-estruturas adequadas a uma certa forma de energia, como aconteceu com o gás natural em França, que levou apenas 14 anos a atingir aquela meta.

1 — Metodologia de análise: apresentação das diferentes medidas e indicadores

Os objectivos gerais da metodologia de análise desenvolvida são: 1.º possibilitar o estudo individual da progressão/regressão de uma forma de energia no bolo energético global; 2.º possibilitar o cálculo de vários coeficientes ou indicadores para explicar a substituição entre formas de energia, a velocidade dessa substituição, a sua intensidade, os ritmos a que se processa a substituição; 3.º possibilitar a compreensão de temas como a independência energética nacional, a dependência de uma só forma de energia, a dependência energética global, a vulnerabilidade energética de um país, e algumas formas de melhorar estes indicadores; 4.º possibilitar a utilização de funções analíticas especiais, e de entre estas as exponenciais, funções que se revelam especialmente indicadas para o estudo de fenómenos deste tipo; esta característica do modelo exponencial que se vai comprovar empiricamente é também aconselhada por outros autores e em particular por L. Pasinetti (1993); 5.º identificar os principais factores que favorecem ou prejudicam a substituição entre energias; 6.º apreciar o comportamento dinâmico da substituição interenergética; 7.º apreciar o ritmo com que se processa a substituição e a forma como evolui no curto e no longo prazos essa mesma substituição.

⁽²⁾ Definindo essa periodicidade como o lapso de tempo necessário para que uma nova fonte de energia passe de 1 % a 50 % dos fornecimentos primários de energia em todo o mundo.

⁽³⁾ Cf. Percebois, *ob. cit.*, p. 154.

⁽⁴⁾ Cf. Percebois p. 154. Este mesmo autor dá para taxa de crescimento da quota de mercado de uma forma de energia a seguinte: $dF_i/F_i = \alpha_i(1 - F_i)$.

2 — Medidas que apreciam a trajectória individual das diferentes formas de energia

2.1 — O coeficiente de progressão

São objectivos deste coeficiente: 1.º analisar a rapidez com que se processa a progressão ou a regressão de cada uma das formas de energia no balanço energético nacional; 2.º identificar os factores determinantes que estão por detrás destes movimentos de progressão ou de regressão; 3.º apreciar o carácter dinâmico dessa progressão recorrendo aos conceitos físicos de *velocidade* e ou de *taxa de crescimento*.

Seja s o número de formas de energia disponíveis num mercado, q_t a quantidade total de energia consumida, q_{it} a quantidade da i -ésima fonte de energia consumida, R_{it} o peso ou quota-parte da i -ésima energia no consumo total, r , r_i e r_i^* as taxas de crescimento do consumo da energia, da quota-parte do consumo da i -ésima forma de energia e do consumo físico da i -ésima forma de energia, respectivamente, t o período, $i = 1, 2, \dots, s$, a energia; q_{it} e q_t são expressas em volume (teps ou múltiplos de teps).

Tendo em atenção as notações apresentadas é evidente que $q_t = \sum_{i=1}^s q_{it}$ (1), $r = \frac{\partial \ln q_t}{\partial t} = \frac{\partial q_t}{q_t}$ (2) (5); $R_{it} = \frac{q_{it}}{q_t}$ (3); $r_i = \frac{\partial \ln R_{it}}{\partial t} = \frac{\partial R_{it}}{R_{it}}$ (4), $r_i = \partial \left(\frac{q_{it}}{q_t} \right) / \frac{q_{it}}{q_t}$, o que conduz a $r_i = \frac{\partial q_{it}}{q_{it}} - \frac{\partial q_t}{q_t} = r_i^* - r$ ($i = 1, \dots, s$) (4'), e $r_i^* = \frac{\partial \ln q_{it}}{\partial t} = \frac{\partial q_{it}}{q_{it}}$ (5).

Para a interpretação dos valores de r , r_i , r_i^* deve ter-se em atenção que estas três taxas podem tomar valores negativos, nulos ou positivos, valores que traduzem regressão, estagnação ou progressão, no primeiro caso, nos consumos globais de energia, no segundo, nas quotas-partes da i -ésima energia, e no terceiro, nas quotas de consumo da i -ésima fonte de energia, respectivamente.

De (4') sai que $r_i^* = r + r_i$ (6) resultado que explica a trajectória da taxa de crescimento da i -ésima fonte de energia pela acumulação das trajectórias das duas taxas de crescimento: a da energia globalmente e a da quota-parte da energia i (que influencia aquela) no consumo total.

Representemos por $g_i = \frac{\partial q_{it}/\partial t}{q_{it}} = \frac{\partial q_{it}}{q_{it}}$ (7) (6) a velocidade de progressão de uma forma de energia no sentido que lhe foi dado pela referida instituição gaulesa; (7) pode ainda escrever-se como $g_i = \frac{\partial q_{it}}{q_{it}} \cdot \frac{q_{it}}{q_t} = r_i^* \cdot R_{it}$ (7'), ou ainda, atendendo ao valor de r_i^* dado por (6), $g_i = (r + r_i) \cdot R_{it}$ (7'').

Com o objectivo de colmatar algumas das lacunas detectadas ao nível da interpretação das velocidades de progressão de uma forma de energia dadas

(5) Na segunda expressão de (2) e noutras que se vão seguir, omitiu-se ∂t para não sobrecarregar a notação.

(6) Na segunda expressão de (7) omitiu-se mais uma vez ∂t para não sobrecarregar a notação.

por (7), (7') e (7''), definimos dois novos coeficientes ou indicadores de progressão da i -ésima energia, ambas inspiradas no conceito de elasticidade:

1.ª ${}^1\delta_i = \frac{\partial \ln R_{it}}{\partial \ln q_i}$ (8) que aprofundando se converte em ${}^1\delta_i = \frac{r_i}{r} \times 100\%$ (8');
 e 2.ª ${}^2\delta_i = \frac{\partial \ln q_{it}}{\partial \ln q_i}$ (9), que se converte em ${}^2\delta_i = \frac{r_i^*}{r} \times 100\%$ (9'). As duas medidas

têm como valores padrão ou neutros os valores 0 e 100 %, respectivamente, que ocorrem quando a quota de energia i se mantém constante, sendo positiva, a primeira, ou maior que 100 %, a Segunda, se houver penetração efectiva e negativa, a primeira, ou menor que 100 %, a segunda, no caso oposto, com ($1 = 1, 2, \dots, s$). A expressão ${}^1\delta_i = {}^2\delta_i + 100\%$ (10), mostra a interligação dos dois indicadores.

É interessante apreciar esta questão quando se postula que q_{it} , q_{it} e R_{it} tomam andamentos específicos, por exemplo, exponenciais. Contudo, não nos vamos, por agora, deter nesta questão.

2.2 — Índices de intensidade de progressão

Duas das finalidades destes índices são: 1.ª realçar a maior ou menor intensidade ou amplitude das progressões (ou regressões) das energias individuais no bolo energético de um país, e 2.ª quantificar os ganhos e as perdas ou os avanços e os recuos em relação à trajectória média dos consumos individuais.

O processo de cálculo colhe alguns ensinamentos nos métodos tradicionais de cálculo dos índices estacionais ou sazonais geralmente abordados em disciplinas como as que estudam a problemática das sucessões cronológicas; os seus grandes passos são os seguintes: 1.º cálculo das variações, sob a forma $1 + \theta$, entre os períodos $(t-1)$ e (t) , para cada componente ou forma de energia, isto é, cálculo de $q_{it} = \frac{q_{it}}{q_{it-1}}$ (11); 2.º cálculo da variação total por tipo de

energia $\Delta q_i = \sum_{j=1}^n q'_{it}$ (12); 3.º cálculo da variação total global, $\Delta q = \sum_{i=1}^s \Delta q_i$ (13);

4.º cálculo dos indicadores de amplitude w_i , $w_i = \frac{\Delta q_i}{\Delta q}$ (14) com $\sum_{i=1}^s w_i = 1$;

a amplitude da variação (positiva ou negativa) será tanto maior quanto maior for o indicador de amplitude (w_i) assim calculado ($i = 1, 2, \dots, s$, $t = 1, 2, \dots, n$); 5.º cálculo das médias das variações, sob a forma percentual, para cada forma de

energia: $m_i = \frac{\Delta q_i}{n}$ (15); 6.º determinação da média geral ou média das médias,

$M = \frac{\sum_{i=1}^s m_i}{s} = \frac{\Delta q}{(n-1)s}$ (16); 7.º cálculo dos índices energéticos através de quocientes em que os numeradores são as variações médias anuais das formas

energéticas e os denominadores são constantes e iguais à média geral das variações anuais $\eta_i = \frac{m_i}{M}$ ($i = 1, \dots, s$) (17). Este método permite interpretações muito lineares, tendo ainda a vantagem de lidar apenas com valores positivos.

De notar ainda: 1.º que a soma dos diversos índices é dada por $s \times 100\%$,

pois que
$$\sum_{i=1}^s \eta_i = \sum_{i=1}^s \frac{m_i}{M} = \frac{\sum_{i=1}^s \Delta q_i}{\sum_{i=1}^s m_i / s} = s;$$
 2.º que o índice η_i da i -ésima forma de

energia traduz a proporção da variação média anual dessa forma energética em relação a essa variação média anual geral; variações inferiores a 100% identificam recuos ou perdas no valor de $(1 - \eta_i) \cdot 100\%$ na penetração da i -ésima forma de energia e que valores superiores a 100% identificam avanços ou ganhos na penetração da respectiva forma de energia no valor de $(\eta_i - 1) \cdot 100\%$.

3 — Medidas que estudam a substituição interenergética propriamente dita

3.1 — O coeficiente de substituição

Os objectivos deste coeficiente são: 1.º indagar fenómenos de substituição real ou efectiva entre duas energias e 2.º quantificar esses fenómenos.

Antes de prosseguir convém fazer um ponto prévio: é que o coeficiente de substituição que vamos ver dá-nos: a) a *substituição real ou efectiva* entre dois combustíveis se no mercado forem apenas transaccionadas duas formas de energia (ou se uma delas puder ser tratada como agregado das restantes); e b) a *substituição aparente* entre duas formas de energia se no mercado co-existirem contemporaneamente mais de dois combustíveis; neste caso pode inclusivamente acontecer obter-se um valor significativo para o dito coeficiente sem que tenha havido *efectivamente* substituição entre os combustíveis.

Por analogia com R_{it} seja R_{jt} a quota de mercado da energia j , e v_{ijt} a razão das quotas de mercado das energias i e j ($i, j = 1, \dots, s$).

Por definição vem $v_{ijt} = \frac{R_{it}}{R_{jt}}$ (18); se esta razão, no longo prazo, aumentar (decrecer), então pode concluir-se que i substitui (7) j (j substitui i).

Seja ω_{ij} um coeficiente ou indicador (de substituição), definido por $\omega_{ij} = \frac{\partial R_{it}}{\partial R_{jt}}$ (19), indicador que tem em atenção as velocidades de crescimento das quotas-partes dos consumos de ambas as formas de energia; ω_{ij} é assim uma espécie de *taxa marginal de substituição* da energia i por j , pois que nos dá a variação da quota de mercado da energia i quando a quota de mercado da energia j sofre uma variação unitária.

Seja σ_{ij} o novo coeficiente de substituição da energia i por j definido como $\sigma_{ij} = \frac{\omega_{ij}}{v_{ijt}}$ (20); a grande vantagem de (20) em relação a (19) é que este se relaciona com um conceito muito caro à economia que é o de elasticidade de *substituição* de energia i por energia j (ε_{ij}), definida esta como $\varepsilon_{ij} = \frac{\partial R_{it} / R_{it}}{\partial R_{jt} / R_{jt}}$ (21).

(7) Real ou aparentemente, nos termos do ponto prévio já referido.

Na verdade, substituindo o numerador e o denominador de (20) pelas suas expressões vem $\sigma_{ij} = \frac{\partial R_{it} / \partial R_{jt}}{R_{jt} / R_{it}} = \frac{\partial R_{it} / R_{it}}{\partial R_{jt} / R_{jt}}$ (22), precisamente a expressão da elasticidade dada por (21).

Para efeitos de interpretação podemos afirmar que dado o paralelismo grande entre σ_{ij} e ε_{ij} , então pode escrever-se que:

$$i) \text{ Se: } \sigma_{ij} < 0 \Leftrightarrow \varepsilon_{ij} < 0 \Rightarrow \frac{\partial R_{it}}{\partial R_{jt}} < 0 \Rightarrow \begin{cases} \partial R_{it} < 0 \wedge \partial R_{jt} < 0 \Leftrightarrow r_i < 0 \wedge r_j > 0 \\ \partial R_{it} > 0 \wedge \partial R_{jt} < 0 \Leftrightarrow r_i > 0 \wedge r_j < 0 \end{cases}$$

donde se conclui que no primeiro (segundo) ramo da chaveta a forma de energia *i* perde⁽⁸⁾ (ganha) mercado à forma de energia *j*, isto é, *j* substitui⁽⁹⁾ *i* (é substituído por);

ii) Se $0 < \sigma_{ij} < 1 \Leftrightarrow 0 < \varepsilon_{ij} < 1$, então *j* ganha mercado a *i*, isto é, *j* substitui *i* (substituição pouco significativa);

iii) Se $\sigma_{ij} = 1 \Leftrightarrow \varepsilon_{ij} = 1$, então não há ganhos nem perdas de mercado por parte de ambos os combustíveis pelo que se pode dizer que não há substituição entre ambos;

iv) Se $\sigma_{ij} > 1 \Leftrightarrow \varepsilon_{ij} > 1$, então a energia *i* ocupa parte da quota de mercado da energia *j* ou seja, *i* substitui (real ou aparentemente) *j*, sendo o grau de substituição tanto mais significativo quanto maior for o valor daquele coeficiente.

Postulando expressões exponenciais para R_{it} e R_{jt} caso em que se tem, para a forma de energia *i* $R_{it} = s_i e^{r_i t} \Rightarrow \frac{\partial R_{it}}{\partial t} = s_i e^{r_i t} \cdot r_i = r_i \cdot R_{it}$ (23), e para a forma de energia *j*: $R_{jt} = s_j e^{r_j t} \Rightarrow \frac{\partial R_{jt}}{\partial t} = s_j e^{r_j t} \cdot r_j = r_j \cdot R_{jt}$ (24), então (19) vem igual a $\varepsilon_{ij} = \frac{\partial R_{it}}{\partial R_{jt}} = \frac{r_i R_{it}}{r_j R_{jt}}$ (25). Este valor, uma vez dividido pela expressão de v_{ijt} , dada por (18), vem $\sigma_{ij} = \frac{\partial R_{it} / \partial R_{jt}}{R_{jt} / R_{it}} = \frac{r_i \partial R_{it} / r_j \partial R_{jt}}{R_{it} / R_{jt}} = \frac{r_i}{r_j}$ (26), uma forma cómoda de calcular o coeficiente de substituição entre duas formas de energia.

O coeficiente de substituição de uma energia contra as restantes utiliza também a expressão (20); a única diferença em relação ao caso bienergético é que agora uma das energias (*i* ou *j*) passa a representar o conjunto das outras. Este é um dos casos evidenciados anteriormente em que há sempre substituição efectiva entre um combustível e os restantes⁽¹⁰⁾.

3.2 — Ritmos ou cadências de substituição

Os ritmos ou cadências de substituição que vamos passar a abordar pretendem 1.º definir uma forma correcta e significativa de calcular o ritmo ou cadência de substituição entre energias; 2.º apreciar analiticamente a relação

⁽⁸⁾ Real ou aparentemente.

⁽⁹⁾ Idem.

⁽¹⁰⁾ Para terminar estas considerações pode acrescentar-se que, neste caso, o coeficiente (20) tem a particularidade de vir sempre igual a -1, pois que, $\partial R_{it} / \partial t = \partial(1 - R_{jt}) / \partial t = -\partial R_{jt} / \partial t$, razão pela qual vem $\sigma_{ij} = -v_{ijt}^{-1}$ e daí que (20) venha sempre igual à unidade.

que existe entre a substituição entre energias no curto e no longo prazo; e 3.º analisar a grandeza desses ritmos de substituição (de curto e de longo prazos) no mesmo momento.

Seja γ_{ij} a taxa de crescimento de v_{ijt} definida por (18); assim sendo γ_{ij} vem dada por $\gamma_{ij} = \frac{\partial \ln v_{ijt}}{\partial t} - \frac{\partial v_{ijt}}{v_{ijt}}$ (27).

Substituindo no numerador e no denominador de (27) v_{ijt} pela expressão dada por (18), vem $\gamma_{ij} = \frac{\partial R_{it}}{R_{it}} - \frac{\partial R_{jt}}{R_{jt}} = r_i - r_j$ (27'), resultado a que chamamos *ritmo* ou *cadência de substituição* da energia i pela energia j porquanto vem dado pela diferença de dois ritmos, cadências, ou ainda taxas de crescimento: a da energia j deduzida da da energia i . Atendendo a (4') pode escrever-se ainda γ_{ij} como $\gamma_{ij} = r_i^* - r_j^*$ (27''), diferença dos ritmos ou cadências de crescimento dos consumos das energias i e j , resultado que se pode ainda encontrar através da seguinte cadeia dedutiva: $\gamma_{ij} = \partial \ln \left(\frac{q_{it}}{q_{jt}} \right) / \partial t = \frac{\partial \ln q_{it}}{\partial t} - \frac{\partial \ln q_{jt}}{\partial t} \Rightarrow \gamma_{ij} = \frac{\partial q_{it}}{q_{it}} - \frac{\partial q_{jt}}{q_{jt}}$; atendendo a (5) γ_{ij} vem novamente (27'').

Para efeitos de interpretação podemos afirmar que: se $\gamma_{ij} > 0$ (respectivamente < 0) então $\gamma_{ij} = r_i - r_j > 0$ ($\gamma_{ij} = r_i - r_j < 0$) o que significa que $r_i > r_j$ ($r_i < r_j$); este diferencial dá-nos a cadência de substituição entre ambas as energias; da mesma forma se $\gamma_{ij} = 0$ então $\gamma_{ij} = r_i - r_j = 0$ e $r_i = r_j$, o que significa que os dois ritmos de crescimento são idênticos, ou que há estabilidade entre ambas as formas de energia.

Ritmo ou cadência de substituição no curto e no longo prazo: postulemos agora tendências exponenciais para as quotas de mercado das energias i e j ; substituindo em (18) o seu numerador e o seu denominador pelas expressões de R_{it} e de R_{jt} vem $v_{ijt} = \alpha_{ij} e^{r_{ij} t}$ (28), expressão que se deduz de $v_{ijt} = \left(\frac{s_i}{s_j} \right) e^{(r_i - r_j)t}$ com as alterações $s_i / s_j = \alpha_{ij}$ e $r_i / r_j = r_{ij}$. Substituindo agora na expressão de γ_{ij} , $e^{r_{ij} t}$ por b vem $v_{ijt} = \alpha_{ij} \cdot b^t$ (29) e substituindo nesta b por $1 + \tau$ vem $v_{ijt} = \alpha_{ij} \cdot (1 + \tau)^t$ (29'), resultados que nos permitem definir $\tau \cdot 100\% = (b - 1) \cdot 100\%$ (30) como o *ritmo ou cadência de substituição de longo prazo* (11) da energia i pela energia j e $\ln b \cdot 100\% = \gamma_{ij} \cdot 100\%$ (31) como o *ritmo ou cadência de substituição de curto prazo* (12) das mesmas energias.

Como $\gamma_{ij} < \tau$ ($= e^{r_{ij}} - 1$) pode concluir-se que o *ritmo ou cadência de substituição de curto prazo* de uma energia por outra é sempre inferior ao *ritmo ou cadência de substituição de longo prazo* das mesmas energias; a única excepção ocorre quando esses ritmos são nulos (13).

Substituição interenergética — interpretação gráfica: resolvendo (28) de molde a isolar a exponencial como se indica vem $e^{r_{ij} t} = \frac{v_{ijt}}{\alpha_{ij}} = z_{ijt}$ (32). Como por

(11) Ou médio.

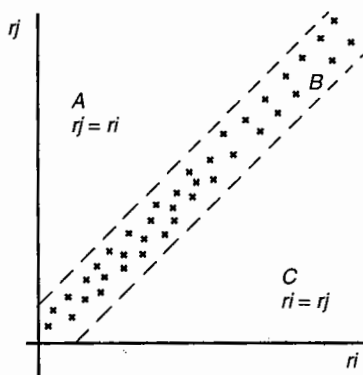
(12) Ou instantâneo.

(13) Este resultado é coerente com o afirmado num dos capítulos da parte I de Manso (1996) em que se demonstrou que a reacção do sistema (mercado, etc.) é maior no longo do que no curto prazo.

(27') vem $\gamma_{ij} = r_j - r_i$, introduzindo esta em (32) conduz a $z_{ijt} = e^{(r_i - r_j)t}$ (33). Representemos agora esta função (considerando z_{ijt} constante), num sistema de eixos cartesianos em que r_i e r_j se representam no eixo das abcissas e no eixo das ordenadas, respectivamente. Fazendo variar r_i com z_{ijt} constante os valores de r_j deslocam-se ao longo de uma recta crescente localizada no primeiro e terceiro quadrantes do sistema cartesiano atrás definido. Desta forma com valores de z_{ijt} diferentes é possível individualizar três zonas distintas nesse mesmo plano: uma em que há substituíbilidade interenergética (quando $0 < v_{ijt} < 1$, com j a substituir i ou *zona de dominância da energia j* e que corresponde à parte acima da bissectriz do 1.º quadrante, outra quando $v_{ijt} > 1$, com i a substituir j ou *zona de dominância da energia i* e que se localiza na parte inferior dessa bissectriz) e a terceira em que não há dominância (quando $v_{ijt} \cong 1$ que acompanha a bissectriz) a que chamamos *terra de ninguém* (14). V. o gráfico n.º 1 seguinte onde se ilustra claramente as três situações acabadas de referir:

GRÁFICO N.º 1

Zonas de dominância e de não dominância



Legenda

- r_j — taxa de crescimento da energia j ;
- r_i — taxa de crescimento da energia i ;
- Zona A: zona de dominância da energia j ;
- Zona B: zona de não dominância;
- Zona C: zona de dominância da energia i .

4 — Medidas relacionadas com a dependência

4.1 — Coeficiente de independência energética

São objectivos deste coeficiente os seguintes: 1.º aquilatar da situação de maior ou menor dependência, em termos energéticos, de um país; 2.º identi-

(14) Por uma questão de simplicidade, desprezou-se α_{ij} .

car os seus componentes principais; 3.º ver o seu comportamento dinâmico; 4.º estabelecer uma escala de graduação da independência energética de um país; 5.º definir um valor *ideal* para k_t .

Sejam q_{nt} a quantidade de energia de origem nacional, q_{et} a quantidade de energia de origem externa, q_t a quantidade total de energia consumidas, D_{nt} e D_{et} as quotas de consumo das energias de origem nacional e de origem externa, respectivamente, r_k , r_n e r_e as taxas de crescimento do coeficiente de independência energética, das energias nacional e importada consumidas, respectivamente também, e t o período de tempo. As variáveis q_{nt} e q_{et} estão expressas em unidades físicas (teps ou múltiplos de teps). Por definição D_{nt} e D_{et} vêm, respectivamente, $D_{nt} = \frac{q_{nt}}{q_t}$ (34) e $D_{et} = \frac{q_{et}}{q_t}$ (35); a soma vem $D_{nt} = D_{et} = q_t$ (36).

O coeficiente de independência energética nacional, k_t , define-se como a razão entre as quotas-partes dos consumos energéticos satisfeitos pelas componentes nacional e importada $k_t = \frac{D_{nt}}{D_{et}}$ (37); substituindo o numerador de (37) por (34) e o denominador por (36), e simplificando, vem $k_t = \frac{q_{nt}/q_t}{q_{et}/q_t} = \frac{q_{nt}}{q_{et}}$ (37'); de (36) sai $D_{nt} = q_t - D_{et}$ (38), expressão que substituída na equação inicial (37) dá a k_t uma terceira expressão $k_t = \frac{q_t}{D_{et}}$ (39).

A maximização de k_t ocorre quando se substitui totalmente a energia importada por energia nacional enquanto a minimização ocorre quando a componente nacional é nula sendo toda a energia consumida de origem externa. Estes dois valores delimitam o campo de variação de k_t que vem assim dado pelo intervalo $[0 + \infty[$.

Contudo, o valor ideal de k_t resulta de uma solução de compromisso, embora com pouco interesse prático: a fixação de um valor unitário para esse coeficiente. Nesta situação, dado o facto de $k_t = \frac{D_{nt}}{D_{et}} = \frac{q_{nt}}{q_{et}} = 1$ então $q_{nt} = q_{et}$ ou $D_{nt} = D_{et}$.

O coeficiente pode ser dinamizado derivando (37') em ordem a t , procedendo desta forma obtém-se a velocidade a que progride (ou regride) a independência energética nacional: $\partial_k = \frac{\partial k_t}{\partial t} = \frac{\partial q_{nt}}{q_{et}} - k_t \cdot \frac{\partial q_{et}}{q_{et}}$ (40), resultado que dividido por k_t conduz à respectiva taxa de crescimento $r_k = \frac{\partial k_t / \partial t}{k_t} = r_n - r_e$ (41).

A expressão (41) permite concluir, seguindo a cadeia de raciocínio $r_k > 0 \Leftrightarrow \partial k_t / k_t = r_n - r_e > 0 \Rightarrow r_n > r_e$, que a independência energética nacional, aumenta com a elevação do consumo satisfeito pela componente nacional e ou com a redução da taxa de crescimento do consumo da energia importada, ou ainda que se k_t aumenta (diminui) isto significa que a componente interna desse consumo cresce mais (menos) do que a componente importada, circunstância que traduz uma melhoria (agravamento) em termos de independência energética nacional. Uma interpretação análoga se pode levar a cabo recorrendo à cadeia $r_k < 0 \Leftrightarrow \partial k_t / k_t = r_n - r_e < 0 \Rightarrow r_n < r_e$.

Postulando trajectórias exponenciais para as quotas-partes nacional e importada de energia e pondo $\gamma_{ne} = r_n - r_e$ e $\phi_{ne} = s_n / s_e$ o coeficiente k_t , vem dado

pela função $k_t = \phi_{rne} e^{\gamma_{ne} t}$ (42), função que é também igual a D_{nt}/D_{et} ; esta expressão pode, de alguma forma, associar-se a uma «função de substituição» de energia nacional por energia importada, e vice-versa.

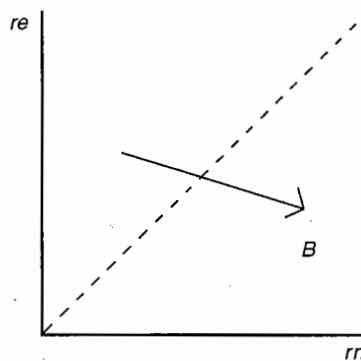
A interpretação da função (42) pode levar-se a cabo recorrendo ao seguinte quadro:

Se	Equivalente	Então a independência energética
$\gamma_{ne} < 0$	$r_n < 0$	Decresce.
$\gamma_{ne} > 0$	$r_n > 0$	Aumenta.
$\gamma_{ne} = 0$	$r_n = 0$	Mantém-se.

Independência energética — interpretação gráfica: Independentemente do coeficiente de independência encontrado podem definir-se no plano zonas que traduzem boas situações em termos de independência energética e zonas que traduzem más situações em termos dessa independência energética como se pode ver no gráfico n.º 2 que se construiu a partir da função (42) pondo r_n em abcissa e r_e em ordenadas:

GRÁFICO N.º 2

Zonas de dependência e de não dependência energética



Legenda

r_e — taxa de crescimento da energia importada.

r_n — taxa de crescimento da energia nacional.

Zona A: zona de dependência energética.

Zona B: zona de independência energética.

Interpretação. — Uma deslocação entre dois períodos diferentes do ponto (r_n, r_e) da zona superior para a zona inferior e da esquerda para a direita — como se mostra no diagrama — traduz uma melhoria, isto é, uma redução, em termos da dependência energética do exterior. Ao inverso, uma deslocação daquele par ordenado da zona inferior para a zona superior traduz um agravamento da dependência energética do país ou da região, consoante a unidade territorial em causa.

4.2 — Coeficiente de dependência

Fazendo uma enumeração dos objectivos deste coeficiente temos: 1.º estudar a dependência energética de um país em relação às fontes energéticas individualmente consideradas; 2.º estudar os limites dessa dependência e 3.º definir uma escala de graduação da mesma dependência.

Seja f_{it} a quantidade *ideal ou equitativa* ⁽¹⁵⁾ de energia a fornecer pela i -ésima fonte, d_{it} o desvio em relação a esses valores *equitativos* e φ_{it} o respectivo coeficiente de dependência de um país em relação a uma fonte energética i .

Se a situação do abastecimento energético fosse repartida de forma *equitativa* entre as s fontes, então cada uma delas forneceria igual quantidade de energia, quantidade que representamos por f_{it} ; nessas condições f_{it} vem dado por $f_{it} = \frac{q_t}{s}$ ($i = 1, 2, \dots, s$) (43); calculando os desvios entre q_{it} e f_{it} para obter d_{it} vem $d_{it} = q_{it} - f_{it}$ (44) ou $d_{it} = q_{it} - \frac{q_t}{s}$ (44'), equações que divididas agora por q_t conduzem ao coeficiente de dependência da i -ésima energia $\varphi_{it} = \frac{d_{it}}{q_t}$ (45); esta expressão pode escrever-se também como $\varphi_{it} = \frac{q_{it}}{q_t} - \frac{f_{it}}{q_t}$ (45'), ou como $\varphi_{it} = R_{it} - \frac{1}{s}$ (45''), ou ainda como $\varphi_{it} = \frac{q_{it}}{q_t} - \frac{1}{s}$ (45''').

A soma dos s coeficientes de dependência vem nula porquanto

$$\sum_{i=1}^s \varphi_{it} = \sum_{i=1}^s \left(R_{it} - \frac{1}{s} \right) = \sum_{i=1}^s \frac{q_{it}}{q_t} - \frac{s}{s} = 1 - 1 = 0.$$

Para calcular o valor mínimo de φ_{it} vamos fazer $\min \varphi_{it} = \min \left(R_{it} - \frac{1}{s} \right) = \min R_{it} - \frac{1}{s} = \min \frac{q_{it}}{q_t} - \frac{1}{s} = 0 - \frac{1}{s} = -\frac{1}{s}$; este mínimo ocorre quando uma fonte i não tem qualquer implantação no mercado; para deduzir o seu máximo vamos fazer $\max \varphi_{it} = \max \left(R_{it} - \frac{1}{s} \right) = \max R_{it} - \frac{1}{s} = \max \frac{q_{it}}{q_t} - \frac{1}{s} = 1 - \frac{1}{s} = \frac{s-1}{s}$; esta situação ocorre quando uma fonte energética preenche integralmente todas as necessidades energéticas; daqui se depreende que o campo de variação de φ_{it} vem $[-1/s, (s-1)/s]$ para cada i .

A seguinte cadeia dedutiva $\varphi_{it} < 0$ (resp. $\varphi_{it} > 0$) $\Leftrightarrow \varphi_{it} = R_{it} - \frac{1}{s} < 0 \Rightarrow R_{it} < \frac{1}{s}$, (resp. $\varphi_{it} = R_{it} - \frac{1}{s} > 0 \Rightarrow R_{it} > \frac{1}{s}$) permite escrever o esquema interpretativo *infra*:

- 1) Se $\varphi_{it} < 0$ então $R_{it} < 1/s$ o que traduz *atrofiamento* da energia i .
- 2) Se $\varphi_{it} > 0$ então $R_{it} > 1/s$ o que traduz *sobreimplantação* da energia i .
- 3) Se $\varphi_{it} = 0$ então $R_{it} = 1/s$ o que traduz uma situação *ideal* ou *equitativa*.

⁽¹⁵⁾ Equitativa ou ideal uma situação teórica em que não há hegemonia de uma fonte energética em relação a cada uma das restantes, isto é, em que o peso dos vários combustíveis é uniforme.

Avança-se desde já a seguinte *escala de graduação* ou de *classificação* da dependência de uma economia em relação a cada fonte energética *i*:

- a) Se $-1/s \leq \varphi_{it} = 0$ então dizemos que há *dependência moderada*;
- b) Se $\varphi_{it} \approx 0$ então dizemos que há *dependência regular ou equilibrada*;
- c) Se $0 < \varphi_{it} \leq \frac{s-2}{2s}$ então chamamos esta situação de *grande dependência*;
- d) Se $\frac{s-2}{2s} < \varphi_{it} \leq \frac{s-1}{s}$ então dizemos que se trata de uma situação de *dependência elevada*.

Para dinamizar o coeficiente de dependência vamos partir da seguinte expressão $\varphi_{it} = \frac{q_{it}}{q_t} - \frac{1}{s}$, expressão que, aplicando derivadas em ordem a *t*, conduz a $\frac{\partial}{\partial t} \varphi_{it} = \frac{\partial(q_{it}/q_t)}{\partial t} = \frac{\partial q_{it}}{q_t} - \frac{q_{it}}{q_t} \cdot \frac{\partial q_t}{q_t} = g_i - R_{it} r$ (46); esta expressão explica a velocidade a que progride a dependência energética face a uma energia pela trajectória do indicador de progressão dessa mesma forma de energia e ainda, embora negativamente, pela trajectória seguida pela taxa de crescimento da energia global multiplicada pela sua quota parte.

4.3 — Índice de dependência

Há um paralelismo praticamente total entre o coeficiente que acabamos de estudar e o índice de dependência de uma forma de energia que vamos ver em seguida. Ambos são parte da mesma realidade mas vistos por prismas algo diferentes.

Dividindo o consumo energético efectivo, q_{it} , pelo seu valor ideal ou teórico, f_{it} , e representando o resultado por λ_{it} , vem $\lambda_{it} = \frac{q_{it}}{f_{it}} = \frac{q_{it}}{q_{it/s}} = q_{it} \cdot \frac{s}{q_t}$ (47), mas tendo em atenção a expressão de R_{it} , vem também $\lambda_{it} = s \cdot \frac{q_{it}}{q_t} = s \cdot R_{it}$ (47').

As equações múltiplas (47) e (47') dão-nos assim várias expressões para o índice de dependência da economia em relação a uma forma *i* de energia.

Somados os *s* índices de dependência obtém-se exactamente *s* uma vez que $\sum_{i=1}^s \lambda_{it} = \sum_{i=1}^s R_{it} \cdot s = s \cdot \sum_{i=1}^s \frac{q_{it}}{q_t} = s$ (48).

Deixamos a seguinte escala de graduação da dependência:

Se	Classificação da dependência
$0 \leq \lambda_{it} < 1$ $\lambda_{it} = 1$ $1 < \lambda_{it} \leq s/2$ $s/1 < \lambda_{it} \leq s$	Nula ou fraca. Normal ou média. Grande. Elevada.

Em teoria cada um dos s índices varia entre o valor 0 %, situação em que nada se consome dessa fonte energética, e $s \times 100$ %, situação em que há uma única forma energética a fornecer o mercado.

Uma expressão para a velocidade a que cresce (decrece) o índice deduz-se derivando (47') em ordem a t $\frac{\partial \lambda_{it}}{\partial t} = s \cdot \frac{\partial(q_{it}/q_t)}{\partial t} = s \cdot \frac{q_t \partial q_{it} - q_{it} \partial q_t}{q_t^2} = s \cdot (g_i - R_{it} \cdot r)$ (49). Por esta expressão se vê que esta velocidade se obtém multiplicando o número de fontes alternativas pela diferença entre a velocidade de progressão dessa energia e o produto da quota-parte dessa energia pela taxa de crescimento da energia consumida, em volume.

Aplicando derivadas logarítmicas a (47') vêm sucessivamente as equações seguintes $\ln \lambda_{it} = \ln s + \ln R_{it} = \ln s + \ln q_{it} - \ln q_t$ e $\frac{\partial \lambda_{it}}{\lambda_{it}} = \frac{\partial R_{it}}{R_{it}} = r_i$ ($i = 1, 2, \dots, s$) (50): a taxa de crescimento da dependência da i -ésima energia é igual à taxa a que evolui a quota-parte dessa mesma forma energética, sendo ainda igual a $\frac{\partial \lambda_{it}}{\lambda_{it}} = \frac{\partial q_{it}}{q_{it}} - \frac{\partial q_t}{q_t} = r_i^* - r$ ($i = 1, 2, \dots, s$) (50'), expressão que garante que a dependência da economia em relação a uma forma de energia evolui segundo uma taxa que é determinada por duas: a da quantidade de energia consumida com sinal (+) mais e a da energia global consumida com sinal (-) menos.

4.4 — Coeficiente de dependência versus índice de dependência

Há logicamente uma grande interligação entre o coeficiente de dependência energética (ϕ_{it}) e o índice de dependência energética (λ_{it}): de facto substituindo na expressão de λ_{it} dada por (47') R_{it} pelo seu valor vem novamente a expressão (45).

No caso em que temos dependência nula ou fraca da economia em relação à forma de energia i , $0 \leq \lambda_{it} < 1$, mas substituindo λ_{it} por sR_{it} , vem $0 \leq sR_{it} < 1$, donde $0 \leq s \left(\phi_{it} + \frac{1}{s} \right) < 1$, e daqui resolvendo em ordem a ϕ_{it} vem $-1/s \leq \phi_{it} < 0$, resultado que já havia sido referido ao estudar o coeficiente de dependência.

Procedendo assim preenche-se o quadro seguinte que prova a interligação entre o referido coeficiente e o índice de dependência:

Coeficiente de dependência	Equivalente	Índice de dependência	Classificação da dependência
$0 \leq \lambda_{it} < 1$	Equivalente a	$-1/s \leq \phi_{it} < 0$	Fraca ou nula.
$1 \leq \lambda_{it} < s/2$	Equivalente a	$0 \leq \phi_{it} < 1/2$	Grande.
$s/2 \leq \lambda_{it} \leq s$	Equivalente a	$-\frac{s-2}{2s} \leq \phi_{it} \leq \frac{s-2}{2s}$	Elevada.

4.5 — Coeficiente de dependência energética total

O coeficiente de dependência energética total tem os seguintes objectivos:
1.º definir analiticamente um coeficiente único para calcular a dependência

energética global da economia; 2.º calcular o seu campo de variação; 3.º definir uma escala de graduação; e 4.º apreciar o comportamento dinâmico desse coeficiente.

Este coeficiente, que vamos passar a representar por ψ_t , tem em atenção os valores dos coeficientes de dependência de cada uma das formas de energia utilizadas num país e é definido pela seguinte expressão $\psi_t = \sum_{i=1}^s \varphi_{it}^2$ (51).

Assim o coeficiente de dependência global é função dos valores que os coeficientes de dependência individuais tomam, independentemente de os seus valores serem altos ou baixos.

O valor mínimo que este coeficiente pode tomar é 0, quando a repartição efectiva pelos diferentes combustíveis coincide com a *ideal*, o valor máximo (teórico) é $(s-1)/s$, quando cada uma das componentes toma valores extremos, sendo tanto maior quanto mais a repartição efectiva se afastar da repartição perfeita.

Atravemo-nos a propôr a seguinte escala de graduação ou de classificação da dependência energética global:

Coeficiente	Classificação
$0 \leq \psi_t \leq \frac{s-1}{3s}$	Dependência moderada.
$\frac{s-1}{3s} < \psi_t \leq \frac{2(s-1)}{3s}$	Dependência média.
$\frac{2(s-1)}{3s} < \psi_t \leq \frac{s-1}{s}$	Dependência elevada.

Para dinamizarmos este coeficiente vamos derivar (51) em ordem a t ,

operação que conduz a $\frac{\partial \psi_t}{\partial t} = \frac{\partial \sum_{i=1}^s \varphi_{it}^2}{\partial t} = 2 \sum_{i=1}^s \varphi_{it} \frac{\partial \varphi_{it}}{\partial t} = 2 \cdot \sum_{i=1}^s \varphi_{it} (g_i - r \cdot R_{it})$ (52); esta

expressão explica a evolução temporal da dependência global pondo em relevo os coeficientes de dependência, as velocidades de progressão e as próprias quotas físicas de mercado das s fontes energéticas consideradas e ainda a taxa de crescimento global do consumo físico de energia.

4.6 — Coeficiente de não vulnerabilidade energética

São três os objectivos perseguidos com este coeficiente: 1.º definição de uma medida ou indicador que permita ter na devida conta a questão da diversificação das fontes energéticas atendendo a que esse tema se prende com a questão da independência energética nacional e ainda com a questão da dependência de uma ou mais formas energéticas; 2.º definição do seu campo de variação; e 3.º apreciação da forma como evolui no tempo este coeficiente, e

da forma como verificar que aumentando o seu valor se reduz a vulnerabilidade energética de um país uma vez que aumentando as fontes abastecedoras se fica menos subordinado a crises energéticas de um combustível individualmente considerado.

Com esses objectivos em mente vamos representar o coeficiente proposto por ϕ_t e defini-lo através da expressão seguinte $\phi_t = \frac{s}{\psi_t}$ (53); este indicador, atendendo a (51), pode ainda escrever-se $\phi_t = s / \sum_{i=1}^s \phi_{it}^2$ (53').

O valor mínimo do coeficiente de não vulnerabilidade ou de diversidade atinge-se quando ψ_t é máximo, ou seja, quando $\psi_t = (s-1)/s$, o que dá para ϕ_t o valor $\min \phi_t = \frac{s}{\max \psi_t} = \frac{s}{(s-1)/s} = \frac{s^2}{(s-1)}$ e o valor máximo daquele coeficiente ocorre quando o coeficiente de dependência global atinge o seu ponto mínimo, ou seja, quando $\psi_t = 0$, o que dá para valor de ϕ_t , $\max \phi_t = \frac{s}{\min \psi_t} = \frac{s}{0} = +\infty$. Assim, quando $s = 3$ o valor do coeficiente de diversidade oscila entre $9/2 = 4,5$ e $+\infty$, quando $s = 4$ oscila entre $16/3 = 5,333$ e $+\infty$, e quando $s = 5$ entre $25/4 = 6,25$ e $+\infty$.

Da simples análise da expressão do coeficiente de diversidade pode afirmar-se que este coeficiente não é mais do que s vezes o inverso do coeficiente de dependência global.

Para dinamizar o coeficiente vamos primeiro aplicar logaritmos neperianos à expressão (53), operação que conduz a $\ln \phi_t = \ln s - \ln \psi_t$ e depois derivar em ordem a t , de forma a obter $\frac{\partial \phi_t}{\phi_t} = -\frac{\partial \psi_t}{\psi_t}$ (54). O coeficiente de não vulnerabilidade evolui segundo uma taxa que pode ser encontrada (ou pode ser aproximada) pelo simétrico da taxa de crescimento do coeficiente de dependência global, podendo-se concluir daqui que a não vulnerabilidade oscila em sentido inverso ao da dependência global.

Aplicando logaritmos a (53') é-se ainda conduzido a $\ln \phi_t = \ln s - \ln \left(\sum_{i=1}^s \phi_{it}^2 \right)$,

razão pela qual uma nova expressão para a taxa de crescimento do coeficiente de não vulnerabilidade se pode ainda obter pelo seguinte processo dedutivo:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \phi_t}{\phi_t} &= -\frac{2}{\sum \phi_{it}^2} \cdot \frac{\sum \phi_{it} \partial \phi_{it}}{\partial t} = -\frac{2 \sum \phi_{it} \partial \phi_{it}}{\sum \phi_{it}^2} = -\frac{2 \sum \partial \phi_{it}}{\sum \phi_{it}^2} \cdot (g_j - r \cdot R_{it}) = \\ &= -\frac{2}{\psi_t} \cdot \sum \phi_{it} \cdot (g_j - r \cdot R_{it}) \end{aligned} \quad (55)$$

A cadeia (55) mostra que o dobro do produto do somatório não é outro senão a velocidade de crescimento da dependência energética total definida por (51), e que, uma vez substituindo esse produto em (55), se encontra novamente (54).

Vê-se das medidas apresentadas que quanto maior for a dependência energética global do país maior é a sua vulnerabilidade energética, para o mesmo número de fontes alternativas.

De referir apenas mais um apontamento, importante, ainda enquadrado na secção «Medidas relacionadas com a dependência», acerca do valor dos últimos coeficientes e índices propostos pela nossa metodologia, e ainda dos resultados que com esta metodologia podem ser encontrados. O seu valor não é logicamente universal ou absoluto, antes preferimos dizer que ele é *relativo* porque a situação *ideal* ou *equitativa*, em termos energéticos, nem sempre é a por nós considerada e que conduz à divisão proporcional ao número de fontes do bolo energético de uma forma igual pelas *s* fontes energéticas presentes no mercado, (q_t/s), pois que ela depende da situação particular de cada país ou região, em particular, de questões como a segurança dos abastecimentos, de questões estratégicas, de questões como a disponibilidade de divisas, e, sobretudo, da quantidade e qualidade dos seus recursos energéticos. Esta questão dos recursos energéticos é, aliás, determinante na maior parte das situações. É evidente que a situação *ideal* para um país é aquela que melhor gere o binómio recursos-necessidades do país, podendo aceitar-se como situação *ideal* e até como situação associada a uma boa gestão dos recursos de um país, uma situação que utilize intensamente os recursos nacionais desse país, contexto que conduz, necessariamente, a grandes coeficientes/índices de dependência energética dessas fontes, desde que o país em causa disponha de abundantes recursos dessas energias.

Também a escala de graduação da dependência energética total (de um país) apresentada tem algo de arbitrário. Não tendo outro tipo de referências achamos que é útil dispor de uma escala como a que acabamos de propor.

Como último apontamento acrescenta-se que a referência Manso (1996) faz também uma incursão pelo *caso valorado* ⁽¹⁶⁾ — caso em que se entra em linha de conta com o factor preço e indica ainda a metodologia a seguir para integrar na análise os diversos componentes desses preços.

5 — A questão da aferição da validade da metodologia proposta

A questão da aferição da validade da metodologia exposta tem que ver com a validade das medidas/indicadores propostos, ou antes, dos resultados encontrados após uma aplicação empírica, porque, uma metodologia teórica que produz bons resultados empíricos é, certamente, uma boa metodologia. São três os prismas que sugerimos para aferir a validade da metodologia proposta:

1.º *Qualitativo ou de aferição da qualidade dos resultados*: para levar a cabo esta tarefa é indispensável dispor de resultados equivalentes para os mesmos indicadores ou medidas para Portugal ou para outros países, resultados esses obtidos seja com a mesma metodologia seja com metodologias alternativas. Ora acontece que neste caso, o carácter original da metodologia aqui desenvolvida faz com que, a existirem resultados equivalentes, eles tivessem que ter sido obtidos por outras vias; mais uma vez essa comparação não é possível por não existirem aplicações do género das levadas a cabo na área

(16) Como já se referiu anteriormente trata-se de uma expressão que significa que as variáveis estão expressas em valores monetários.

interdisciplinar que é a da economia de energia em que nos posicionamos. Assim sendo, esse tipo de conferência não pode ser feito, a não ser *a posteriori*, quando nós, ou outras pessoas, tivermos (tiverem) aplicado esta metodologia a diversos países.

2.º *Estatístico ou de aferição estatística dos resultados*: esta aferição já pode ser feita; não pelo cálculo de um coeficiente/indicador global que depois de bem delimitado no seu campo de acção permitisse ver em que local do *ranking* (intervalo de variação ou escala de graduação) cairia um determinado país, porque não existe tal medida padrão, mas porque vários dos indicadores recorrem a técnicas econométricas — como taxas de crescimento que utilizam regressões exponenciais e elasticidades que utilizam regressões parabólicas — para obterem resultados parcelares, e os resultados econométricos vêm sempre acompanhados de indicadores que permitem validar ou não os resultados encontrados. Estão neste caso:

- a) Os *coeficientes de correlação/determinação* que nos permitem conhecer com grande exactidão a proporção da variação das variáveis dependentes de um modelo explicadas pelas variáveis exógenas ou explicativas. Estes mesmos coeficientes permitem-nos testar a significância global das regressões individuais efectuadas.
- b) A hipótese de conhecimento de *coeficientes de correlação parciais* em regressões múltiplas permite-nos também, eventualmente, eliminar variáveis «explicativas» que afinal pouco significado estatístico têm no âmbito em causa, podendo-se, assim, fazer uma primeira triagem que de alguma forma pode valorizar a aplicação empírica levada a cabo na medida em que permite seleccionar as variáveis fundamentais para explicar o fenómeno.
- c) Os *desvios padrões* associados aos parâmetros permitem-nos ainda apreciar a maior ou menor variabilidade estatística dos parâmetros estimados e inclusivamente testar a sua significância estatística.

3.º *Alcance da metodologia*: é fácil verificar, até pela resenha feita na introdução a este artigo, que a questão da substituição interenergética pouco tem sido estudada; contudo, embora com alcance bastante mais limitada do que a por nós desenvolvida, há alguns pontos de contacto com outras metodologias, nomeadamente com a investigada na já referida instituição gaulesa, e, nessas condições, podem levar-se a cabo comparações através da aplicação daquelas metodologias aos mesmos dados a que nós aplicamos a nossa, possibilitando-se, assim, a averiguação da bondade do método proposto através dos resultados encontrados.

Conclusões

A metodologia de análise que aqui se deixa explanada aplicada a um contexto muito específico do saber — o campo da economia de energia — mantém a sua validade em vários outros domínios; de entre eles poderemos referir a sua utilização para estudar fenómenos de transferência de votos num

contexto eleitoral, fenómenos de transferências de capitais, fenómenos de exportação e importação física de mercadorias, seja entre regiões seja entre países, e fenómenos relacionados com o tráfego de veículos, de passageiros, com vias e meios concorrentes, para só referir alguns.

A metodologia proposta foi aplicada ao caso *não valorado* português, usando como *inputs*: os *consumos de energia primária* repartidos por quatro categorias: o carvão, o petróleo, a electricidade e um agregado a que chamamos *outros combustíveis* que engloba, entre outros, lenha, resíduos industriais e gás de alto forno; os *consumos finais* de energia dos sectores industrial, transportes, doméstico e serviços desdobrados ainda pelas mesmas formas de energia; neste caso os *outros combustíveis*, a que já fizemos referência, incluem ainda gás de coque e gás de cidade.

O fundamental da base de dados foi extraído de diversos números da revista *Informação-Energia*, da Direcção-Geral de Energia.

As conclusões extraídas foram as seguintes:

- 1.º Confirmação, por comparação das taxas de crescimento no curto e no longo prazos, de uma das nossas teses: a de que as reacções no mercado energético no *longo prazo são mais vigorosas do que as reacções no curto prazo*;
- 2.º Confirmação de outra das nossas teses que afirmava que o modelo exponencial é a forma analítica da tendência *de longo prazo* que melhor se adequa à realidade energética portuguesa;
- 3.º Resultados estatísticos, no geral, *estatisticamente significativos*;
- 4.º Apesar de o petróleo ser responsável por cerca de 75 % dos fornecimentos energéticos primários (a que se segue o carvão com um valor médio de cerca de 11 %, os *outros combustíveis* e a electricidade ambos com 7 %), os *indicadores/coeficientes de progressão* ou de penetração garantem que foi o carvão o combustível *ganhador líquido* durante os últimos 14 anos do período (taxas *de longo/curto prazos* de 17,4 %/16 % ao ano) tendo o petróleo, a electricidade e os *outros combustíveis* sido *perdedores líquidos*;
- 5.º Na indústria foi o carvão o combustível mais dinâmico (com maior penetração), tendo o petróleo regredido também neste mercado;
- 6.º No sector doméstico foi o carvão o grande *perdedor líquido* e apenas a electricidade foi *ganhadora líquida*;
- 7.º Nos serviços a electricidade é *ganhadora líquida* sendo *perdedores líquidos* todos os restantes combustíveis, e sobretudo o carvão;
- 8.º Ainda em termos de energia final os mesmos indicadores revelam que o carvão, sobretudo, mas também a electricidade, *penetraram efectivamente* no mercado global ao contrário dos *outros combustíveis*;
- 9.º A nível sectorial e em termos de energia final para a indústria apenas o petróleo foi *perdedor líquido* continuando o carvão a ser o grande *ganhador líquido*; nos sectores doméstico e dos serviços apenas a electricidade foi *ganhadora líquida*;
- 10.º *Coeficientes e índices de amplitude*: os combustíveis que maiores variações tiveram foram o carvão, o petróleo, os *outros combustíveis* e a electricidade;

- 11.º Em termos de energia final as oscilações foram diminutas com variações positivas nos transportes e serviços e negativas na indústria e no sector doméstico;
- 12.º A nível *intra-sectorial* temos: na indústria foi o petróleo o responsável pelas maiores movimentações; no sector doméstico foi primeiro o petróleo, depois a electricidade e depois os *outros combustíveis*; nos serviços foram a electricidade, o petróleo e os *outros combustíveis*;
- 13.º *Coefficiente de substituição*: este coeficiente demonstra substituição *efectiva* de todos os combustíveis tomados conjuntamente por carvão, substituição *efectiva* de petróleo pelo bolo dos restantes combustíveis, substituição *real* de electricidade pelo conjunto dos restantes combustíveis, substituição *efectiva* dos outros combustíveis, designadamente os não comerciais, pelo agregado dos restantes;
- 14.º Em termos de energia final na indústria o carvão *substituiu* os restantes combustíveis, os *outros combustíveis* também, enquanto o petróleo *foi substituído*; a nível doméstico foram substituídos o carvão, o petróleo e os *outros combustíveis* tendo sido substituída a electricidade; nos serviços foi também a electricidade a substituída;
- 15.º *Substituição aparente*: em termos de energia primária a maior *substituição aparente* ocorreu nos binómios carvão-*outros combustíveis*, seguindo-se o carvão-petróleo, a electricidade-*outros combustíveis*, a electricidade-petróleo e o carvão-electricidade;
- 16.º Em termos de consumos finais o binómio que verificou maior *substituição aparente* foi o carvão-petróleo, seguindo-se depois o carvão-electricidade; ao nível da indústria o binómio em que houve maior *substituição aparente* foi o carvão-electricidade seguindo-se o carvão-*outros combustíveis*; no sector doméstico foram os binómios carvão-petróleo, carvão-*outros combustíveis* e carvão-electricidade; nos serviços foram o carvão-petróleo e o carvão electricidade;
- 17.º *Ritmos ou cadências de substituição* — consumos primários: passaram os 17 % ao ano, *no curto prazo*, o *ritmo de substituição* de petróleo por carvão, de electricidade por carvão e os *outros combustíveis* por carvão;
- 18.º *Coefficiente de independência energética nacional*: a dependência energética portuguesa agravou-se coincidindo praticamente com a nossa entrada na CEE/UE; os combustíveis de origem nacional ficaram-se entre os 9 % e os 17 % das nossas necessidades energéticas;
- 19.º *Coefficiente de dependência de uma fonte energética*: os valores encontrados revelam demasiada dependência de um só combustível, o petróleo, como era, aliás, de esperar, e dependência a menos em relação ao carvão, à electricidade e aos *outros combustíveis*;

- 20.º A mesma conclusão se tira a partir dos *índices de dependência* de uma forma de energia: para um valor *desejável* de 100 o petróleo atingiu cerca de 301 e os restantes combustíveis ficaram-se entre os 27 e os 43;
- 21.º Os valores encontrados permitem-nos classificar a *dependência* em relação ao petróleo de *elevada* e de *fraca* em relação aos outros três combustíveis;
- 22.º *Coefficiente de dependência energética global*: o coeficiente de dependência energética global encontrado permite-nos classificar a *dependência energética* como *média*, sendo desejável que ela fosse moderada; a dinamização deste coeficiente permitiu concluir que a *dependência global se tem vindo a reduzir* à razão de 3,4 % ao ano; 23.º *coeficiente de não vulnerabilidade energética*: concordantemente com a conclusão extraída a propósito do coeficiente de dependência global este indicador permite-nos concluir que a *vulnerabilidade energética nacional é elevada*, tendo-se, no entanto, vindo a reduzir ao longo dos 14 anos do estudo também à taxa média de 3,4 % ao ano.

Para encerrar estas considerações podemos dizer que, pelos reflexos positivos sobre os indicadores propostos e logicamente sobre a economia nacional, são bem-vindas as medidas de política energética que contribuam para reduzir a dependência em relação ao petróleo; que contribuam para elevar a nossa dependência em relação ao carvão, à electricidade e aos *outros combustíveis*; que conduzam a economias de energia; que contribuam para introduzir novos combustíveis no mercado — caso do gás natural, um combustível dito «limpo» pelas suas capacidades não poluidoras.

BIBLIOGRAFIA

- BAUDET, B. A., «Effects des Prix Rélatifs sur les Substitutions entre Énergies», in Fericelli, J., e Lésourd, J.-B. (eds.), *Energie: Modélisation et Econométrie*, Economica, Paris, pp. 634-645, 1985.
- BERNDT, E., e WOOD, D., «Technology, Prices and the Derived Demand for Energy», *Review of Economics and Statistics*, 57, 2, 8/1975, pp. 259-268, 1975.
- «Technical Change, Tax Policy and the Derived Demand for Energy», *mimeo*, MIT, Energy Laboratory, 8/1975.
- «Engineering and Econometric Interpretation of Energy-Capital Complementarity», *American Economic Review*, 69, 6/1979, pp. 342-354, 1979
- «The Specification and Measurement of Technical Change in the U. S. Manufacturing», in John R. Moroney (ed.), *Advances in the Economics of Energy and Resources*, vol. 4, Greenwich, Connecticut, JAI Press, c 7, 1982
- «Concavity and the Specification of Technical Progress in U. S. Manufacturing», in Fericelli, J., e Lésourd, J.-B. (eds.) (1985), *Energie: Modélisation et Econométrie*, Economica, Paris, 1985.
- «Interindustry Differences in the Effects of Energy Price-Induced Capital Utilization Changes on Multifactor Productivity Measurement» in Moroney, John R. (ed.), *Advances in the Economics of Energy and Resources*, vol. 6, Greenwich, Connecticut, JAI Press Inc, 1987.
- FERICELLI, J., e LÉSOURD, J.-B. (eds.), *Energie: Modélisation et Econométrie*, Economica, Paris, 1985.
- GRIFFIN, J. M., e GREGORY, P. R., «An Intercountry Translog Model of Energy Substitution Responses», *American Economic Review*, v. 66 (ou 69), 12/1976, pp. 845-851, 1976.
- LÉSOURD, J.-B., «L'Energie et les Substitutions entre Facteurs de Production — Etude Théorique et Vérification Empirique sur des Exemples Tirés de l'Economie Française», tese de Estado, Grenoble, 1981
- *Energie et Substitutions entre Facteurs de Production*, Presses Universitaires de Grenoble, 1984.
- MANSO, J. R. Pires, «A Substituição entre Factores na Economia Portuguesa — Uma Aplicação da Função Translog considerando a Energia como Factor Autónomo», tese de mestrado, ISEG/UTL, 1991.
- «A Dinâmica Estrutural e a Substituição Interfatorial e Interenergética», tese de doutoramento, ISEG/UTL, 1996.
- PASINETTI, Luigi L., *Structural Economic Dynamics — A Theory of the Economic Consequences of Human Learning*, Cambridge University Press, 1993.
- PERCEBOIS, J., *Economie de l'Énergie*, Economica, Paris, 1989.
- PINDIJK, R. S. (1979), «Interfuel Substitution and the Industrial Demand for Energy: an International Comparison», *Review of Economics and Statistics*, 5/1979 (ou *Review of Economic Studies*, 61, n.º 2).

Nota. — Para uma consulta mais pormenorizada da bibliografia completa que esteve na base do desenvolvimento da metodologia de análise proposta v. a referência Manso (1996) de onde esta foi retirada.

