

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**  
**PROGRAMA INTERUNIDADES DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENERGIA**  
**PIPGE – EP/FEA/IEE/IF**

**ENERGIA E DESENVOLVIMENTO CAPITALISTA: O DEBATE EM  
TORNO DAS POLÍTICAS DE EFICIENTIZAÇÃO.**

**Nilton Bispo Amado**  
**Orientador: Prof. Dr. Murilo Tadeu Werneck Fagá**

**São Paulo**

**2005**

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**  
**PROGRAMA INTERUNIDADES DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENERGIA**  
**PIPGE – EP/FEA/IEE/IF**

**ENERGIA E DESENVOLVIMENTO CAPITALISTA: O DEBATE EM  
TORNO DAS POLÍTICAS DE EFICIENTIZAÇÃO.**

Dissertação apresentada ao Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia – Instituto de Eletrotécnica e Energia / Escola Politécnica / Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade / Instituto de Física – da Universidade de São Paulo como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Energia.

**Nilton Bispo Amado**

**Orientador: Prof. Dr. Murilo Tadeu Werneck Fagá**

**São Paulo**

**2005**

**AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE .**

### **FICHA CATALOGRÁFICA**

Amado, Nilton Bispo.

Energia e desenvolvimento capitalista : o debate em torno das políticas de efficientização./ Nilton Bispo Amado orientador Murilo Tadeu Werneck Fagá. – São Paulo, 2005.

171p. : il.; 30cm.

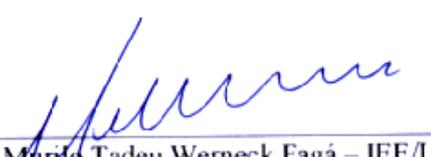
Dissertação (Mestrado – Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia) – EP / FEA / IEE / IF da Universidade de São Paulo.

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**  
**PROGRAMA INTERUNIDADES DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENERGIA**  
**EP – FEA – IEE - IF**

**NILTON BISPO AMADO**

***“Energia e desenvolvimento capitalista: o debate em torno das  
políticas de eficiência”***

Dissertação defendida e aprovada em 28/11/2005 pela Comissão Julgadora:



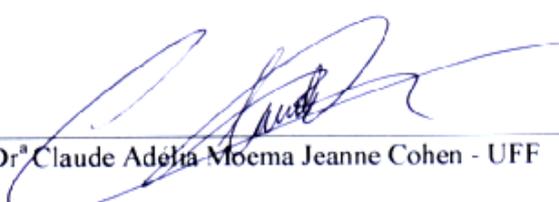
---

Prof. Dr. Mário Tadeu Werneck Fagá – IEE/USP  
Orientador e Presidente da Comissão Julgadora



---

Prof. Dr. Sinclair Mallet Guy-Guerra - UNICAMP



---

Prof. Dr. Claude Adéla Moema Jeanne Cohen - UFF

## **Dedicatória**

*À minha mãe e ao meu pai, raízes da liberdade, que inculcaram em mim o gosto por novas buscas.*

## **Agradecimentos**

Em nome da segurança, frequentemente se deixa de descobrir o novo. Nesta dissertação, foi fundamental o apoio e a orientação do Prof. Dr. Murilo Tadeu Werneck Fagá, que me trouxe à Terra quando as especulações perdiam-se em si mesmas e me incentivou quando estas podiam transformar-se numa nova forma de diálogo com a realidade. Meus sinceros agradecimentos, pela orientação e generosidade.

E por falar em diálogo, agradeço ao Prof. Dr. Sinclair M. Guy Guerra pelas divergências e concordâncias evidenciadas nas inúmeras conversas que tivemos. É sobretudo admirável sua visão humanista sobre a natureza do conhecimento.

Aos demais professores do Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia, em especial ao Prof. Dr. Célio Bermann, cujos comentários feitos na banca de qualificação foram fundamentais para que o trabalho fosse realizado de modo a se tornar um projeto viável.

À Professora Claude Cohen, por poder contar com sua valiosa contribuição neste trabalho.

A todos os colegas, por criarem um ambiente aberto a discussões e pela ajuda constante. Enfim, por todas aquelas pequenas coisas que fazem muita diferença, desde uma conversa descontraída até a ajuda nos segredos do Office.

Meus agradecimentos a Arlindo Kamymura, cuja proposta de modelamento me levou, por caminhos bastante diferentes dos que eu inicialmente imaginara, ao modelo desenvolvido no Capítulo 6.

A todas as pessoas que garantem a estrutura para que as coisas possam funcionar. Embora nosso desconhecimento a respeito desta estrutura não permita que sejamos justos nos agradecimentos, cabe mencionar algumas. Agradeço ao Júlio César Teodoro, pela ajuda em vários momentos. Às secretárias Aparecida Rosa de Souza Tarábola e Adriana F. Pelege. Às bibliotecárias Maria de Fátima A. Mochizuki, Maria Penha de Silva Oliveira, Maria de Lourdes Montrezól, e também às demais pessoas que trabalharam e trabalham na biblioteca.

À CAPES, pela concessão da bolsa de estudos, sem a qual este trabalho não seria possível.

## ÍNDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>O DEBATE EM TORNO DAS POLÍTICAS DE EFICIENTIZAÇÃO.....</b>	<b>11</b>
2.1	A CONTROVÉRSIA NA ENERGY POLICY .....	11
2.2	UM BREVE HISTÓRICO SOBRE O EFEITO BUMERANGUE .....	12
2.3	BROOKES X GRUBB .....	28
2.4	COMENTÁRIOS SOBRE A LITERATURA RELATIVA AO EFEITO BUMERANGUE .....	32
<b>3</b>	<b>A POSIÇÃO DE BROOKES .....</b>	<b>34</b>
3.1	O EMPIRISMO DE SCHURR .....	41
<b>4</b>	<b>A POSIÇÃO DE SCHIPPER E GRUBB.....</b>	<b>48</b>
4.1	APARATO CONCEITUAL E METODOLÓGICO .....	49
4.2	ANÁLISE EMPÍRICA.....	54
4.2.1	<i>O setor residencial.....</i>	<i>55</i>
4.2.2	<i>O setor industrial.....</i>	<i>58</i>
4.2.3	<i>O setor de serviços .....</i>	<i>62</i>
4.2.4	<i>O setor de transporte.....</i>	<i>64</i>
4.2.5	<i>Mudanças estruturais e uso da energia.....</i>	<i>64</i>
4.3	O EMPIRISMO DE WILLIAMS, LARSON E ROSS .....	67
<b>5</b>	<b>ANÁLISE CRÍTICA DO DISSENSO ENTRE BROOKES (2000) E SCHIPPER E GRUBB (2000).....</b>	<b>80</b>
5.1	RESULTADOS DE SCHIPPER E GRUBB (2000) E PERTINÊNCIA DAS POLÍTICAS DE EFICIENTIZAÇÃO.....	80
5.2	LIMITES DA METODOLOGIA DE USOS FINAIS .....	85
5.3	IMPLICAÇÕES DO ESTUDO DE SCHIPPER E GRUBB (2000) .....	98
<b>6</b>	<b>UMA ANÁLISE DAS CONSEQUÊNCIAS DA EFICIENTIZAÇÃO.....</b>	<b>102</b>
6.1	DISCUSSÃO A PARTIR DOS RESULTADOS OBTIDOS .....	116
<b>7</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>124</b>
<b>8</b>	<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>129</b>
<b>9</b>	<b>APÊNDICE 1: DEFINIÇÕES UTILIZADAS NO TRABALHO EMPÍRICO DE SCHURR.....</b>	<b>135</b>
<b>10</b>	<b>APÊNDICE 2: TABELAS REFERENTES À APLICAÇÃO DA ANÁLISE EMPÍRICA PARA ENERGIA FINAL.....</b>	<b>137</b>
<b>11</b>	<b>APÊNDICE 3: TABELAS REFERENTES À APLICAÇÃO DA ANÁLISE EMPÍRICA PARA ENERGIA PRIMÁRIA.....</b>	<b>153</b>
<b>12</b>	<b>APÊNDICE 4: TABELAS REFERENTES À APLICAÇÃO DA ANÁLISE EMPÍRICA PARA O BRASIL: CRITÉRIOS DA ENERGIA FINAL E PRIMÁRIA .....</b>	<b>170</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 4.1- Energia Consumida em Iluminação e Utilitários em Função da Renda .....	58
Figura 4.2- Uso de Combustível em Função da Produção Bruta per Capita em Serviços ...	63
Figura 4.3- Uso de Eletricidade em Função da Produção Bruta per Capita em Serviços ....	63
Figura 4.4- Indicadores Laspeyres de Intensidade Energética .....	65
Figura 4.5- Variações Médias em Intensidades Energéticas e Outros Indicadores.....	66
Figura 4.6- Comparação entre Intensidade Energética e Contribuição para a Produção Nacional Bruta nos Estados Unidos em 1982 .....	71
Figura 4.7- Evolução do Consumo de Aço nos Estados Unidos (1880-1980).....	73
Figura 4.8- Evolução do Consumo de Aço, Cimento, Papel, Amônia, Cloro, Alumínio e Etileno nos Estados Unidos (1890-1980).....	74
Figura 4.9- Evolução do Conteúdo Energético Embutido nas Exportações e Importações dos Estados Unidos (1972-1984).....	76
Figura 5.1-Exemplo de um Sistema .....	87
Figura 5.2- Sistema Fechado .....	89
Figura 5.3 – Sistema Aberto ou Volume de Controle .....	90
Figura 5.4 – Representação de Sistema Energético.....	92

### **Lista de Tabelas**

Tabela 3.1 – Evolução da Intensidade Energética nos Estados Unidos (1920-1981) .....	42
Tabela 3.2 – Razão entre Uso da Energia e Entradas de Capital e Trabalho para os Estados Unidos (1899-1981).....	43
Tabela 6.1 – Ocorrências Considerando Consumo de Energia Final.....	115
Tabela 6.2 - Ocorrências Considerando Consumo de Energia Primária .....	116
Tabela 7.1–Ocorrências para o Brasil – Critérios de Energia Final e Primária.....	127

## **Resumo**

Apoiando-se na análise da discussão em torno do efeito bumerangue, fenômeno pelo qual ganhos de eficiência energética desencadeiam incentivo a maior consumo de energia, esta dissertação busca compreender qual tem sido a função deste recurso dentro de estruturas capitalistas de desenvolvimento. Busca-se esta compreensão pela análise de argumentos e evidências levantados na literatura específica que apóia ou opõe-se à adoção de políticas de eficientização. Além disso, desenvolve-se uma análise empírica alternativa com o intuito de avaliar o peso de argumentos que são utilizados como questionamentos à adoção de tais políticas. Neste trabalho, o debate em torno das políticas de eficientização é visto como uma oportunidade para aperfeiçoar o entendimento sobre a relação entre energia, inovação tecnológica e desenvolvimento sócio-econômico.

## **Abstract**

Supporting itself in the analysis of the discussion around of the rebound effect, phenomenon by the which gains on energetic efficiency unchain incentive to more energy requirements, this dissertation looks forward to understand which it has been the function of this factor inside capitalist structures of development. This is searched through the analysis of evidences and arguments lifted in the specific literature supporting or not efficiency policies adoption. Moreover, an alternative empiric analysis is also developed in order to evaluate the positions against the adoption of such policies. In this work, the debate around efficiency policies is seen as an opportunity to improve the understanding of the relation between energy, technological innovation and socioeconomic development.

# 1 INTRODUÇÃO

Esta dissertação começou sendo uma proposta no sentido de compreender a relação entre reestruturação do Estado brasileiro e alocação dos recursos em pesquisa e desenvolvimento na área energética, mais especificamente, um estudo do processo de formação e também um delineamento de possíveis conseqüências da implementação dos fundos setoriais. Esta questão empírica era vista como um primeiro passo para apreender uma questão maior: a conexão entre desenvolvimento da estrutura sócio-econômica e alocação dos recursos energéticos, com os investimentos em pesquisa sendo vistos como elementos relevantes do processo mais amplo de alocação dos recursos.

O termo ‘desenvolvimento’ é aqui utilizado no sentido de que mudanças na estrutura sócio-econômica produzem implicações sobre a forma e a intensidade com que os recursos são alocados. Num primeiro momento, trata-se de reconhecer tais implicações, associando-as às respectivas condições específicas em que o processo de mudança ocorreu. Algumas destas condições específicas são relativamente maduras, correspondendo a condições de longo prazo (isto é, são uma herança de toda a História do país). Outras são de ordem conjuntural. Evidentemente, com a dissertação não se buscou resolver todas estas questões, mas iniciar uma compreensão das mesmas a partir da análise de um problema concreto considerado relevante.

Todos estes comentários são uma tentativa de especificar em que sentido o termo ‘desenvolvimento’ é aqui utilizado. Isto se faz necessário porque o uso desta palavra está tão carregado de conteúdo ideológico que é difícil utilizá-la no sentido delineado acima, embora seja também difícil encontrar um termo alternativo em condições de substituí-la. Em outros termos, esta dissertação teve como proposta iniciar, no que concerne às conseqüências associadas ao uso do recurso energia, uma crítica do ‘desenvolvimento’ tal como este é normalmente utilizado para justificar ações no campo da política e da economia.

Embora a forma específica de estudo da questão maior tenha sido abandonada (o estudo dos fundos setoriais), a questão mais ampla continuou a ser tratada (ou seja, a relação entre desenvolvimento da estrutura sócio-econômica e alocação dos recursos

energéticos). Por que se abandonou a primeira forma e dimensão de tratar o problema em favor de outra? Porque durante o projeto ficou claro que a compreensão que eu possuía sobre a relação entre desenvolvimento e uso da energia era tão precária que tornaria um estudo dos fundos setoriais, na melhor das hipóteses, um razoavelmente bem sucedido trabalho sobre disputas por rendas no interior do Estado. Restrito a esta dimensão, forçosamente a questão maior seria abandonada ou tratada apenas superficialmente: em que pese a importância de estudos sobre processos rent-seeking, um estudo desta natureza não reúne, por si só, as condições para que se enfatizem as especificidades da questão energética. Daí a opção por substituir a abordagem inicial por um objetivo mais modesto, mas aparentemente mais pertinente, considerando-se a questão mais ampla que orienta o trabalho.

Para a escolha da questão tratada nesta dissertação levou-se em conta os seguintes fatores: (1) possibilidade de que o tema ajudasse a compreender a relação entre desenvolvimento sócio-econômico e alocação dos recursos energéticos; (2) relevância do tema para a construção das políticas energéticas, bem como para as políticas tecnológicas diretamente relacionadas à questão energética; (3) possibilidade de evidenciar dissensos, o que facilita a compreensão dos problemas tratados<sup>1</sup>. Em resumo, estas foram as considerações que me levaram a optar por estudar os debates em torno das políticas de efficientização.

Além disso, é necessário ponderar que este é um trabalho em que se busca ainda compreender em que ponto os conhecimentos sobre a relação entre desenvolvimento tecnológico e uso da energia, encontram-se. Por esta razão, optou-se, na análise dos argumentos pró e contra as políticas de efficientização, por dar maior ênfase aos argumentos diretamente relacionados às pressuposições mais ortodoxas sobre a relação entre desenvolvimento tecnológico e uso da energia.

---

<sup>1</sup> Mazumdar (1995, p. 3): “Uma controvérsia é a mais útil de todas as formas de discurso para o historiador. Engajados nela, os protagonistas mostram-se com uma franqueza e entusiasmo que de outra forma não teriam necessidade de tornar público. Conceitos, como Geoffrey Lloyd apontou no caso da ciência grega, tornam-se mais explícitos quando são parte de um debate, uma contestação com um antagonista. Num mundo em que as premissas básicas são todas aceitas, elas podem muito bem permanecer inconscientes ou não ditas: um paradigma único e totalmente abrangente é provavelmente invisível de dentro, e indetectável de fora.”

O foco nas posições mais ortodoxas não denota concordância com estas: decorre da opinião de que uma crítica ao que existe deve começar por compreender minimamente as opiniões que melhor refletem o senso comum. E o senso comum numa comunidade de especialistas certamente é melhor refletido pela ortodoxia do que pelas posições heterodoxas, a despeito dos eventuais méritos de uma ou outra abordagem.

Com relação ao foco na relação entre desenvolvimento tecnológico e uso dos recursos energéticos cabe também um adendo. Nem todas as críticas às políticas de efficientização centram seus argumentos prioritariamente na análise desta relação. Há quem seja contrário às políticas de efficientização apresentando argumentos que se alinham dentro do que se poderia chamar de ‘análise de falhas de mercado’ (SUTHERLAND, 1996). Há também defensores (HOWARTH, 1997) e opositores (SAUNDERS, 1992) em que o procedimento de análise faz uso de funções de produção oriundas dos estudos neoclássicos sobre crescimento econômico. Nestes estudos, a questão tecnológica é bastante importante, mas a abordagem modelista limita a apreensão de muitos aspectos fundamentais para a compreensão das questões relativas ao processo de desenvolvimento. É em Schipper e Grubb (2000), favoráveis às políticas de efficientização, e Brookes (2000), contrário às mesmas que o problema das políticas de efficientização energética é visto mais propriamente como um problema da relação entre processo de desenvolvimento tecnológico e uso da energia. Por esta razão, e devido aos objetivos desta dissertação, os argumentos destes autores são analisados em maior detalhe.

De modo bastante esquemático, dada a dificuldade de enquadrar o mundo nas classificações que criamos, estes comentários procuram localizar ‘geograficamente’ a abordagem buscada neste trabalho: estudar as políticas de efficientização extraindo delas elementos para uma compreensão inicial sobre a relação entre desenvolvimento e alocação dos recursos energéticos. Em parte, esta localização se faz necessária porque as questões suscitadas nestes debates são relativamente recentes.

De fato, é a partir das crises do petróleo que se consagram de modo mais incisivo as novas e atuais demandas em relação ao uso da energia. Até então, na prática, o problema da energia reduzia-se ao desenvolvimento de instrumentos para explorar intensivamente os recursos disponíveis. A crise do petróleo trouxe todo um novo conjunto de questões que

anteriormente tinham pouco peso nas discussões dos especialistas em energia e recursos naturais. Novos termos tiveram que ser desenvolvidos para comunicar as novas condições, tais como ‘segurança energética<sup>2</sup>’ e ‘desenvolvimento sustentável<sup>3</sup>’. Claramente, estes termos remetem à possibilidade de que o aumento das restrições ao uso da energia possam implicar numa ameaça ao modo de vida existente. Desde então, todo um conjunto de políticas públicas vem sendo pensado e implementado com o intuito de responder à nova agenda das políticas energéticas. Uma análise crítica desta agenda passa, necessariamente, por uma avaliação dos argumentos atualmente mais influentes na concepção e implementação destas políticas.

Cabe ainda ressaltar que a temática energética e ambiental é apenas uma dentre outras muito importantes questões do mundo contemporâneo diretamente relacionadas ao ideal de progresso e desenvolvimento que tem vigorado desde o advento do sistema capitalista. E, especificamente dentro da agenda ambiental e energética, um assunto em particular tem recebido cada vez mais atenção: as implicações das ações humanas sobre o efeito estufa<sup>4</sup>: as emissões de gases de efeito estufa de origem antropogênica estariam alterando o equilíbrio do planeta de formas perigosas para a existência humana na Terra. Ou seja, o modo humano de viver estaria colocando em risco as próprias condições da existência humana.

---

<sup>2</sup> (Deese, 1979, p. 140): “Segurança energética é definida como uma condição em que uma nação percebe uma alta probabilidade de que terá suprimentos de energia adequados (incluindo fontes tradicionais como madeira, e resíduos de animais e plantas que frequentemente não são negociados no mercado) a preços acessíveis. Preços são considerados acessíveis se no curto prazo param de causar severa ruptura na atividade econômica e social.”

<sup>3</sup> (World Commission on Environment and Development, 1987, p. 43): “Desenvolvimento sustentável é o desenvolvimento que satisfaz as necessidades do presente sem comprometer a habilidade das gerações futuras em satisfazer suas próprias necessidades. Incorpora dois conceitos chaves:

- o conceito de ‘necessidades’, em particular as necessidades essenciais dos pobres do mundo, para os quais deve prevalecer a prioridade; e
- a idéia de limitações impostas pelo estado da tecnologia e organização social à habilidade do ambiente de satisfazer as necessidades presentes e futuras.”

<sup>4</sup> Denomina-se efeito estufa o fenômeno natural pelo qual a atmosfera terrestre funciona como filtro, permitindo a passagem de radiação na faixa do visível, mas bloqueando a saída de radiação infravermelha. Este fenômeno provoca um aumento da temperatura no ambiente interno da Terra, além de uma menor variação na temperatura ao longo do tempo, sendo portanto fundamental para a constituição da vida na Terra tal como a conhecemos. O debate hoje diz respeito à intensidade com a qual as ações humanas estariam alterando o equilíbrio com que este fenômeno ocorre. As políticas públicas desenvolvidas a partir da aceitação de que a ação humana está alterando de modo relevante este equilíbrio buscam definir medidas que possam minimizar o impacto das emissões antropogênicas de carbono.

Não é necessário concordar com a veracidade das assertivas mais pessimistas quanto às conseqüências das emissões antropogênicas de carbono para reconhecer a importância política do problema. Dentre as posições daqueles que defendem uma visão mais ortodoxa, trata-se de encontrar meios tecnológicos e econômicos de contornar um problema que, se real, constitui um obstáculo considerável a ser transposto pelas instituições existentes, dentre elas o mercado. Para parte dos críticos do modo de vida atual, mais uma evidência da ‘irracionalidade’ do sistema capitalista.

O peso político que este tema tem recebido tem levado a alocar recursos com o intuito de estudar e mesmo ‘resolver o problema’, ou seja, desenvolver mecanismos para avaliar sua extensão e propor soluções que, tanto quanto possível, permitam preservar o processo de desenvolvimento tal como tem se efetivado. Dada a relevância da questão e a inegável importância do conhecimento científico e tecnológico nas sociedades atuais, não é surpreendente que especialistas sejam chamados para propor soluções e estabelecer diretrizes, a despeito do fato de que grande parte do problema provavelmente está ligado às formas como o desenvolvimento científico e tecnológico tem se processado socialmente. De fato, devido à importância do ato de consumir para a construção da identidade nas sociedades atuais, algo que se aplica não apenas a uma minoria, mas a população como um todo, não é difícil entender a razão do peso político do ‘enigma’ do efeito estufa. Caso o efeito estufa constitua-se de fato numa séria ameaça ao ideal do consumo, dar respostas a este problema transforma-se em pré-requisito para a sustentabilidade de qualquer governo que dispute poder nas democracias atuais: se os ideais de consumo não puderem ser sustentados, em que se fundamentará o exercício do poder?

Parte dos especialistas são chamados para avaliar a extensão do problema: existem condições de sustentar o atual processo de desenvolvimento econômico? Parte para propor soluções: como contornar os atuais impedimentos aos ideais vigentes de progresso e desenvolvimento?

Dentro do conjunto de soluções propostas para tratar a questão do efeito estufa, uma tem se mostrado particularmente influente: as chamadas políticas de eficiência

energética: a partir da crise do petróleo, observam-se a implementação de políticas de efficientização em muitos dos países do mundo, dentre os quais o Brasil.<sup>5</sup>

Esta dissertação procura entender em que sentido este perfil de soluções pode ser considerado plausível, quanto aos objetivos que são colocados como metas. Na verdade, nota-se que a discussão em torno das políticas de efficientização constituem-se num locus privilegiado para começar a entender a relação entre desenvolvimento tecnológico e uso dos recursos energéticos, uma vez que os diagnósticos das posições pró e contra políticas de efficientização, com bastante recorrência, levam ao extremo a defesa de importantes pressupostos quanto à relação entre inovação tecnológica e uso da energia.

Na área energética, quando se pensa a inovação tecnológica, existe um paradigma reinante? Existe uma visão do problema que é tomada como referência? Esta visão reinante é insuficiente? Em que aspectos? Tais insuficiências são importantes em quais contextos?

Talvez seja exagero falar em paradigma<sup>6</sup>, mas há uma idéia que, na prática, mostra-se bastante recorrente entre os analistas: a utilização de ganhos de eficiência energética para restringir o consumo de energia:

Utilizar a energia com responsabilidade, sem desperdício, constitui um novo parâmetro a ser considerado no exercício da Cidadania. Os instrumentos de combate ao desperdício de energia estão alicerçados na mudança de hábitos e na eficiência energética. Segundo os conhecedores de educação ambiental existe uma necessidade de mudança de comportamento da sociedade de um modo geral, no sentido de mudar nossos hábitos, nossas atitudes, para que o comportamento, que é associado a grupos sociais, se consolide. Mudamos nossos hábitos a partir da informação que adquirimos, de forma construtiva, e que nos insere no contexto da nova situação. Uma vez que estejamos envolvidos e contextualizados nesta seara de evitar ações perdulárias ao se consumir a energia, naturalmente estamos aptos a deixar os maus hábitos sobre qualquer desperdício. O consumo de energia

---

<sup>5</sup> No Brasil, em 1985 é criado o PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica. Na área de petróleo e gás, é instituído em 1991 o CONPET. Para maiores informações históricas sobre a adoção de políticas de efficientização não apenas no Brasil, mas em vários outros países do mundo, pode-se consultar Haddad e Aguiar (1999).

<sup>6</sup> O termo é utilizado por Kuhn (1975), referindo-se à existência de uma visão compartilhada entre os cientistas, a qual condiciona não apenas o que é entendido como ‘solução’, mas também o que pode legitimamente ser considerado como ‘problema’. Por meio do estudo de uma série de episódios históricos

elétrica, no Brasil, em 1990 foi de 205 bilhões de kWh e em 2000 de 306 bilhões de kWh. Um aumento de 49% em apenas 10 anos.

A eficiência energética, como instrumento de combate ao desperdício de energia, cada vez mais se aproxima das necessidades do cidadão técnico brasileiro. É preciso que a tecnologia adequada a esse ferramental seja conhecida pelos técnicos que estarão direta ou indiretamente ligados a este setor. Para definir estratégias e mobilizar a sociedade para o combate ao desperdício de energia elétrica, o Governo Federal, por intermédio do Ministério das Minas e Energia, criou o PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica, cuja Secretaria Executiva encontra-se atualmente na ELETROBRÁS. A economia de energia obtida a partir das ações do PROCEL contribui para reduzir gastos da sociedade com o consumo de energia. Economizando energia, estamos adiando a necessidade de construção de novas usinas geradoras, disponibilizando recursos para outras áreas e contribuindo para a preservação da natureza. (MARQUES, HADDAD, MARTINS, 2001, p. XIII)

O trecho acima é o prefácio escrito por Amilcar Guerreiro, como representante do PROCEL, para livro técnico cujo objetivo é difundir conhecimentos de engenharia que possam contribuir para o aumento da eficiência no uso da energia. Do conjunto de questões levantadas interessa particularmente a idéia de que ganhos de eficiência podem substituir novos fornecimentos. É precisamente este ponto de vista que é utilizado para subscrever as políticas de efficientização energética como um instrumento importante e eficaz para a construção da mencionada Cidadania, da qual a maior preocupação com as agressões ao meio ambiente tornou-se parte. O uso mais eficiente dos recursos permitiria evitar novos investimentos em geração de energia, utilizar este dispêndio evitado para satisfazer outras demandas sociais e, simultaneamente, preservar o meio ambiente.

Parece natural tomar o uso mais eficiente dos recursos como um caminho a ser buscado pelas políticas públicas, uma vez que os recursos são limitados. Daí que as políticas de efficientização energética possuam a importante qualidade de, por serem intuitivamente plausíveis, serem facilmente comunicáveis, o que facilita a obtenção de

---

ligados à evolução da Física e da Química mostra como os paradigmas eram utilizados pelos cientistas para enquadrar a realidade, selecionando desta elementos específicos capazes de orientar a prática de pesquisa.

apoio político. Poder-se-ia mesmo afirmar que não há aqui nenhum paradigma específico, mas simplesmente a atuação, dentre os especialistas, do bom e velho ‘bom senso’.

Não obstante sua aparente plausibilidade, há quem duvide ou discorde da suficiência ou mesmo pertinência de que as políticas energéticas sejam norteadas por um paradigma de eficiência, não exatamente pelas mesmas razões, o que em si mesmo é significativo. Cabe entretanto notar que tais analistas não questionam a importância de que os recursos sejam utilizados eficientemente. Quais são então as bases do questionamento às políticas de efficientização energética, usualmente apresentado em termos econômicos?

A complexidade do processo de alocação dos recursos implica que não é possível intervir em um deles sem produzir implicações sobre os demais. São justamente estas possíveis implicações que são levantadas pelos que questionam a pertinência das políticas de efficientização energética: efeitos colaterais associados podem trazer consigo problemas relevantes ou novas formas de “desperdício”. Porém, mesmo que os efeitos negativos possam ser desprezados frente aos benefícios esperados, isto ainda não justifica, por si só, a adoção de políticas de efficientização: tal como qualquer outra opção, esta precisa ser comparada em relação a outras alternativas existentes para que se possa concluir que se constitui realmente na melhor opção, e em que medida. Ou seja, tanto os eventuais efeitos colaterais negativos quanto os maiores benefícios positivos de outras opções podem ser levantados como questionamento às políticas de efficientização.

Para Brookes, as políticas energéticas centradas no paradigma da eficiência colhem seu encanto da promessa de um almoço grátis: permitiriam não somente tratar os problemas ambientais sem a adoção de medidas impopulares (tais como tornar ilegal, taxar ou racionalizar os combustíveis que agredem o meio ambiente; ou expandir fontes não carboníferas de energia, como a energia nuclear), mas ainda fazer isto com benefício econômico (BROOKES, 2000, p. 355). Em seu entender, o paradigma da eficiência configura-se em autêntica ‘falácia’, termo usado recorrentemente pelo autor para caracterizar a crença nas políticas energéticas norteadas pelo ideal de eficiência.

Rosenberg (1982) soa menos agressivo, porém, seus argumentos contra uma política energética norteada pelo que considera ser uma noção estreita de eficiência (ROSENBERG,

1982, p. 83) possuem pontos de contato com os adotados por Brookes<sup>7</sup>. Centram-se na idéia de que a eficiência no uso é apenas uma das razões pelas quais a energia adquire valor econômico. Sendo assim, uma política energética consistente não pode estar unicamente preocupada em estabelecer um uso eficiente da energia, sem que acabe se mostrando inadequada. O autor tenta mostrar a consistência de seu argumento por uma análise histórico-econômica de dois setores específicos, as indústrias metalúrgica e elétrica. Para ele, são fatores importantes para a definição do valor econômico da energia: (1) técnicas pelas quais a energia possa ser utilizada de forma mais eficiente, isto é, menos unidades sejam requeridas para executar o mesmo trabalho; (2) desenvolvimento de técnicas que tornem possível o acesso a fontes mais abundantes; (3) métodos que aumentem o controle efetivo sobre a qualidade do produto final; (4) e, além disso, “progresso técnico envolveu uma busca por combustíveis que possuíam outras características – físicas e químicas – que eram essenciais para o sucesso de uma nova tecnologia e viabilizavam mais aumentos de produtividade” (ROSENBERG, 1982, p. 84). Apenas se, independentemente do contexto, (1) se mostrasse sempre como a questão mais relevante, os erros associados a uma política estritamente ligada à eficiência energética poderiam ser considerados aceitáveis, do ponto de vista econômico. A análise histórico-econômica desenvolvida por Rosenberg (1982) procura mostrar que não é este o caso. Embora reconheça a complexidade de qualquer tentativa de avaliar seriamente os aspectos quantitativos referentes ao valor econômico da energia, considera o reconhecimento de que “há numerosas razões que nos compelem a preferir uma forma de energia em relação à outra” fundamentais para o desenho de políticas energéticas futuras (ROSENBERG, 1982, p. 101).

O artigo de Rosenberg (1982) é desenvolvido mais no sentido de levantar questões do que no de fornecer respostas, o que faz muito bem. Trata-se de uma análise que sugere, sem deixar de ser enfática, a necessidade de que uma compreensão mais crítica e abrangente do processo de inovação tecnológica energética seja desenvolvida entre os

---

<sup>7</sup> Para evitar mal entendidos: possuir pontos de contato não quer dizer que Brookes e Rosenberg tenham a mesma visão sobre o processo pelo qual a energia adquire valor econômico, nem que os autores fundamentem suas análises dentro de uma mesma escola do pensamento econômico. Significa apenas que ambos discordam da interpretação compartilhada por muitos dos analistas quanto ao papel e significado da ‘eficiência energética’.

especialistas da área. O autor procura questionar uma certa compreensão existente sobre o processo pelo qual a energia adquire valor econômico e social, na qual a eficiência energética é na prática sempre colocada como elemento necessário e suficiente para a definição de políticas energéticas acertadas<sup>8</sup>. Mas haveria fundamento para esta preocupação? Haveria entre os especialistas, pelo menos entre parte considerável deles, algo como “concepções estreitas de eficiência” (ROSENBERG, 1982, p. 83)?

*The effects of energy supply characteristics on technology and economic growth* (ROSENBERG, 1982) foi apresentado pela primeira vez em encontro sobre Energia, Produtividade, e Crescimento Econômico, promovido pelo Electric Power Research Institute, em Palo Alto, Califórnia (no período de 12 a 14 de janeiro de 1981). A questão, para Rosenberg (1982), não se resume a discutir a importância e o significado da eficiência energética, mas sim compreender melhor o processo de inovação tecnológica energética e, dentro desta compreensão, situar o significado e a relevância da eficiência como uma questão importante *dentre outras* também fundamentais para o delineamento das políticas energéticas. Ao que parece, trata-se menos de argumentos construídos para refutar um suposto paradigma da eficiência, e mais de um posicionamento contra análises centradas em leituras quantitativas muito simples associadas a fenômenos bastante complexos.

Seja como for, a discussão sobre eficiência energética mostra-se como uma excelente oportunidade para melhor compreender o processo de inovação tecnológica energética, permitindo evidenciar pontos importantes da relação entre energia e atividade econômica. Mesmo que não seja possível ser exaustivo, o estudo do debate dos especialistas da área em torno desta questão configura-se como a melhor forma de delinear os limites da compreensão atualmente existente sobre o processo de inovação tecnológica energética. Um bom ponto de partida para executar esta tarefa é a seqüência de opiniões reunidas na revista *Energy Policy*.

---

<sup>8</sup> Por política acertada entenda-se aquela capaz de realizar os objetivos que se propõe. Neste ponto do trabalho, a utilização do termo ‘acertada’ não denota qualquer julgamento quanto à legitimidade de tais objetivos. Evidentemente, num contexto de decisões políticas os próprios objetivos buscados podem ser questionados.

## 2 O DEBATE EM TORNO DAS POLÍTICAS DE EFICIENTIZAÇÃO

### 2.1 A CONTROVÉRSIA NA *ENERGY POLICY*

Dezoito anos depois de Rosenberg (1982) ter escrito seu artigo, isto é, no ano 2000, as discussões em torno do valor econômico da energia continuam girando em torno das diferentes interpretações dos especialistas sobre a relevância e o significado da eficiência para a questão energética. Ou seja, a relação entre tecnologia e energia continua suscitando discordâncias, agora na análise de um fenômeno específico associado à questão: o efeito bumerangue.

Em edição especial de Junho de 2000 da revista *Energy Policy*, reúnem-se artigos cujo intuito é explicar o fenômeno pelo qual ganhos de eficiência energética levam a aumentos no uso da energia, o chamado efeito bumerangue<sup>9</sup>. Segundo, o editorial, “a questão não é se tal efeito existe, mas antes em que quantidades surge, o quão rapidamente, em quais setores, e em que manifestações” (SCHIPPER, 2000, p. 351). Assim, novamente uma discordância em torno da eficiência energética fornece elementos para uma compreensão sobre os fatores que condicionam o uso da energia.

Porém, enquanto o valor do artigo de Rosenberg (1982) está em observar que as razões pelas quais a energia adquire valor econômico podem ser múltiplas e, além disso, de apreensão bem mais difícil do que sugerem a forma como são apresentados os indicadores quantitativos por muitos analistas, o valor da controvérsia da *Energy Policy* situa-se no fato de estar centrada na compreensão da relação entre estrutura econômica e uso da energia. São evidências neste sentido:

(a) O chamado efeito Jevons, levantado por Brookes (2000) como fundamento de suas idéias, é essencialmente uma interpretação sobre qual é o papel da energia dentro da estrutura econômica, enfatizando a importância deste recurso para o desenvolvimento de

---

<sup>9</sup>Uma definição mais rigorosa do efeito bumerangue será exposta mais adiante. Ainda em 1865, Jevons defendia que ganhos de eficiência energética não diminuem o consumo de energia, pelo contrário, estimulariam um consumo ainda maior. Atualmente, parte dos analistas refere-se ao efeito bumerangue como efeito Jevons, numa referência aos trabalhos pioneiros deste autor.

instrumentos tecnológicos que viabilizem aumentos de produtividade. Segundo esta interpretação, todo ganho de eficiência energética economicamente justificável estimula um consumo maior que aquele que existiria na ausência deste ganho, pois torna o recurso energia mais competitivo em relação a outros fatores de produção (tais como capital e trabalho). Por outro lado, Schipper e Grubb (2000) defendem que o efeito Jevons somente seria relevante nos países em que a energia se constituísse numa parcela significativa dos gastos dos consumidores: somente nestes países as reduções no custo da energia, inevitáveis quando da ocorrência de ganhos de eficiência, seriam suficientes para estimular um consumo de energia ainda maior (ao funcionar como estímulo à demanda e conseqüentemente ao crescimento econômico). Na realidade, há uma divergência quanto à forma como se compreende a dinâmica entre estrutura econômica e uso da energia;

(b) Schipper e Grubb (2000) claramente limitam suas conclusões aos países desenvolvidos, outra forte evidência de que a importância e o significado da eficiência energética é indissociável da relação entre estrutura econômica e uso da energia. Na verdade, este ponto é o aspecto empírico da discordância teórica delineada em (a).

Este debate não se inicia com os argumentos e evidências apresentados na referida edição da *Energy Policy*. Daí que a apresentação de um breve histórico sobre a discussão em torno do efeito bumerangue se faz necessário, o que é apresentado a seguir.

## **2.2 UM BREVE HISTÓRICO SOBRE O EFEITO BUMERANGUE**

A discussão em torno do efeito bumerangue não é nova, podendo além disso ser feita segundo enfoques bastante distintos. Uma definição particularmente útil para o enfoque buscado nesta dissertação pode ser encontrada em Berkhout et al. (2000, p. 426):

Progresso tecnológico torna o equipamento energeticamente mais eficiente. Menos energia é necessária para produzir a mesma *quantidade* de produto, usando *quantidade* de equipamento – *ceteris paribus*. Entretanto, nem tudo permanece igual. Como o equipamento tornou-se energeticamente mais eficiente, o custo por unidade dos serviços de equipamento cai. Se um carro por exemplo pode andar mais quilômetros com um litro de gasolina, os custos do combustível por quilômetro caem, e portanto os custos totais por quilômetro.

Uma redução de preço normalmente leva a aumento de consumo. Parte dos ganhos *ceteris paribus* é perdida, porque existe a tendência a consumir mais serviços produtivos, e a demanda extra por serviços produtivos implica em *mais* consumo de energia. Esta parte perdida do consumo de energia é denominada efeito bumerangue. Um efeito bumerangue de (digamos) 10 % da melhoria de eficiência energética iniciada pela melhoria tecnológica é perdida pelo aumento de consumo.

Embora os autores restrinjam o efeito bumerangue ao que é entendido como ‘perdas na economia de energia’, é necessário observar que a introdução de tecnologias energeticamente mais eficientes pode levar a um consumo de energia maior que aquele que haveria na ausência do ganho de eficiência. Neste caso, teríamos a confirmação do chamado ‘postulado Khazzoom-Brookes’ (ou efeito Jevons), segundo o qual ganhos de eficiência energética ocorridos no plano microeconômico levam a um consumo de energia, no plano macroeconômico, maior que aquele que ocorreria caso não houvesse tais ganhos. Alguns analistas referem-se especificamente a esta possibilidade como ‘backfire’. Embora excessivamente restritiva, a definição dos autores é útil (para os propósitos desta dissertação) porque percebe este fenômeno como um problema relacionado ao desenvolvimento tecnológico.

Além de apresentar esta definição, cabe ainda ponderar que há pelo menos duas perspectivas bem diferentes em que o termo ‘eficiência energética’ pode ser entendido. Pode-se analisar quantas unidades de energia são necessárias para produzir uma unidade física de produto. Com o produto podendo ser medido em litros, toneladas ou qualquer outra unidade pertinente. Neste caso, podemos medir a intensidade energética em kWh / ton, por exemplo. Um problema com as unidades de medida físicas é a dificuldade em agregá-las. Unidades bastante adequadas para um produto são inutilizáveis para outros. De fato, se medimos a produção de leite em litros e a produção de aço em toneladas, parece difícil efetuar um processo de agregação não arbitrário.

Outra perspectiva é estudar quantas unidades de energia são necessárias para produzir uma unidade econômica de produto. Com o produto podendo ser medido em qualquer moeda, com o dólar dos Estados Unidos sendo mais frequentemente utilizada. Embora o dinheiro funcione como equivalente geral, o que facilita o processo de agregação,

há que se considerar o problema da apreciação das moedas. E, além disso, a evolução do valor econômico freqüentemente leva a tendências que têm pouco a ver com a realidade física das quantidades energéticas utilizadas e das conseqüências qualitativas associadas aos usos físicos da energia. A principal importância dos indicadores de intensidade (ou eficiência) energética econômicos é que eles constituem-se num instrumento fundamental para estudar, embora de modo não imediato, a relevância do fator energia para a produtividade do sistema econômico.

Evidentemente, quanto mais eficiente um processo, menos unidades de entrada são necessárias para produzir uma unidade de produto, com os indicadores físicos e econômicos abrangendo dimensões muito diferentes do problema da eficiência. Embora do ponto de vista social seja a eficiência econômica que importa, como defende Brookes (2000), é tão falso considerar que esta eficiência econômica possa ser construída à revelia da eficiência física quanto impor critérios de ordem física à estrutura sócio-econômica. Isto seria o mesmo que afirmar que a evolução do sistema sócio-econômico é indiferente às restrições de ordem física que procura e freqüentemente consegue transpor. Daí que seja necessário estudar a questão nos aspectos físico e econômico<sup>10</sup>.

É necessário reconhecer que a realidade de que as eficiências econômica e física correspondem a dimensões diferentes do mesmo problema nem sempre é devidamente ponderada. Entre os economistas, há a tendência de não dar o devido peso às limitações de ordem física, enquanto entre os engenheiros e físicos os aspectos relativos à dinâmica econômica são muitas vezes subestimados, o que evidencia a necessidade de interdisciplinaridade para o estudo das questões energéticas.

Devido à variabilidade de situações em que o recurso energia pode mostrar-se útil, não há sentido em se buscar uma definição fechada e única para o termo 'eficiência energética', que não precise fazer referência a dimensões específicas e situações

---

<sup>10</sup> Ressalte-se que mesmo restringindo o problema a seu âmbito físico, a questão da eficiência não é unívoca, uma vez que é necessário considerar os aspectos referentes à qualidade da energia. Os aspectos referentes à qualidade da energia estão presentes também na dimensão econômica, como exemplifica muito bem a eletricidade. Esta forma de energia, em que pese as enormes perdas termodinâmicas envolvidas na sua obtenção, tem sido continuamente valorizada, uma vez que a flexibilidade que propicia confere-lhe um elevado valor econômico. Sobre as questões relativas ao valor econômico da eletricidade, ver Rosenberg (1998).

particulares. Isto corresponderia na realidade a uma espécie de totalitarismo teórico. Uma boa discussão sobre o conceito de eficiência, seus usos e limitações, pode ser encontrada em Patterson (1996).

No que se refere a esta dissertação, interessa saber se reduções nas quantidades de energia necessárias para fornecer uma unidade de serviço energético, as quais ocorrem no plano microeconômico e são viabilizadas por inovação tecnológica, são um instrumento adequado para reduzir o consumo de energia no plano macroeconômico; ou se, pelo contrário, implicam num consumo de energia ainda maior, como argumentam parte dos especialistas.

Nesta dissertação, ganhos de eficiência energética (isto é, a redução nas entradas de energia necessárias para fornecer uma unidade de serviço energético) são discutidos num contexto em que tais ganhos são vistos como um meio para reduzir as emissões de CO<sub>2</sub>. Há no entanto que se ressaltar algumas limitações importantes do tratamento utilizado neste trabalho.

Como o problema das emissões é um problema ambiental global, do ponto de vista prático interessa saber se: (a) as políticas de efficientização, definidas no âmbito do estado-nação, são de fato pertinentes quando consideradas desta perspectiva global, isto é, se estas efetivamente levam à redução nas emissões globais de CO<sub>2</sub>; (b) até que ponto as medições diretas da energia consumida pelos usuários captura as conseqüências relativas à alocação dos recursos energéticos. Embora importantes, estes pontos não foram estudados nesta dissertação. Neste trabalho, analisa-se a plausibilidade das defesas e críticas às políticas de efficientização ainda dentro de um arcabouço bastante restritivo: supondo-se que o problema do efeito estufa possa ser tratado com políticas cuja fronteira de análise é o estado-nação, e supondo ainda que os usos indiretos da energia não sejam relevantes, existem evidências positivas que permitam validar a assertiva de que ganhos de eficiência energética ocorridos no plano microeconômico levam a um consumo ainda maior de energia no plano macroeconômico? Conforme se verá, apesar das limitações em que a pergunta é feita, ao tentar respondê-la é possível iniciar uma ainda insuficiente mas importante compreensão sobre o processo de alocação dos recursos energéticos. Ou seja, ainda que dentro de uma

arcabouço bastante limitado, buscar-se-á fazer uma análise da relevância do efeito bumerangue.

Este fenômeno é freqüentemente mencionado pelos analistas que são contrários à adoção de políticas de efficientização, em particular nos debates em que se discutem meios para reduzir as emissões de CO<sub>2</sub>. No entanto, isto não significa que não existam argumentos de outra natureza que sejam levantados para questionar a adoção das políticas de efficientização. Além disso, nem todos os argumentos diretamente ligados ao efeito bumerangue pensam este fenômeno como um problema de desenvolvimento tecnológico, que é a perspectiva buscada nesta dissertação<sup>11</sup>. Tais pontos são a justificativa para a forma como o histórico aqui apresentado foi feito. Conforme já afirmado na introdução, a discussão em torno do efeito bumerangue é aqui estudada por constituir-se num locus privilegiado para que se inicie uma compreensão sobre a relação entre desenvolvimento tecnológico e uso da energia, o que nem sempre é a questão prioritária entre analistas envolvidos nos debates sobre políticas de efficientização.

Para alguns, é uma oportunidade para estudar as chamadas falhas de mercado, permitindo avaliar a pertinência dos argumentos e evidências utilizados para justificar intervenções governamentais na área energética. Sutherland (1996) constitui exemplo significativo desta forma de pensar as políticas de efficientização. Este autor defende que se as falhas de mercado justificam a adoção de políticas de efficientização (considerando-se que as falhas de mercado de fato existam, o que segundo o autor nem sempre é o caso), então estas políticas devem ser adotadas de modo a corrigir tais falhas. Porém, ainda segundo Sutherland (1996), a adoção das políticas de efficientização não apenas não tem corrigido as falhas eventualmente existentes, mas tem ainda acrescentado novas. Por exemplo, Sutherland (1996, p. 369) defende que programas de conservação de energia freqüentemente acabam tornando-se programas de marketing das concessionárias de energia, devido ao conflito entre o interesse da concessionária (vender energia) e o objetivo de tais programas (economizar energia)<sup>12,13</sup>.

---

<sup>11</sup> Rosenberg (1982) é um autor que trata a questão dos ganhos de produtividade associados ao recurso energia como um problema de desenvolvimento tecnológico.

<sup>12</sup> Este é apenas um dos vários pontos levantados por Sutherland (1996) para questionar as políticas de efficientização. De modo geral, suas críticas inserem-se dentro do conjunto usual de críticas normalmente

Para outros, trata-se de um campo específico em que é possível aplicar conceitos da teoria neoclássica sobre crescimento econômico (SAUNDERS, 1992; HOWARTH, 1997; SAUNDERS, 2000). Fazendo uso de funções de produção, tais estudos avaliam a pertinência de algumas assertivas feitas quanto ao uso da energia. Normalmente assumem-se algumas premissas e delineiam-se as conclusões, numa abordagem essencialmente dedutivista. Nem sempre é clara a utilidade deste procedimento, em parte porque parece haver um descasamento entre os fenômenos utilizados, sujeitos a grande variabilidade, e a abordagem dedutivista utilizada, que pressupõe alta homogeneidade na realidade empírica. No entanto, é razoável esperar que caso haja uma adequada pré-classificação situando o estudo a questões concretas e específicas, este procedimento possa dar bons resultados, pois constitui-se na verdade numa forma analítica de fazer simulações.

Assim, nem todos os envolvidos vêem a discussão sobre políticas energéticas como uma possibilidade de detalhar a compreensão sobre a evolução do desenvolvimento tecnológico. De fato, a complexidade da questão energética permite que o problema seja avaliado segundo dimensões diferentes, com suas respectivas abordagens e linguagens. A análise das controvérsias é uma oportunidade privilegiada para superar estas dificuldades, uma vez que em controvérsias mais acentuadas existe a tendência de que as divergências sejam explicitadas com maior clareza. Divergências estas que por sinal não são recentes.

Preocupado com as conseqüências econômicas da inexistência de carvão em quantidade e qualidade que pudessem garantir a continuidade da hegemonia industrial inglesa, Jevons estudou o assunto<sup>14</sup>, em trabalho no qual o recurso energia é altamente

---

utilizadas pelos economistas para questionar a legitimidade de intervenções governamentais. Como faz a discussão deste problema mais amplo a partir do problema concreto do uso da energia, é uma fonte importante para entender como a economia ortodoxa pensa questões energéticas.

<sup>13</sup> Sutherland (1996) utiliza o termo “conservacionista” para nomear os defensores das políticas de eficientização. Não há conotação negativa em seu uso, de modo que será ocasionalmente também aqui utilizado.

<sup>14</sup> Jevons, William Stanley, *The coal question: an inquiry concerning the progress of the Nation, and the probable exhaustion of our coal-mines*, New York : A. M. Kelley, 1965, 3ª edição revisada. A primeira edição desta obra é de 1865. A edição utilizada nesta dissertação corresponde a uma revisão da terceira edição. O texto da terceira edição possui algumas alterações em relação ao texto original, indicadas no corpo do texto por parênteses [ ]. Há também notas explicativas adicionais, necessárias devido ao caráter datado de algumas informações presentes no texto original, significativas à época, mas não quando da publicação da terceira edição.

valorizado, visto como meio físico que dá materialidade ao conjunto de bens que o desenvolvimento da indústria havia tornado possível<sup>15</sup>.

Segundo Jevons, ganhos de eficiência energética, que àquela época eram também apresentados como solução para os problemas energéticos, não reduzem o consumo de energia, pelo contrário, levam a um consumo ainda maior. Esta assertiva é hoje conhecida como efeito Jevons. Pontos de discordância hoje existentes entre analistas de posições distintas também se apresentavam à época de Jevons, revelando similaridades em discussões que estão distanciadas por contextos históricos bem diferentes. Por exemplo, a disputa entre modelos físicos e econômicos já existia (JEVONS, 1965, p. 57):

Hoje, na mineração do carvão, temos de discriminar as possibilidades físicas e comerciais. A segunda pressupõe a primeira, mas não decorre dela. A questão tem duas dimensões: Primeiramente, é fisicamente possível explorar nossas minas de carvão a profundidades de 4000, 5000, ou 6000 pés? E, segundo, é comercialmente possível, quando em outras partes do mundo carvão está ainda sendo obtido na luz da superfície? A real existência da Bretanha, como grande nação, está condicionada por estas questões.

A possibilidade de mudança estrutural, um dos pontos centrais nos melhores argumentos hoje utilizados em defesa das políticas de efficientização, foi também aventada no final do século XIX. Jevons não nega esta possibilidade, mas teme as implicações dela para a hegemonia industrial inglesa (JEVONS, 1965, pp. xxxiii-xxxiv)

Outros oponentes trazem uma objeção mais sutil. Dizem que o carvão não oferece nenhuma medida da nossa indústria. Num momento futuro, ao invés de explorar carvão, ou óleo cru, podemos produzir elaboradas commodities que dependem menos do uso do carvão que da habilidade e predileção dos operários. Esta mudança é uma que antecipei (p. 429). Constituiria uma mudança radical na nossa indústria. Não temos nenhum monopólio privativo na arte, e habilidade, e ciência, como nós temos no carvão. Que pela arte e indústrias de fabricação podemos assegurar um comércio moderado não pode ser negado, mas todas as noções de supremacia marítima e industrial têm de ser abandonadas.

---

<sup>15</sup> Jevons (1965, p. 2): “O carvão na realidade coloca-se não ao lado, mas acima de todas as outras commodities. É a fonte material da energia do país – a ajuda universal – o fator em tudo o que fazemos. Com

Ou seja, diversos elementos hoje presentes nos debates sobre as opções econômicas e tecnológicas para contornar o aumento das restrições no acesso ao recurso energia estavam presentes à época de Jevons, no século XIX. No entanto, apesar das similaridades, há também diferenças bastante profundas.

Com as crises do petróleo, o problema do acesso a fontes energéticas capazes de sustentar modo de vida atual volta a colocar-se. Mas o contexto é bastante diferente. Jevons (1965) pensou a crise do carvão do ponto de vista de seus efeitos sobre a hegemonia inglesa. No momento atual, não apenas a hegemonia deixou de ser inglesa, mas o mundo está muito mais interligado e interdependente, com as estruturas produtivas tendo se modificado consideravelmente. Os países capitalistas centrais transitaram de uma economia de bens de construção para uma economia de bens de consumo. E é possível afirmar que mesmo nos países periféricos a economia dos bens de consumo tem hoje um peso bastante considerável. Não parece ser mera parcialidade afirmar que o uso da energia e dos recursos naturais hoje, bem como sua relação com o sistema sócio-econômico, é muito mais complexo do que era no final do século XIX. Continuariam válidas ao menos algumas das idéias propostas por Jevons, hoje retomadas nas críticas às políticas de efficientização? Não é possível responder a esta pergunta sem antes fazer uma avaliação crítica sobre o real significado e implicações das principais posições hoje defendidas com relação a esta questão.

E, do ponto de vista da discussão atual, podemos tomar o início do debate sobre o efeito bumerangue com uma revisão crítica feita por Brookes (1979) a livro escrito por Leach et al. (1979 apud BROOKES, 1979)<sup>16</sup>, estudando as possibilidades de reduzir o consumo de energia na Inglaterra por meio das políticas de efficientização. É conveniente tomar o início do debate neste ponto porque nesta crítica já se encontram alguns dos principais questionamentos às pressuposições dos defensores das políticas de efficientização sobre a relação entre uso da energia, desenvolvimento tecnológico e eficiência energética, os quais são apresentados de forma recorrente nas discussões.

---

o carvão qualquer feito é possível ou fácil; sem ele somos jogados de volta na pobreza laboriosa dos primeiros tempos.”

<sup>16</sup> LEACH, GERALD et al. **A Low Energy Strategy for the UK**, London: IIED, 1979.

O método utilizado por Leach et al. (1979 apud BROOKES, 1979) foi o do bottom-up (BROOKES, 1979). Nos modelos bottom-up, busca-se representar de modo detalhado as tecnologias existentes e emergentes capazes de garantir o fornecimento das demandas por serviços energéticos, caracterizando-as em termos de capital, custos operacionais e outros atributos, tais como consumo de combustível e perfil de emissões (RIVERS e JACCARD, 2005, p. 2). É justamente este conhecimento detalhado do estado-da-arte das tecnologias que permite aos modelos bottom-up apresentar determinados aspectos da realidade empírica não abordados pelos modelos top-down. No entanto, principalmente entre os economistas, freqüentemente são levantadas inúmeras críticas a esta forma de modelar o uso da energia. No que diz respeito a Brookes (1979), seus julgamentos quanto à análise de Leach et al. (1979 apud BROOKES, 1979) são em parte uma crítica a estudos ou inferências relativas ao uso da energia que se orientem estritamente pela abordagem bottom-up.

Os questionamentos de Brookes (1979) compõem-se dos seguintes pontos principais: (a) o primeiro é de ordem essencialmente empírica. A desagregação do sistema sócio-econômico pode não discretizar o sistema em grau suficiente para que se observem todos os fatores relevantes na determinação do uso da energia. Quando isto ocorre, ao se tentar compor o comportamento do sistema como um todo teremos um quadro que refletirá mal a real condição do agregado macroeconômico, levando inevitavelmente a erros; (b) a segunda razão pela qual a composição das partes representa mal o todo macroeconômico é que há convergências e interações no plano macroeconômico que não são observáveis nas partes, isto é, o todo tem um comportamento qualitativamente distinto das partes, não podendo ser interpretado como uma mera adição destas.

Para justificar a insuficiência do grau de desagregação utilizado, Brookes (1979) mostra a dificuldade de abordar um serviço energético específico que é foco da metodologia empregada por Leach et al. (1979 apud BROOKES, 1979), o aquecimento residencial. Leach et al. (1979) usa a média diária de consumo deste serviço energético para avaliar as possibilidades de reduzir a demanda por energia. No entanto, sabe-se que no consumo deste serviço energético a média diária de demanda por energia é freqüentemente

bem diferente da demanda observada hora a hora, o que traz considerações de ordem econômica e técnica inexistentes quando o problema do aquecimento residencial é representado do ponto de vista da média diária do consumo (ou seja, dentro de um processo de desagregação mais simples). Ou seja, as simplificações utilizadas por Leach et al. (1979) comprometem ao menos em parte a confiabilidade das previsões feitas quanto às possibilidades de reduzir a demanda por energia.

As questões mais concretas para exemplificar as diferenças qualitativas entre as partes estudadas e o todo, que são as mais importantes dentre as desenvolvidas por Brookes (1979), são de ordem econômica. Segundo Brookes (1979), enquanto alguns recursos podem ser vistos como substitutos da energia, outros devem ser vistos como complementares. Estas condições tornam o processo de construção da produtividade do sistema sócio-econômico impossível de ser descrito unicamente a partir de uma recomposição das partes: parte dos ganhos de produtividade obtidos só é possível devido à utilização sinérgica de capital, trabalho e energia. Ao alocar recursos para substituir o recurso energia pode-se estar diminuindo a parcela de recursos disponível para obter ganhos de produtividade pela ação conjunta entre o recurso energia e outros (capital e trabalho). Esta queda de produtividade por sua vez pode impossibilitar conciliar aumento na produção com redução no consumo de energia. Este ponto leva Brookes (1979) a fazer talvez sua mais importante crítica: supor, como o faz Leach et al. (1979 apud BROOKES, 1979), considerável aumento no volume de produção simultaneamente à queda substancial no uso da energia é, devido às prováveis quedas de produtividade que uma brusca redução no consumo de energia implicaria, muito pouco plausível.

Fica claro na crítica de Brookes (1979) seu ponto de vista de que, embora a abordagem bottom-up, em particular o estudo de Leach et al. (1979 apud BROOKES, 1979), forneça evidências factuais importantes, deve ser complementada pela metodologia top-down: como esta última possibilita explicitar os aspectos macroeconômicos do uso da energia, permitiria fazer inferências com relação ao todo mais seguras, que seriam impossíveis de fazer pelo uso estrito do método bottom-up.

Para melhor apresentar as diferenças entre os modelos bottom-up e top-down, vale a pena enfatizar mais detalhadamente no que tem normalmente consistido a utilização dos modelos top-down. Segundo Rivers e Jaccard (2005, p. 2):

A análise top-down, que é normalmente aplicada por economistas, estima relações agregadas entre custos relativos, participações relativas no mercado da energia e outras entradas para a economia, além das ligações entre estas entradas e a produção setorial e total dentro de um arcabouço de equilíbrio mais amplo – modelos de equilíbrio completos são definidos como modelos de equilíbrio geral computáveis. Elasticidades de substituição (ESUB, nas iniciais em inglês) indicam a possibilidade de substituição entre quaisquer dois pares de entradas agregadas (capital, trabalho, energia, materiais) e entre formas de energia (carvão, petróleo, gás, renováveis) dentro do agregado energético. A maioria dos modelos top-down também tem parâmetros denominados índice de eficiência energética autônomo (AEEI, nas iniciais em inglês), que indica a taxa na qual a evolução tecnológica independente de preço melhora produtividade energética. Como estes parâmetros são estimados do comportamento real do mercado, enquanto preços da energia e consumo de energia têm mudado historicamente, diz-se que revelam as reais preferências dos consumidores e empresas – e portanto implicitamente incorporam as perdas ou ganhos no bem-estar não-financeiro do consumidor, bem como refletem a heterogeneidade das condições de custo financeiro do mundo real.

Estes comentários de Rivers e Jaccard (2005) são úteis porque descrevem como os modelos top-down têm usualmente sido utilizados nos estudos sobre energia. Na realidade, parte das atuais limitações dos modelos top-down podem ser restrições impostas pela forma de conduzir a análise econômica, e não propriamente da abordagem top-down<sup>17</sup>. Por exemplo, no trecho acima se percebe a ênfase em análises de equilíbrio parcial construídas a partir do arcabouço neoclássico, que não é a única forma de pensar os problemas econômicos. Isto é particularmente curioso porque, no que diz respeito à análise econômica da inovação tecnológica, que está diretamente relacionada aos problemas levantados pelo uso da energia, tem sido bastante grande a influência de autores que não podem ser considerados neoclássicos.

Cabe entretanto ressaltar que as críticas de Brookes (1979) não se referem unicamente à defesa do caráter complementar entre os métodos bottom-up e top-down, com ênfase nas limitações do primeiro. Defende também que as políticas de eficiência apresentadas por Leach et al. (1979 apud BROOKES, 1979) não tiveram sua competitividade devidamente avaliada. Considera que a viabilidade econômica destas políticas, quando estudada por critérios normais de mercado, é bastante discutível: afirma que a experiência tem mostrado que políticas de eficiência não são adotadas se os tempos de retorno do capital investido em tais políticas é maior que dois anos e meio (BROOKES, 1979, p. 77). Segundo suas estimativas, apenas 22% das economias estimadas por Leach et al. (1979 apud BROOKES, 1979) seriam levadas a cabo, considerando critérios de decisão passíveis de serem utilizados pelos consumidores.

Em suma, embora defendendo a importância do trabalho efetuado por Leach et al. (1979 apud BROOKES, 1979), o autor considera que as conclusões apresentadas estenderam-se excessivamente, considerando-se as condições de uso da energia e a metodologia utilizada. Para Brookes (1979), as limitações de Leach et al. (1979 apud BROOKES, 1979) devem-se principalmente à inadequada incorporação da abordagem econômica e ao uso estrito da metodologia bottom-up.

A abordagem exposta em Brookes (1979) será retomada por ele em outros momentos da discussão em torno das políticas de eficiência: trata-se de enfatizar o caráter complexo pelo qual os ganhos de produtividade são obtidos numa sociedade capitalista e de acentuar o papel da energia na obtenção destes ganhos de produtividade<sup>17</sup>.

As críticas de Khazzoom (1980) às políticas de eficiência têm uma perspectiva diferente. Fazendo uso de uma abordagem bastante comum na economia neoclássica, desenvolve argumentos no sentido de questionar a adoção generalizada de padrões mandatórios de eficiência. Khazzoom (1980) enfatiza a necessidade de que tanto a

---

<sup>17</sup> Não se infira deste comentário a assertiva de que mudanças na forma de utilizar os modelos top-down possam tornar possível dispensar o uso de modelos bottom-up.

<sup>18</sup> Brookes (2000, p. 359): “De acordo com Cippola (1962), a energia é tudo que se coloca entre nós e a “pobreza agrária do moer”: energia inanimada aliada à habilidade humana tem permitido o grande aumento na produção nos últimos 200 anos, sem o qual o aumento na população não teria ocorrido. Teria este aumento (e o aumento associado no consumo de energia) ocorrido se as eficiências de conversão tivessem permanecido nos níveis totalmente baixos (entre 1% e alguns por cento) predominantes nos anos iniciais do século 19?”

concepção quanto a adoção de políticas de efficientização levem em consideração a interação destas políticas com o sistema de preços.

Segundo Khazzom (1980), embora a melhoria de eficiência possa, na média, levar à redução no consumo, não existe razão a priori ou evidências empíricas que apóiem a suposição de que isto implicará numa redução uniforme do consumo de energia. Ao menos para os usuários altamente intensivos em energia, a melhoria na eficiência energética provavelmente significaria também uma queda no preço real da energia suficientemente alta para que o consumo aumentasse, se levarmos em conta as elasticidades preço-demanda destes usuários mais intensivos. Nestas circunstâncias, a adoção indiscriminada de padrões mandatórios de eficiência não é a opção mais recomendável, pois impede que o nível real de preços atue restringindo a demanda. A utilização altamente seletiva de padrões mandatórios de uso da energia permitiria reduzir o consumo para os usuários médios e simultaneamente fazer uso do sistema de preços para restringir a demanda, no caso dos usuários altamente intensivos. Ainda segundo o autor, a adoção indiscriminada de padrões mandatórios de eficiência deve provavelmente levar a um consumo de energia maior que aquele que existiria caso tais padrões não tivessem sido adotados, pelo menos para o caso dos usuários altamente intensivos (KHAZZOOM, 1980).

Embora não seja o foco de seu artigo, o autor lembra também a necessidade de levar em conta as interdependências existentes no sistema econômico, ao se estudar os efeitos das políticas energéticas. Do contrário, é provável que a demanda por energia seja subestimada. Afirma que a demanda por eletricidade no uso final depende não apenas da eficiência dos usos finais particulares, mas também da eficiência de todos os equipamentos existentes (KHAZZOOM, 1980, p. 35).

Ou seja, embora enfatizando os aspectos mais relativos à dinâmica do sistema de preços, Khazzom (1980) também propõe uma crítica de modelos de uso da energia orientados pela compreensão física do uso da energia, mas que considera não devidamente ponderados com relação à lógica econômica.

Em 1987, Khazzom (1987) volta a proferir críticas às políticas de efficientização, discordando das estimativas de economia de energia feitas por Lovins (1988). Economias

estas vistas como decorrência da adoção de padrões mandatórios de eficiência.<sup>19</sup> Lovins (1988) contra-argumenta, no que é respondido por Khazzoom (1989). Nesta controvérsia confusa, em parte por seu foco na realidade estadunidense e na forma ríspida com que os argumentos são apresentados por Khazzoom (1987, 1989) e Lovins (1988), destacam-se na verdade os pontos levantados por uma quarta publicação. Em Henly et al. (1988) pontos centrais dos argumentos de Lovins (1988) são defendidos, embora haja discordância quanto a elementos específicos utilizados como argumento ou evidência. Os pontos principais defendidos por Henly et al. são os seguintes: (a) defendem que o efeito bumerangue não está simplesmente relacionado à elasticidade do preço da demanda, como na prática supõe Khazzoom (1987, 1989); (b) os estudos empíricos não têm corroborado a existência de grandes bumerangues. Com relação a este último ponto, embora existam estudos que não corroborem o efeito bumerangue, deve-se notar que não existem indicadores confiáveis para avaliar o problema, de modo que se pode analogamente argumentar que evidências que tornem plausível descartar o fenômeno são ainda bastante fracas. No entanto, é necessário reconhecer que a assertiva de que analisar elasticidades de demanda por energia é insuficiente para emitir avaliações quanto à relevância do efeito bumerangue é um ponto que pode se mostrar bastante útil para realizar análises empíricas. Cabe acrescentar que Henly et al. (1988) não ignoram a relevância das elasticidades para a determinação das conseqüências do aumento da eficiência energética, apenas defendem que a discussão sobre o efeito bumerangue não pode ser resumida a um debate sobre elasticidades.

No começo da década de 90, Saunders (1992) publica artigo no qual, fazendo uso da teoria econômica neoclássica do crescimento, defende que as conclusões de Khazzoom (1980) e Brookes (1990) de que ganhos de eficiência energética levam a um consumo ainda maior de energia são uma real possibilidade para um conjunto de condições bastante razoáveis, e que poderiam inclusive serem satisfeitas para a economia dos Estados Unidos. O trabalho consiste em analisar o comportamento de funções de produção tipicamente utilizadas pela teoria do crescimento econômico neoclássica, supondo variações na eficiência energética. Apenas no caso em que a função de produção CES é utilizada usando

---

<sup>19</sup> As posições de Lovins foram apresentadas em encontro promovido pela IAEE (International Association of Energy Economists), em Novembro de 1986.

um esquema particular os resultados dependem da elasticidade de substituição da energia, nas demais situações o consumo de energia assumindo-se que há ganho de eficiência energética é maior que aquele exibido quando não há ganho de eficiência energética. O aumento no consumo dá-se não apenas por conta da queda no preço real da energia, mas também porque aumenta o crescimento da economia. Além disso, aumentos de eficiência que não são de ordem energética também aumentam o consumo<sup>20</sup>. É neste artigo que a expressão “postulado Khazzoom-Brookes” passa a ser utilizada.

Porém, no final da década de 90, Howarth (1997), fazendo uso da distinção entre energia e serviço energético, conclui que para que se possa inferir que ganhos de eficiência energética estimulam o consumo de ainda mais energia é necessário que se assumam premissas bem pouco razoáveis, ao menos para a realidade dos países desenvolvidos. Howarth (1997, p. 2) considera imprescindível esta distinção:

Este artigo examina um segundo aspecto da análise de Saunders que limita a generalidade de suas conclusões. Saunders não considera a distinção entre uso da energia e serviços energéticos, assumindo que a energia entra diretamente na função de produção. Com efeito, esta abordagem é consistente com a premissa de que serviços energéticos são produzidos somente com entradas de energia. Na realidade, entretanto, serviços energéticos são produzidos usando tanto entradas de energia quanto de não-energia. Como os custos energéticos são tipicamente um pequeno componente do custo total de possuir e operar equipamento que usa energia, grandes melhorias na eficiência podem gerar reduções comparativamente pequenas no custo dos serviços energéticos.

Com base nesta distinção, e utilizando uma função de produção em que os fatores de entrada apresentam-se em proporções fixas, Howarth (1997, p. 6) conclui que para que ganhos de eficiência energética levem a maior consumo de energia é necessário que: “(i) a

---

<sup>20</sup> Estes resultados são consistentes com as opiniões de Jevons (1965, pp. 141-142) sobre a relevância das convergências e interdependências existentes no sistema econômico para a demanda por energia. Outro estudo (não diretamente ligado à área energética, mas importante por conta das considerações que tece sobre desenvolvimento tecnológico) em que as convergências e interdependências são valorizadas é o de Rosenberg (1963), no qual estas são utilizadas para explicar a evolução da indústria de máquinas dos Estados Unidos no período de 1840-1910. O caráter interdependente dos processos econômicos é um ponto muito enfatizado pelos economistas, principalmente aqueles mais voltados à questão do desenvolvimento tecnológico, ao questionarem o uso de muitos dos indicadores apresentados para justificar a adoção das políticas de

energia corresponda à grande fração do custo total dos serviços energéticos; (ii) a produção de serviços energéticos constitua uma fração substancial da atividade econômica”. Como nenhuma destas possibilidades é empiricamente plausível para o contexto dos Estados Unidos, para o qual a análise está orientada, a relevância do postulado Khazzoom-Brookes é questionada.

Mas em artigo publicado em edição especial da *Energy Policy*, Saunders (2000) argumenta que as conclusões de Howarth (1997) devem-se à utilização pelo autor de condições excessivamente restritivas na função de produção, mais especificamente a de que os fatores de entrada apresentem-se em proporções fixas. Fazendo uso de uma função de produção em que esta condição é abandonada, propõe uma modelagem mais abrangente e mais próximo às condições reais, concluindo então que ganhos de eficiência energética necessariamente aumentam o consumo de energia, independente da falha em distinguir energia e serviços energéticos.

Enfim, esta é uma possível forma, bastante resumida, de contar a história do efeito bumerangue. Conforme já afirmado, há elementos que nos remetem a falhas de mercado; outros à teoria do crescimento econômico neoclássica. No entanto, para enfatizar os aspectos referentes relação entre desenvolvimento tecnológico e uso da energia, é necessário ainda deter-se sobre a controvérsia entre Brookes e Grubb, contida numa série de artigos publicados na *Energy Policy*. Howarth (1997, pp. 1-2) resumiu bem a que ponto a controvérsia foi levada nos debates entre Brookes e Grubb:

O trabalho de Khazzoom é baseado num arcabouço de equilíbrio parcial que toma rendas e atividade econômica agregada como fixos. Uma contribuição de Brookes (1990) estende este argumento ao considerar os impactos da eficiência energética no crescimento econômico de longo prazo. O *insight* chave de Brookes é que melhorias de eficiência energética efetivas em custo podem ser vistas como uma forma de progresso tecnológico que melhora a produtividade, promove investimento de capital, e aumenta o crescimento econômico. Como a demanda por serviços energéticos é conduzida pelas rendas dos consumidores e por requisições de energia como fator de entrada, aumento no crescimento deve,

---

eficientização. Brookes (2000), citando Rosenberg, utiliza o termo “princípio da indivisibilidade da produtividade econômica” para referir-se a este processo de interdependência (BROOKES, 2000, p. 362).

tudo o mais igual, conduzir a aumento na demanda por energia. Se este efeito de crescimento é suficientemente elevado, pode compensar os efeitos das reduções nos coeficientes de energia-produção de modo que melhoria na eficiência energética na realidade aumenta o uso de energia.

Brookes (1990, p. 199) estabelece esta hipótese como geralmente válida sem colocar restrições: “Reduções na intensidade energética da produção que não são economicamente danosas para a economia estão associadas a aumentos, não diminuições, na demanda por energia em nível macroeconômico.” Este argumento é formulado através do apelo a anedotas e fatos estilizados referentes à relação histórica entre uso da energia e atividade econômica. Estes particulares do argumento de Brookes são refutados por Grubb (1990, 1992), que afirma que Brookes ignora descobertas contraditórias na literatura empírica sobre o efeito bumerangue. Entretanto, Brookes (1992, 1993) contra-argumenta que a melhoria na eficiência energética tem subestimado largamente os efeitos de retroalimentação induzidos por suas propostas.

As discordâncias entre Grubb e Brookes não podem ser resolvidas a priori, isto é, sem uma análise mais detalhada do problema. E para compreendê-las é necessário empreender um maior detalhamento sobre os termos em que se colocam.

### **2.3 BROOKES X GRUBB**

Em 1990, numa das várias retomadas da discussão sobre as políticas de efficientização, Brookes (1990) volta a questioná-las, numa comunicação que é uma crítica a Keeping e Kats (1988 apud BROOKES 1990, 1989 apud BROOKES 1990)<sup>21, 22</sup>, e que será aqui analisada apenas no que se refere à sua relação direta com o efeito bumerangue. Não será feita uma apreciação da defesa que Brookes (1990) faz da energia nuclear nesta em outras ocasiões, por não ser este o objetivo do trabalho.

---

<sup>21</sup> B. KEEPING e G. KATS, ‘Greenhouse warming: comparative analysis of nuclear and efficiency abatement strategies’ *Energy Policy*, Vol. 16, No. 6, Dezembro de 1988, pp. 538-561.

<sup>22</sup> B. KEEPING e G. KATS, ‘The efficiency renewable synergism’ *Energy Policy*, Vol. 17, No. 6, Dezembro de 1989, pp. 538-561.

Brookes (1990) estabelece sua análise a partir de dois cenários distintos: (a) energia como restrição à atividade econômica; (b) o fator energia não se apresenta como restrição à atividade econômica.

Ao considerar que a energia apresenta-se como restrição à atividade econômica, elenca as seguintes possibilidades: (1) a alta no custo da energia leva o consumidor a abrir mão do uso deste recurso e, como consequência, também das contribuições deste fator para a produtividade; (2) o consumidor responde à alta de custos com um aumento na eficiência de utilização do recurso, o que o torna capaz de suportar a alta de preços ocorrida; (3) o consumidor tenta garantir o uso do recurso pelo acesso a outras fontes existentes. A ocorrência desta última possibilidade levaria a uma queda nos preços.

O autor descarta a possibilidade (1), tomando-a como uma mera referência teórica para comparação. A possibilidade (3) é descartada por não corresponder à realidade do contexto histórico, devido à inexistência de perspectivas de acesso a novas grandes fontes de energia nas formas tradicionais. Detém-se então na alternativa (2).

Nesta alternativa, os ganhos de eficiência energética permitem ao consumidor em alguma medida suportar a alta de preços e desta forma manter os níveis de produção. Além de tornar possível sustentar os níveis de produção, este ganho de eficiência energética levará a um novo equilíbrio entre oferta e demanda. O novo ponto de equilíbrio ocorrerá num nível de consumo de energia maior do que o que teria ocorrido caso os ganhos de eficiência energética não tivessem se realizado. Ou seja, a eficiência energética desempenhará aqui um papel fundamental para sustentar a atividade econômica numa situação em que a restrição no acesso a um recurso importante (energia) aumenta, mas não levará à redução do consumo, como alegam os defensores das políticas de efficientização. Pelo contrário, as possibilidades abertas pela eficiência energética levarão a um consumo de energia maior que aquele que teria ocorrido caso tais ganhos não tivessem acontecido (BROOKES, 1990). Percebe-se que novamente Brookes (1990) enfatiza o papel da energia para a produtividade global do sistema econômico.

No outro cenário proposto por Brookes (1990), em que a energia não se constitui em restrição à atividade econômica, os argumentos são construídos a partir dos trabalhos de Schurr (1982, 1985). Segundo estes trabalhos, a disponibilidade do recurso energia

aumentou a produtividade multifator da economia<sup>23</sup>. As pesquisas de Schurr (1982, 1985) mostram que do ponto de vista da eficiência econômica, a intensidade energética caiu mais em épocas de preços declinantes da energia do que em épocas de preços mais altos. Segundo Schurr (1982, 1985), isto se explica devido ao fato de que o acesso à energia aumentou a produtividade dos fatores trabalho e capital e, conseqüentemente, a produtividade multifator. Assim, embora o consumo de energia tenha crescido consideravelmente neste período, a intensidade energética caiu (portanto, a eficiência medida em termos econômicos aumentou). Esta é uma das principais razões pelas quais a utilização de indicadores de intensidade energética não permite fazer inferências imediatas: a queda neste indicador é perfeitamente compatível com o aumento na demanda por energia.

No entanto, as observações mais consistentes de Schurr (1982, 1985) referem-se ao período anterior às crises do petróleo. O ponto central do argumento de Grubb (1990, 1992), que torna possível que as conclusões de Brookes sobre o efeito bumerangue estejam equivocadas, é o que Grubb (1990) chama de ‘mudança estrutural’. Grubb (1990) não fornece uma explicação mais detalhada do significado desta mudança, apenas faz referência a um importante trabalho publicado em que são apresentadas evidências de que a economia estadunidense estaria passando por um processo de reestruturação no qual a indústria tende a ser cada vez menos energo-intensiva<sup>24</sup>. Cabe ainda diferenciar o processo de mudança estrutural utilizado como argumento por Grubb (1990) de uma suposta transição para uma era de serviços. Não é este o argumento do autor: o que se afirma é que a economia estadunidense, e em especial a indústria, estaria transitando para um modelo menos energo-intensivo. Se isto é verdade, as conclusões do trabalho empírico de Schurr (1982, 1985) quanto ao uso da energia, que são o principal apoio à exposição teórica de Brookes, poderiam não ser extensíveis ao momento histórico atual, ao menos para o conjunto de países em que houve esta ‘mudança estrutural’. A importância desta questão não é apenas teórica, mas também prática: é o argumento mais plausível em favor da utilização das

---

<sup>23</sup> A produtividade multifator consiste na razão entre a produção nacional e as entradas de capital e trabalho.

<sup>24</sup> WILLIAMS, ROBERT H., LARSON, ERIC D., ROSS, MARC H. Materials, affluence, and industrial energy use, **Annual Review of Energy**, No. 12, pp. 99-144, 1987.

políticas de eficiência como instrumento para contornar os problemas ambientais relativos ao uso da energia. A idéia central por trás do argumento de ‘mudança estrutural’ consiste em defender que, ao menos para o conjunto países que efetuaram tal mudança, os custos de oportunidade de *não* fazer da energia propiciada pelos ganhos de eficiência energética seriam suficientemente baixos para justificar, no contexto destes países, a adoção de políticas de eficiência energética<sup>25</sup>. Cabe notar que a aceitação desta linha argumentativa implica em restringir as políticas conservacionistas para lidar com os problemas energéticos, no mais favorável dos cenários às políticas de eficiência, aos países nos quais ocorre esta mudança<sup>26</sup>.

No debate entre Grubb e Brookes, a divergência fundamental deve-se à relevância do fator energia para a obtenção de ganhos de produtividade pelo sistema econômico. Se a mudança estrutural aventada por Grubb de fato existe, e se ela tem reduzido suficientemente a relevância deste fator de produção para o crescimento econômico, então pelo menos para os países em que esta mudança estrutural está em curso as conclusões de Brookes são falsas. Nestes países, a utilização do recurso energia como base material e tecnológica para obter ganhos de produtividade teria importância menor, o que tornaria a adoção das políticas de eficiência não somente plausível mas também desejável, considerando-se que a existência das chamadas falhas de mercado sejam suficientemente altas. Dada a importância desta divergência, convém detalhar as idéias destes autores. Este detalhamento será feito nos capítulos seguintes.

Neste capítulo, cabem ainda alguns comentários finais sobre a literatura que trata do efeito bumerangue.

---

<sup>25</sup> Mesmo assumindo a validade e as conseqüências associadas à hipótese de ‘mudança estrutural’ tal como a pressupõem Schipper e Grubb (2000), a aceitação da pertinência das políticas de eficiência depende ainda de algumas hipóteses adicionais, como por exemplo a existência de ‘falhas de mercado’ em nível suficiente para justificar intervenções governamentais.

<sup>26</sup> Uma análise completa da ‘mudança estrutural’ precisa ainda levar em conta as interdependências entre os países e suas conseqüências para o tratamento dos problemas ambientais, em particular os de natureza global, como é o caso do efeito estufa. No entanto, este cenário favorável às políticas de eficiência é útil para estabelecer uma compreensão inicial.

## **2.4 COMENTÁRIOS SOBRE A LITERATURA RELATIVA AO EFEITO BUMERANGUE**

Uma ausência importante na literatura apresentada é que não há um tratamento sistemático, por vezes não há tratamento algum, da relevância dos processos de especialização econômica para as consequências associadas à alocação dos recursos energéticos. Entre os trabalhos não diretamente preocupados com o efeito bumerangue, mas relacionados ao problema do efeito estufa, nos quais a questão é considerada central pode-se citar Wickoff e Roop (1994) e, mais voltados para a realidade brasileira, Schaeffer e Sá (1996). Isto é ainda mais significativo porque a questão da especialização econômica é um tema tradicional na economia (presente desde Adam Smith).

Outro ponto a ser notado, que possui ligação com a questão levantada no parágrafo anterior, é a concepção de ‘macroeconômico’ como estado-nação, mesmo em se tratando de discutir um fenômeno ambiental que é global, dentro de um processo histórico em que o comércio internacional e a alocação de capital e trabalho cada vez menos respeita fronteiras.

Enfatizando aspectos econômicos, Drucker (1986) defende que este processo de internacionalização em curso não é cíclico, mas irreversível, e que tais mudanças exigem conceitos e teorias hoje ainda inexistentes para tratar os novos problemas que se apresentam. Tais questionamentos não estão colocados na literatura levantada sobre o efeito bumerangue, daí a forma reiterada em que a concepção de ‘macroeconômico’ como estado-nação apresenta-se nos debates. Considerando-se as grandes alterações que vêm ocorrendo no mundo contemporâneo, é possível que esta concepção não seja a mais adequada para tratar problemas ambientais que são globais, como é o caso do efeito estufa. Ainda segundo Drucker (1986, p. 768):

Estas mudanças são mais permanentes que cíclicas. Pode ser que nunca entendamos o que as causou – as causas de mudanças econômicas raramente são simples. Pode levar muito tempo até que os teóricos econômicos aceitem que têm ocorrido mudanças fundamentais, e leve ainda mais até que eles adaptem suas teorias para levá-las em conta. Acima de tudo, certamente serão os mais relutantes em aceitar que é a economia mundial que está em controle, mais que a

macroeconomia do estado-nação na qual a maioria da teoria econômica exclusivamente foca.

Estes pontos resumem os pontos mais importantes sobre a literatura levantada, com relação aos objetivos da dissertação. Como os argumentos de Brookes (2000), contrário às políticas de eficientização, e Schipper e Grubb (2000), defensores de tais políticas, estão bastante ligados à análise da relação entre desenvolvimento e utilização dos recursos energéticos, os argumentos destes autores serão detalhados nos capítulos seguintes.

### 3 A POSIÇÃO DE BROOKES

Conforme já dito, Brookes duvida que subscrever um uso mais eficiente da energia seja um caminho válido para reduzir o consumo de energia. Em sua opinião, há razões teóricas e empíricas para que se possa duvidar das políticas de efficientização energética. Uma das razões apresentadas pelo autor é a de que ganhos de eficiência implicam redução no custo real da energia (2000, pp. 356-357):

[...] tem se afirmado desde Jevons (1865) que o mercado para combustível mais produtivo é maior que para combustível menos produtivo, ou alternativamente que para um recurso encontrar-se num mundo de uso mais eficiente é gozar de uma redução no seu preço implícito com óbvias implicações para a demanda. A maior implicação disto é que eficiência aumentada sempre torna mais fácil acomodar dado nível de preço de combustível e então permite que o equilíbrio oferta/demanda seja estabelecido num nível maior que se a eficiência do combustível permanecesse inalterada.

Supondo-se que haja um aumento nos preços do recurso energia, uma das possibilidades que se apresenta aos consumidores é lidar com este aumento por meio da melhoria da eficiência dos processos que utilizam este recurso<sup>27</sup>. Neste caso, o aumento na eficiência, obtido fisicamente via tecnologia, corresponde economicamente a um aumento na renda real dos consumidores, uma vez que aumenta a capacidade destes de suportar as altas de preço ocorridas (BROOKES, 1990). Tais ganhos de eficiência estabelecem um novo equilíbrio em que a demanda final por energia é maior que aquela que seria possível sem os ganhos de eficiência (BROOKES, 1990). Trabalhos apoiados na teoria econômica neoclássica do crescimento defendem que esta conclusão de Brookes (1990) sustenta-se independente das elasticidades de substituição do recurso energia (KHAZZOOM, 1980). É necessário ainda observar que enquanto o impacto dos ganhos de eficiência do ponto de vista da engenharia são imediatos, os impactos de ordem econômica distribuem-se ao longo do tempo (KHAZZOOM, 1987, p. 86).

---

<sup>27</sup> Outras possibilidades são abrir mão do uso do recurso e introduzir fontes energéticas alternativas. Esta última opção ajudaria a conter a alta nos preços (BROOKES, 1990).

Somente é possível compreender por que Brookes (1990) conclui que os ganhos de eficiência energética levam necessariamente a maior consumo de energia, sem fazer restrições quanto às elasticidades de substituição, ao se considerar que o autor entende o recurso energia como insumo para inovações tecnológicas no sentido de obter ganhos de produtividade, com este fator funcionando como substituto dos fatores trabalho e de outras entradas de capital. A tendência dos agentes econômicos a fazer uso dos ganhos de produtividade associados à eficiência energética no sentido em que propõe Brookes (1992, 2000) está apoiada, do ponto de vista empírico, nos trabalhos de Schurr (1982, 1985).

Para Brookes, ganhos de eficiência energética economicamente justificáveis serão utilizados para obter ganhos de produtividade. Tal fato desencadeia um processo de substituição dos demais recursos por energia, o que por sua vez levará, em algum momento, a um consumo maior do que aquele que haveria caso não ocorressem os ganhos de eficiência energética. São por estas razões que Brookes conclui que as políticas de efficientização não são uma estratégia adequada para tratar os problemas que têm sido utilizados como justificativa para adotá-las: segundo seu raciocínio, o aumento da eficiência energética não leva a uma diminuição no consumo energético, pelo contrário, estimula um aumento ainda maior no consumo de energia e, portanto, das emissões de CO<sub>2</sub>. Sendo assim, a adoção da eficiência energética como instrumento norteador das políticas energéticas preocupadas com as emissões de CO<sub>2</sub> tenderia a produzir efeitos contrários aos buscados. Em suma, as políticas de efficientização energética seriam funcionalmente inadequadas para a consecução dos objetivos utilizados para justificá-las, devido ao papel que o recurso energia exerce como instrumento de inovação tecnológica e obtenção de ganhos de produtividade no sistema capitalista.

Deve ficar claro que as críticas de Brookes não se referem aos ganhos de eficiência energética *per se*. Num ambiente em que um recurso, energia ou qualquer outro, apresente restrições a seu uso, uma decisão economicamente plausível é que os agentes busquem utilizar este recurso de modo mais eficiente. Mas disto não decorreria que ganhos de eficiência energética sejam o meio mais adequado para lidar com problemas ambientais relativos ao uso da energia: o que Brookes argumenta é que, considerando a forma como o recurso energia tem sido utilizado pelos agentes econômicos, políticas de efficientização

energética não são um instrumento plausível para perseguir os fins ambientais estipulados, em particular a redução das emissões antropogênicas de carbono.

Em artigo publicado na edição especial da *Energy Policy* sobre o efeito bumerangue, Brookes reconhece não haver provas definitivas para a tese de que ganhos de eficiência energética obtidos no plano microeconômico levam necessariamente a um consumo de energia no plano macroeconômico maior que aquele que haveria caso tais ganhos não existissem. Porém, afirma que o “caso para o assim chamado postulado Khazzom-Brookes pode ser argumentado a priori. Também é apoiado pela experiência histórica e tem *algum* apoio da teoria de crescimento econômico neoclássica” (BROOKES, 2000, p. 364).

Admite ainda que o “apoio empírico ao que pode ser chamado a escola de Jevons é apenas sugestivo” (2000, p. 358). Menciona como evidência estudos que constatam que para os Estados Unidos o crescimento do consumo de energia tem sido uma constante, a despeito da queda no consumo específico. Citando Schurr (1982, 1985), afirma que os ganhos de produtividade da energia têm produzido efeitos sobre a produtividade dos fatores trabalho e capital, e que este fato torna os indicadores macroeconômicos para avaliar o impacto da eficiência energética pouco confiáveis. Isto porque, para se avaliar o consumo específico associado às atividades econômicas, toma-se a energia como numerador e os valores econômicos como denominador (razão energia/atividade econômica). Porém, como a energia produz impacto sobre a produtividade de outros fatores, tais como capital e trabalho, o consumo específico associado ao uso da energia pode cair sem que isto signifique uma queda no consumo de energia: basta que a produtividade conjunta dos fatores cresça mais rápido que a do fator energia tomado isoladamente para que o denominador aumente mais rápido que o numerador e, portanto, tenhamos queda na intensidade energética. Ou seja, a rigor não seria possível separar a contribuição de cada um dos fatores para o aumento da produtividade. Sob condições normais<sup>28</sup>, a intensidade energética na economia dos Estados Unidos apresentou tendência decrescente durante o século XX, apesar do enorme aumento do consumo de energia. Brookes cita ainda

Jorgenson (1984, 1986) como estudo de caráter econométrico que confirma as conclusões de Schurr.

Além disso, mostra a revolução industrial como exemplo no qual ganhos de eficiência dispararam um processo de alto consumo de energia (BROOKES, 2000, p. 359):

Com o risco de sofrer a acusação de argumentar com base num exemplo anedótico, o caso seguinte mostra como nos estágios iniciais da revolução industrial uma melhoria na eficiência de conversão energética pode ser vista como conduzindo a aumento de consumo de energia. Um dos primeiros exemplos de uma máquina energética usando energia de combustível (diferente de vento ou hidrelétrica) foi a versão melhorada de Newcomen da bomba de Savory (para retirar a água das minas de carvão). Entretanto, a eficiência térmica da máquina de Newcomen era muito baixa – estimada em apenas 0,75%. Para trabalhar, digamos, 12 HP tal máquina tinha de queimar cerca de 4 t de carvão por dia. Com a tecnologia de mineração daquele tempo teria tomado o trabalho de pelo menos quatro ou cinco mineiros apenas para produzir o carvão para queimar o combustível de cada bombeamento. Com o aperfeiçoamento posterior de Watt na máquina de bombear, usando um condensador separado para evitar as perdas térmicas ocasionadas pelo resfriamento do cilindro de cada pistão, a eficiência térmica aumentou para 4%. Esta versão queimaria somente cerca de três quartos de uma tonelada de carvão por dia. É razoável supor que apenas alguns donos de minas teriam estado preparados para instalar a versão de Newcomen. O bastante considerável aperfeiçoamento em eficiência de combustível da versão de Watt, entretanto, pôde ser o que era necessário para ter bombas movidas a queima de carvão em larga escala.

Ou seja, o aumento da eficiência energética não somente levou a um aumento do consumo de energia: a tecnologia, ao tornar possível fazer uso de maiores quantidades de energia, aumentou a produtividade de outros fatores de entrada (capital e trabalho), tornando economicamente possível a revolução industrial inglesa. Os ganhos de eficiência, no caso daquele momento histórico, não somente estiveram associados a maiores consumos de energia: esta associação, em termos econômicos, apresentou-se como desejável.

---

<sup>28</sup> Condições normais são aquelas em que os preços da energia não se constituem em grande restrição à atividade econômica. As condições que não são normais são aquelas tais como a segunda crise do choque do petróleo (BROOKES, 2000, p. 358), em que o preço da energia é altamente restritivo à atividade econômica.

Em artigo de outra edição da *Energy Policy*, na qual debate a questão da eficiência energética com Grubb, Brookes enuncia com bastante clareza seu ponto de vista quanto à relação entre eficiência energética e atividade econômica (BROOKES, 1992, p. 391), e porque a queda nos indicadores de intensidade energética não significa menor consumo de energia:

Se a energia/preço não é a restrição à atividade econômica (cenário 2) alguma outra coisa é. Comportamento racional requereria substituição absoluta ou relativa dos recursos mais escassos (trabalho e capital) pelo menos escasso (energia), o que faria a produtividade da energia crescer menos rapidamente que a de outros fatores de entrada. Quanto mais rápido o crescimento da produtividade da energia, menor o preço implícito e maior o incentivo para fazer a substituição nesta direção. O inverso leva a uma redução *ad absurdum*. Se a energia (relativamente não constringida) pudesse sustentar crescimento de produtividade mais rápido que o dos principais fatores de produção (capital e trabalho) isto implicaria na substituição relativa contínua ou absoluta da energia por fatores de entrada não energéticos num momento de fornecimentos já crescentes cada vez mais baratos às já não restritas fontes energéticas. Quanto mais rápido o crescimento da produtividade da energia, maior o absurdo de uma substituição nesta perversa direção. Grubb argumenta que os mercados são imperfeitos. Seria surpreendente se não o fossem. Mas não são perversos – o que eles teriam de ser para que as pretensões de Grubb se confirmem.

O cenário 1 corresponde a uma situação na qual o preço da energia é uma restrição ao nível de atividade econômica. No contexto da referida discussão, Brookes e Grubb concordam que, nas condições estabelecidas por tal cenário, o aumento da eficiência energética não reduz a demanda por energia (GRUBB, 1990, p. 783; BROOKES, 1992, p. 390). Discordam entretanto sobre quais seriam as consequências de um ganho de eficiência energética no caso em que o preço da energia não é uma restrição à atividade econômica (cenário 2)<sup>29</sup>. As explicações acima foram apresentadas no âmbito desta divergência, que na realidade reflete diferentes visões sobre a forma como o fator energia contribui para a produtividade do sistema econômico.

---

<sup>29</sup>As condições dos países em desenvolvimento correspondem em geral às condições do cenário 1.

Para Brookes (1990, 2000) as avaliações referentes ao potencial para economizar energia não dão o devido peso ao papel desempenhado pela energia nos aumentos de produtividade verificados ao longo do século XX. No entender do autor, os conservacionistas têm cometido a “falácia da composição” (Brookes, 2000, p. 358) em suas análises das tendências de consumo de energia. Estas análises estariam ignorando a realidade observada de que a produtividade conjunta dos fatores trabalho, capital e energia tem sido maior que a produtividade destes fatores quando medida isoladamente.

Tais distorções refletem a não observância do que o autor denomina “princípio da indivisibilidade da produtividade econômica”, expressão segundo ele criada por Rosenberg (BROOKES, 2000, p. 362). Por esta linha argumentativa Brookes (2000) procura enfatizar que os aumentos na produtividade econômica não são fruto de um evento localizado, mas de um processo mais amplo de realocação dos recursos disponíveis, em que os diferentes fatores são interdependentes e a contribuição de cada um deles para o crescimento global varia ao longo do tempo, em função da efetiva disponibilidade dos recursos (BROOKES, 2000, p. 362):

Sutherland (1998) argumentou, com base num minucioso estudo de seis indústrias nos Estados Unidos, que “a eficiência energética aumenta, não como um esforço direto para reduzir o uso da energia, mas como um resultado de melhoria na produtividade global em todos os fatores de entrada. Em termos econômicos capital e energia apresentam-se como complementos não como substitutos”. Num artigo anterior Rosenberg (1981) mostrou como dois avanços na fabricação de aço – um com o objetivo de atingir economias de escala e outro de aumentar a utilização de minério – produziu bônus de eficiência energética.

Rosenberg defendeu em outra parte que a eficiência energética deveria ser considerada simplesmente como parte da eficiência econômica geral.

Cabe ainda apresentar uma outra divergência relevante entre os conservacionistas e a posição de Brookes (2000). Como ganhos de eficiência diminuem o custo real da energia, Brookes conclui que aumentos de eficiência energética e novas fontes de energia não são sinônimos. Novas fontes sempre aumentam a competição entre os produtores de energia, portanto, pressionam para baixo o preço deste fator. Já os ganhos de eficiência, por diminuírem o custo real da energia, tornam possível suportar os preços em níveis mais altos

(BROOKES, 2000, nota 7, p. 356). Conclui daí que ganhos de eficiência e novas fontes não podem ser vistos como equivalentes.

Entretanto, a crítica de Brookes à não equivalência pode, embora não equivocada, conter alguns exageros. Se ganhos de eficiência e novas fontes fossem equivalentes com relação a toda e qualquer característica, nem mesmo a distinção nominal entre as duas seria feita. A equivalência aqui buscada, e é possível questioná-la também nesta esfera restrita, é a de que para o consumidor seria indiferente, do ponto de vista de ter acesso ao serviço energético, usufruir de tal serviço por que houve ganhos de eficiência energética ou porque novas fontes de energia foram descobertas: o comportamento do consumidor, presumem os defensores da equivalência, seria o mesmo em ambas as situações. A vantagem da opção por um aumento na eficiência energética seria a de que esta possibilitaria disponibilizar o mesmo serviço energético com menor impacto ambiental (em particular, menores emissões de CO<sub>2</sub>). Todas as críticas de Brookes às políticas de efficientização energética podem também ser interpretadas como questionamentos a esta equivalência, aqui devidamente circunscrita. É preciso entretanto admitir que, até por conta da dinâmica das discussões políticas, todas estas delimitações não estão claramente feitas nos debates, o que dá peso às assertivas de Brookes de que os especialistas estariam defendendo uma arbitrária equivalência geral entre ganhos de eficiência e novas fontes.

Estes pontos delineiam as idéias principais de Brookes quanto ao efeito bumerangue e, num sentido mais amplo, suas posições quanto à relação entre energia e atividade econômica. Mas talvez sejam ainda insuficientes para avaliar a o peso da argumentação deste autor. Para fazer esta avaliação, é altamente conveniente reportar-se aos trabalhos de Schurr (1982, 1985). Os estudos de Schurr (1982, 1985) para a economia estadunidense não são apenas uma evidência empírica do argumento teórico apresentado por Brookes (2000), mas também uma oportunidade para entender melhor o papel da energia como instrumento de desenvolvimento econômico e tecnológico. Schurr (1985, p. 130), defende que o acesso a formas convenientes do fator de produção energia tem desempenhado um papel *essencial* nos aumentos de produtividade obtidos pela evolução tecnológica da economia dos Estados Unidos. A visão de Schurr sobre a função tecnológica da energia permite avaliar empiricamente a pertinência das idéias de Brookes. Afinal, conforme notou Howarth

(1997), o ponto central das idéias de Brookes (1990) é sua percepção do papel que a energia desempenha para a produtividade do sistema econômico, questão estudada em detalhe por Schurr, no plano empírico. Sendo assim com o intuito de compreender melhor esta questão, vale a pena deter-se sobre alguns dos trabalhos de Shurr (1982, 1984, 1985).

### **3.1 O EMPIRISMO DE SCHURR**

Os trabalhos de Schurr (1982, 1985) restringem-se à realidade dos Estados Unidos, mas são suficientes para evidenciar a posição dos economistas mais ligados aos problemas da área tecnológica quanto ao papel do recurso energia. Ao se analisar a trajetória do indicador intensidade energética (unidades de energia necessárias para produzir uma unidade do PNB) dos Estados Unidos no século XX, nota-se uma tendência consistente de queda neste indicador. Tal tendência nem sempre existiu. No período de 1880-1920, a intensidade energética aumentou a uma taxa média anual de 2,2 % (SCHURR, 1982, p. 4, nota 1). A observação desta tendência mais recente poderia levar a concluir que o recurso energia desempenha um papel cada vez menos importante na economia dos Estados Unidos. Afinal, menos unidades de energia são requeridas para produzir cada unidade do PNB. Com o intuito de compreender a relação entre eficiência energética e produtividade, é conveniente fazer uso das tabelas seguintes, elaboradas por Schurr (1982, 1984, 1985):

Taxas percentuais médias anuais de mudança na intensidade energética, produtividade multifator, e custos de energia nas empresas domésticas privadas, 1920-1981			
Período <sup>a</sup>	Intensidade Energética	Produtividade Multifator	Custos Relativos de Energia e Combustível
Período de declínio na intensidade energética nacional			
1920-1953	-1,2	2,1	-1,0
1920-23	-2,2	3,6	-3,0
1923-26	-2,7	2,0	1,1
1926-29	-1,1	1,5	-4,5
1929-37	-0,2	1,1	0,4
1937-44	-1,3	3,1	-1,7
1944-48	1,2	-0,1	-0,4
1948-53	-2,9	3,6	-0,6
Período de estabilidade comparativa na intensidade energética nacional			
1953-1973	-0,1	2,3	-0,3
1953-57	0,3	1,6	0,1
1957-60	0,1	2,2	-1,6
1960-69	-0,2	2,7	-0,8
1969-73	-0,3	2,2	1,3
Período pós-embargo de declínio na intensidade energética			
1973-1981	-2,4	0,4	11,4
1973-79	-1,9	0,6	9,6
1979-81			16,9

<sup>a</sup>Sub-períodos são definidos por anos de pico dos ciclos econômicos, de modo a eliminar erros que poderiam inadvertidamente ocorrer quando comparando anos correspondentes a diferentes fases do ciclo econômico.

Observação: as definições utilizadas estão descritas no Apêndice 1.

**Tabela 3.1 – Evolução da Intensidade Energética nos Estados Unidos (1920-1981)**

[fonte: Schurr, 1984, 1985]

Optou-se por detalhar as definições empregadas nas tabelas no Apêndice 1. A Tabela 3.1 e a Tabela 3.2 constam de Schurr (1985), mas a definição completa dos termos utilizados não consta nesta referência, podendo ser encontrada em Schurr (1984). Cada período longo é composto por um conjunto de sup-períodos. Cada sub-período é definido a partir dos picos de crescimento. Sem a divisão em sub-períodos não seria possível afirmar

com segurança se variações observadas na produtividade, tal como definida para efeito de medição, são de fato ganhos de produtividade ou meras variações sazonais ligadas ao ciclo de desenvolvimento. Os sub-períodos permitem isolar a análise destas variações cíclicas, dando maior peso às evidências observadas. A curva completa da tendência de crescimento pode ser interpretada como uma curva com vários máximos locais, com cada um destes máximos locais definindo um sub-período.

Razão entre uso da energia e entradas de capital e trabalho, anos selecionados, 1899-1981 (Índice: 1973 = 100).						
Empresas privadas domésticas			Indústria			
Ano <sup>a</sup>	Energia por entradas de trabalho	Energia por entradas de capital	Energia por entradas de capital e trabalho	Energia por entradas de trabalho	Energia por entradas de capital	Energia por entradas de capital e trabalho
1899	22,0	45,5	27,5	25,1	73,8	31,1
1910	33,6	66,0	41,5	39,1	86,1	46,9
1913	35,4	68,5	43,5	43,8	83,7	51,2
1918	40,1	74,3	48,6	45,7	86,7	53,3
1920	39,7	68,7	47,2	44,2	75,3	50,4
1923	41,2	72,2	49,1	47,0	73,4	52,5
1926	40,8	69,3	48,2	48,3	71,0	53,1
1929	41,9	67,5	48,1	49,2	73,4	54,1
1937	45,8	68,9	52,5	52,6	82,0	58,6
1944	49,7	89,5	59,3	47,2	118,8 <sup>a</sup>	58,3
1948	53,5	85,2	61,9	55,9	94,5	63,7
1953	57,3	81,1	64,3	60,1	93,9	67,3
1957	63,7	81,3	69,2	66,8	88,3	71,9
1960	69,5	83,2	74,0	72,3	89,8	76,5
1969	91,2	96,2	92,8	88,0	96,3	90,3
1973	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
1979	94,7	88,0	92,4	98,4	82,7	93,9
1981	88,6	77,7	84,9	92,3	66,3	84,7

<sup>a</sup>Anos de pico dos ciclos.

<sup>b</sup>Este resultado aparentemente anômalo reflete o fato de que entre 1937 e 1944 tanto as entradas de energia quanto de capital cresceram a altas taxas, mas as entradas de capital não. Este foi, obviamente, um período anormal por causa da segunda guerra mundial.

**Tabela 3.2 – Razão entre Uso da Energia e Entradas de Capital e Trabalho para os Estados Unidos (1899-1981)**

[fonte: Schurr, 1984, 1985]

Pela Tabela 3.1 conclui-se que a tendência de queda no indicador de intensidade energética tem sido bastante consistente, mas esta não se apresenta de maneira uniforme ao longo século XX. No período de 1920-1953 grandes quedas na intensidade energética estiveram associadas a grandes aumentos na produtividade multifator. Como primeiras hipóteses explicativas para as tendências observadas na trajetória do indicador intensidade energética, apresentam-se (SCHURR, 1982, p. 5): (1) a mudança na composição da estrutura produtiva, com a indústria energo-intensiva tendo uma participação cada vez menor na PNB, o que tende a reduzir a intensidade energética; (2) a melhoria na eficiência térmica dos processos de conversão, possibilitando que mais trabalho e energia útil sejam extraídos das fontes energéticas. No entanto, estas hipóteses são consideradas insuficientes por Schurr (1982, p. 5), pois não permitem relacionar a trajetória das intensidades energéticas na economia dos Estados Unidos às tendências também observadas de aumentos de produtividade. De fato (SCHURR, 1985, p. 128):

Evidência empírica apóia a proposição de que um aumento na eficiência produtiva global geralmente requer a substituição de trabalho por energia e máquinas. Por que, então a intensidade de uso da energia declinou, quase que caprichosamente, durante um período extenso de tempo enquanto a produtividade global aumentava? Tudo o que nós sabemos sobre mecanização e progresso técnico não indica que a intensidade energética deveria aumentar, não cair? O fato é que este é um paradoxo apenas aparente, porque a intensidade de uso da energia, na realidade, aumentou; mas aumentou em relação a outras entradas de capital e trabalho, não em relação à produção. Entre 1920 e 1973 a razão entre uso total de energia e homens-hora nas empresas mais que dobrou e, em relação ao capital, aumentou cerca de 50% (ver tabela 2 [Tabela 3.2 nesta dissertação]). A razão pela qual, apesar disso, o uso da energia caiu em relação à produção é que a produção final da economia cresceu ainda mais rápido que o crescimento no consumo de energia.

Pelas hipóteses (1) e (2) não é possível explicar por que precisamente os períodos de maior aumento na produtividade tendem a ser aqueles em que se observa maior queda na intensidade energética. Por estas hipóteses, deveríamos observar menores reduções na intensidade energética em períodos de maior aumento na produtividade: quanto maior o crescimento da produtividade, maior a substituição de trabalho por capital na forma de

energia e máquinas. Nota-se ainda, pela Tabela 3.2, que capital e trabalho têm sido substituídos por energia, conforme depreende-se da evolução dos indicadores energia por entradas de trabalho e energia por entradas de capital. Ou seja, as hipóteses (1) e (2) não permitem fornecer uma explicação plausível para as trajetórias observadas de intensidade energética e ganhos de produtividade (SCHURR, 1985, p. 127):

É evidente que do ponto de vista do crescimento tanto para a produtividade energética (o inverso da intensidade energética) quanto para a eficiência produtiva global (multifator de produtividade), o melhor desempenho foi registrado durante o longo período de 1920 ao início dos anos de 1950. Vale notar que para cada intervalo intra-cíclico deste período, enquanto o multifator de produtividade crescia, havia um declínio na intensidade de uso da energia. Igualmente impressionante é a tendência em direção a uma relação inversa entre o multifator de produtividade e a intensidade energética: períodos de rápido crescimento na produtividade tendem também a serem períodos de declínios maiores que a média na intensidade energética, enquanto períodos de pequeno crescimento na produtividade tendem a registrar declínio menor que a média na intensidade energética; e no único período em que a intensidade energética aumentou (1944-1948), não houve nenhum crescimento no multifator de produtividade.

Tais considerações levam o autor a complementar as hipóteses (1) e (2) por uma terceira hipótese. Afirma que não apenas as quantidades de energia, mas também a utilização de novas formas energéticas deve ser considerada para explicar a contribuição do fator energia para o aumento da produtividade da economia. Para Schurr (1982), o acesso a novas formas de energia aumentou consideravelmente a flexibilidade do sistema econômico, tendo grande peso para a determinação dos aumentos de produtividade observados. Por exemplo, a ineficiência térmica de conversão para obter eletricidade foi ao longo do século XX mais que compensada pelas possibilidades tecnológicas e econômicas abertas por esta forma de energia. Na indústria, o processo de eletrificação eliminou inúmeras restrições relacionadas ao uso dos motores (SCHURR, 1982, p. 6), permitindo um maior controle das operações e a execução de processos de especialização cada vez mais

convergentes, o que redundou em grande aumento da produtividade<sup>30</sup>. Embora a eletricidade seja apresentada como destaque, a importância do acesso a novas formas de energia não se resumiu à energia elétrica. Na agricultura, elevados ganhos de produtividade foram obtidos pela utilização do motor de combustão interna. Esta mesma tecnologia produziu impactos sobre o transporte de cargas (SCHURR, 1982, pp. 6-7). Em comparação com os combustíveis sólidos que haviam dominado a era anterior de uso da energia, os combustíveis líquidos e a eletricidade representaram um grau de flexibilidade no uso muito maior, o que levou ao aumento da produtividade global do sistema econômico (SCHURR, 1985, p. 129). Ou seja, o impacto da energia sobre a produtividade não se deve unicamente ao acesso a quantidades cada vez maiores de energia, mas também ao acesso a formas cada vez mais flexíveis de uso.

Em termos concretos, afirmar a importância econômica da flexibilidade das formas energéticas corresponde a afirmar que a produtividade conjunta dos fatores energia, capital e trabalho tem sido maior que a produtividade do fator energia medido isoladamente. Daí que a queda observada nos indicadores de intensidade energética não é sinal da menor importância do fator energia para a produção, mas do grande aumento de produtividade propiciado pela utilização sinérgica dos fatores capital, trabalho e energia (SCHURR, 1982, p. 9), tal como defende Brookes (2000). Claramente, por perspectivas bastante diferentes na forma, os dois autores defendem essencialmente a mesma tese: acesso favorável ao recurso energia, não apenas em termos quantitativos, mas também qualitativos, foi um instrumento tecnológico dos mais importantes no processo de aumento da produtividade do sistema econômico ao longo do século XX (BROOKES, 2000; SHURR, 1982).

O mérito da análise de Schurr não é apenas empírico. A partir do conhecimento da teoria econômica sobre como ganhos de produtividade são obtidos (em especial, no que diz respeito à substituição de trabalho por capital, na forma de máquinas e recursos naturais), o autor conseguiu fazer uma leitura dos dados quantitativos consistente com uma série de

---

<sup>30</sup> Sobre o papel da eletricidade, ver Du Boff (1967) e Rosenberg (1998). Embora Schurr (1982) e as referências nesta nota citadas não abordem a questão, é importante observar ainda a relevância da forma energética eletricidade para a constituição e consolidação do sistema de telecomunicações: a facilidade para alterar as características das ondas eletromagnéticas, uma consequência das particulares qualidades da energia elétrica, é de fundamental importância para a possibilidade e realidade destes sistemas. Tecnicamente, estas possibilidades são interpretadas dentro da Engenharia a partir do conceito de ‘modulação’.

outros estudos de história econômica que também tentam explicar o processo pelo qual ganhos de produtividade são obtidos.

Os estudos de Schurr permitem compreender com maior clareza que a divergência entre Brookes (2000) e os conservacionistas<sup>31</sup> reside na interpretação que Brookes (2000) faz quanto à *função tecnológica* que o recurso energia desempenha na atividade econômica. É levando em consideração esta função que Brookes (2000) opõe-se às políticas de efficientização. Tal função impõe relações objetivas independentes das expectativas que os conservacionistas guardam quanto às possibilidades das políticas de efficientização, e que segundo Brookes (2000) colocam as políticas de efficientização em contradição com os objetivos que buscam.

É por esta razão que a melhor defesa das políticas de efficientização é aquela que recusa que a energia desempenha a função tecnológica suposta por Brookes (2000), e também por outros economistas da energia. Em Grubb (1990), esta recusa é baseada na hipótese de que a mudança estrutural em curso na economia dos Estados Unidos, e dos países desenvolvidos de modo geral, teriam diminuído a relevância do recurso energia para a atividade econômica, ou pelo menos alterado a forma como este recurso tem sido utilizado para obter ganhos de produtividade, de modo que o postulado Khazzoom-Brookes torna-se pouco relevante. Haveria razão para pressupor isto? Na realidade, dado o grau de mudanças que vem ocorrendo na estrutura produtiva dos países nas últimas décadas, não é possível descartar, a priori, a possibilidade levantada por Grubb (1990). Cabe portanto estudar em maior detalhe suas idéias, o que será feito no próximo capítulo.

---

<sup>31</sup> Conforme já afirmado, esta é apenas uma das formas de divergência possíveis. Sutherland (1996) enfatiza as falhas de mercado; e Khazzoom (1980) analisa o efeito das políticas de efficientização tomando rendas e atividade econômica agregada como constantes, numa análise de equilíbrio parcial (HOWARTH, 1997, pp. 1-2).

## 4 A POSIÇÃO DE SCHIPPER E GRUBB

No artigo em que sintetizam suas conclusões, Schipper e Grubb (2000) buscam evidências do efeito bumerangue fazendo uso de metodologia que supere as limitações dos tradicionais indicadores de intensidade energética (energia/PNB). Para isto, desenvolvem um indicador Laspeyres que desagrega os fatores intensidade, estrutura e atividade econômica. Além disso, sub-dividem a economia em setores e buscam evidências do efeito bumerangue nestes setores. Também avaliam se há relação entre crescimento econômico e ganhos de eficiência energética que apóiem a validade do postulado Khazzoom-Brookes. Desta exposição introdutória conclui-se que a abordagem dos autores trabalha no sentido de apresentar evidências *negativas* questionando o postulado Khazzoom-Brookes.

Como justificativa teórica para os resultados que apresentam, Schipper e Grubb (2000) propõem que mudanças estruturais ocorridas nestes países têm permitido que a economia como um todo cresça menos que os serviços energéticos<sup>32</sup>. Para os autores o efeito bumerangue tende a ser pequeno no contexto de “setores maduros de economias maduras, e somente potencialmente grandes em alguns poucos casos” (SCHIPPER e GRUBB, 2000, 368). Cabe acrescentar que restringem suas conclusões ao âmbito dos países que estudam, em que a energia não seria uma restrição à atividade econômica, por conta de sua pequena participação no total da renda (SCHIPPER e GRUBB, 2000, p. 386):

Enfatizamos que nossas descobertas estão baseadas no exame de países com alta renda. Em países de baixa renda, custos de energia e energia são sempre uma restrição à atividade industrial (Schipper e Meyers, 1983).

---

<sup>32</sup> Schipper e Grubb (2000) utilizam o termo ‘mudança estrutural’ em vários pontos do artigo da *Energy Policy*. Mas no que diz respeito às explicações para a não validade do postulado Khazzoom-Brookes, o termo ‘mudança estrutural’ refere-se especificamente a Williams et al. (1987), em que se apresentam evidências de que a economia estadunidense estaria transitando para um modelo menos energético-intensivo de desenvolvimento. Ainda com relação às explicações para a não validade do postulado Khazzoom-Brookes e ao uso do termo ‘mudança estrutural’ em Schipper e Grubb (2000, p. 385): “Estas observações sugerem que o debate sobre o efeito bumerangue tem sobrestimado a importância da energia na determinação do mix de atividades econômicas e humanas na economia”. Por estas assertivas, feitas após a apresentação da análise empírica, percebe-se que a disponibilidade do recurso energia não é vista como um elemento essencial para a produtividade do sistema econômico, tal como defendem Schurr (1985) e, por outras vias, também Brookes (2000). Cabe ainda enfatizar que nem sempre, ao referir-se à importância da estrutura econômica, Schipper e Grubb (2000) tratam das questões levantadas nesta nota. A referência a Williams et al. (1987) é na verdade

A sequência seguida pelos autores é apresentar sua definição do efeito bumerangue e estabelecer medidas de intensidade energética avaliando sua relação com o crescimento econômico, para então delinear suas conclusões.

#### **4.1 APARATO CONCEITUAL E METODOLÓGICO**

Schipper e Grubb (2000) entendem o efeito bumerangue segundo várias perspectivas distintas. No plano microeconômico, ganhos de eficiência energética podem levar os usuários finais a consumirem mais energia e serviços energéticos, num processo que denominam de “substituição de produto” (SCHIPPER e GRUBB, 2000, p. 368). Ainda neste plano, ganhos de eficiência energética podem estimular a substituição de capital e trabalho por energia. Enquanto o primeiro tipo de substituição é mais imediata, o segundo depende dos tempos de retorno do capital investido (SCHIPPER e GRUBB, 2000, p. 368). Os processos associados ao efeito bumerangue no plano microeconômico são denominados micro-bumerangue.

No plano macroeconômico, ganhos de eficiência energética podem estimular o crescimento econômico e, desta forma, um consumo ainda maior de energia<sup>33</sup>. Além disso, ganhos de eficiência energética podem estimular o crescimento de setores que são mais intensivos em energia, o que pode desencadear um processo de modificação na estrutura econômica com profundas implicações para a relação entre energia consumida e riqueza produzida, aumentando a demanda por energia (SCHIPPER e GRUBB, 2000, p. 368).

Voltando ao plano microeconômico, além das formas de substituição já citadas, outro efeito associável aos ganhos de eficiência energética é o aumento na renda dos consumidores. Ganhos de eficiência energética permitem que os consumidores possam dispor da mesma quantidade de serviços energéticos gastando uma parcela menor de suas rendas (em relação à situação em que estes ganhos não existem). Sendo assim, há um aumento na renda real dos consumidores. Daí que além dos efeitos de substituição já mencionados, os ganhos de eficiência implicam também em efeitos renda no plano microeconômico, o que também tende a aumentar o consumo de energia. Schipper e Grubb

---

feita por Grubb (1990), em meio a um conjunto de artigos em que debate as políticas de efficientização (Brookes, 1990, 1992, 1993; respostas de Grubb, 1990, 1992).

(2000) argumentam que como os dispêndios com energia são uma parcela pequena da renda dos consumidores dos países desenvolvidos, no contexto destes países este efeito tende a ser pouco relevante (SCHIPPER e GRUBB, 2000, p. 368):

Mesmo se a elasticidade da renda do uso direto de energia é 1, então se uma dona-de-casa média, devotando 6% de seus gastos a combustível e eletricidade, economizasse 1/3, isto significaria 2% de aumento na renda. Donas-de casa agora usariam 1,02 vezes 4% de seus dispêndios ou 4,08%, para energia, um bumerangue praticamente desprezível. Quase todas as outras formas de gasto dos consumidores tipicamente levam a somente 5-15% do dispêndio indo indiretamente para pagar energia [...].

Baseados nestas definições, os autores buscam evidências da ocorrência do efeito bumerangue no conjunto de países que estudam. Esta busca de evidências por sua vez está apoiada numa metodologia que tem por objetivo superar as limitações dos indicadores de intensidade energética tradicionais. Esta metodologia está bem descrita em Schipper e Meyers (1992, p. 108):

A abordagem que usamos para quantitativamente descrever os impactos relativos de mudanças na atividade, estrutura, e intensidade energética sobre o uso de energia setorial agregado está fundamentada no uso de índices de peso fixo ou Laspeyres.

Considere a evolução do uso da energia da indústria de um país ao longo do tempo. A atividade setorial (A) é definida como produção industrial total, medida em termos de valor real adicionado. Mudança estrutural refere-se a mudanças na participação relativa no valor adicional gerado por cada grupo industrial  $S_i = A_i/A$  onde  $A_i$  é a produção do iésimo sub-setor.  $I_i$  é a intensidade energética, ou uso de energia por unidade de produto, do iésimo sub-setor. Sob estas definições, o uso da energia na indústria (E) pode ser escrito na forma:

$$E = A * \sum_i S_i * I_i$$

Por esta identidade fica claro que impactos em E de mudanças na atividade, estrutura, e intensidade não podem ser singularmente desagregados de modo linear. Entretanto, podemos encaminhar a seguinte questão: se apenas a

---

<sup>33</sup> A rigor, o postulado Khazzoom-Brookes refere-se especificamente a este caso.

atividade, somente a estrutura, ou somente a intensidade energética tivessem mudado ao longo do tempo enquanto os outros dois fatores permaneceram constantes, como o uso da energia teria mudado ao longo do tempo?

Se subscritos 0 e  $t$  referem-se a valores assumidos pelas variáveis nos períodos base e atuais [respectivamente], os seguintes índices Laspeyres podem ser definidos para responder estas questões:

$$LA_t = (A_t * \sum_i S_{i0} * I_{i0}) / E_0$$

$$LS_t = (A_0 * \sum_i S_{it} * I_{i0}) / E_0$$

$$LI_t = (A_0 * \sum_i S_{i0} * I_{it}) / E_0$$

**LA** mede a mudança no uso de energia que teria ocorrido dadas mudanças reais na produção, mas fixadas a estrutura e a intensidade; **LS** mede a mudança que teria ocorrido devido à mudança estrutural se a produção e a intensidade tivessem permanecido constantes; e **LI** captura o desenvolvimento do uso da energia dadas intensidades energéticas reais com produção e estrutura fixadas. As mudanças nestes índices geralmente não perfazem a mudança real no uso da energia, devido às interações entre os vários efeitos. Estes termos de interação geralmente são pequenos.

Juntamente com esta metodologia, é feita uma análise dos setores residencial, industrial, serviços e de transportes. Além da busca por efeitos bumerangues no âmbito destes setores, é feito também um estudo do consumo de energia no agregado econômico total, buscando identificar evidências que corroborem o efeito Jevons.

A proposta metodológica dos autores defende que: (a) estabelecendo medidas físicas de eficiência (tais como kWh/ano) podem ser superadas as deficiências inerentes ao indicador baseado na razão uso da energia pelo PNB; (b) a abordagem desagregada permitiria identificar para que setores específicos a eficiência energética constitui-se em estímulo à atividade econômica, o que possibilitaria definir uma agenda de prioridades, em função dos problemas encontrados. A análise desenvolvida por Schipper e Grubb (2000), que enfatiza o estudo desagregado da energia, com bastante peso sendo dado ao estudo dos setores específicos, é uma tentativa de satisfazer (a) e (b).

Com relação à utilização do indicador Laspeyres, no que se refere ao fator intensidade energética, este tem por objetivo fornecer resultados quantitativos que funcionem como uma medida das economias de energia (SCHIPPER e GRUBB, 2000, p. 369):

Definimos ‘economias de energia’ como o produto entre uma atividade futura e a diferença entre intensidade energética naquele momento comparada ao presente nível. Se  $E$  é uso de energia para uma atividade particular, então:

$$E = A * I,$$

onde  $A$  é o nível de atividade e  $I$  a correspondente intensidade. Depois que a economia de energia é implementada,  $A$  muda para  $A'$  e  $I$  para  $I'$ , então o novo uso de energia é

$$E' = A' * I'$$

Se  $I'$  é menor que  $I$ , a energia economizada é  $A' * (I - I')$  [tomando o ano atual como referência, se tomarmos o ano inicial como referência, alternativa que também é apresentada pelos autores, a economia de energia é  $A * (I - I')$ ]. Mas  $E'$  pode ser maior que  $E$  porque ao longo do tempo em que  $I$  caiu para  $I'$ ,  $A$  cresceu por um quantidade maior em relação a  $A'$ . Além disso, o próprio declínio em  $I$  poderia causar um aumento em  $A'$  para  $A''$ , de modo que  $E'' = I' * A''$ . Devemos olhar um aumento em  $A'$  relativo a rendas ou produção se  $I$  cai como um sinal de um importante efeito de retroalimentação ou mudança estrutural “causada” pelas menores intensidade energéticas ou custos. Observamos também se  $I$  aumenta quando os preços de energia caem, pois isto indica um efeito preço que é de muitas formas análogo a um bumerangue.

A economia de energia pode ser expressa como  $A' * (I - I')$ , tomando o valor final como base, ou como  $A * (I - I')$ , tomando o valor inicial como base, isto é, mantendo-se atividade/saída constante no seu valor inicial. Assim, a política de efficientização energética tanto pode ser comparada tomando-se como base os valores atuais de atividade econômica, quanto baseando a comparação em valores finais de atividade econômica. Ambos os resultados podem ser utilizados como uma medida dos resultados das políticas de efficientização.

Supondo que a eficiência energética estimule a atividade econômica, é plausível considerar “subidas em **A**’ relativas à renda ou produção se **I** cai como um sinal de um importante efeito de retroalimentação ou mudança estrutural “causada” pela redução das intensidades ou custos” (SCHIPPER E GRUBB, 2000, p. 369). Observe-se que este é um dos argumentos utilizados por Schurr (1985) para considerar o acesso ao recurso energia como um elemento fundamental dos ganhos de produtividade.

Além disso, ainda segundo os autores, uma queda nos preços pode ser considerada de muitas formas análoga a um bumerangue. Sendo assim, aumentos em **I**, quando da ocorrência de queda nos preços da energia, seriam outra evidência importante da relevância do efeito bumerangue (SCHIPPER e GRUBB, 2000, p. 369). Esta perspectiva não é necessariamente incompatível com o argumento de Brookes de que aumentos de eficiência energética e maior oferta de energia não são equivalentes.

A analogia deve ser entendida nos seguintes termos: se diminuições dos gastos com energia na participação da renda dos consumidores produzem aumentos significativos na intensidade energética, isto tanto pode ser observado caso estas diminuições sejam consequência da descoberta de novas fontes quanto se elas forem subprodutos de inovações tecnológicas que tenham viabilizado um uso mais eficiente dos recursos<sup>34</sup>. É neste sentido que a descoberta de novas fontes e ganhos de eficiência energética podem ser vistos como análogos, sem que isto implique em concluir que são também equivalentes em termos mais gerais: seja porque houve um ganho de eficiência, seja porque novas fontes de energia foram descobertas, em ambas as situações seria possível observar efeitos sobre o consumo de energia oriundos de uma diminuição nos custos deste fator (independente do fato de que a qualidade dos fatores de causalidade que desencadearam os efeitos observados seja de ordem bastante distinta). É por conta disto que a analogia entre a queda nos preços da energia e ganhos de eficiência energética não é incompatível com a assertiva da não equivalência entre ganho de eficiência e novas fontes energéticas: ambos podem ser utilizados para orientar a busca de evidências quanto às implicações de uma queda no custo

---

<sup>34</sup> Na verdade, existem ainda outros fatores que podem modificar o custo real da energia, como por exemplo os de ordem institucional e política: o advento de um aparato regulatório mais rigoroso significa, na prática, um aumento de custos. Este ponto no entanto não é enfatizado na controvérsia sobre o efeito bumerangue.

da energia para a intensidade com que este fator é utilizado, sem que isto implique em aceitar novos fornecimentos de energia e ganhos de eficiência como sinônimos.

No entanto, deve-se ressaltar que esta equivalência, mesmo restrita aos termos em que a colocam Schipper e Grubb (2000), não vale em ambiente de recessão. Havendo recessão, a queda nos preços pode significar tão somente uma resposta dos produtores a uma queda na demanda, não correspondendo portanto a aumento na oferta. Na verdade, pode mesmo significar um aumento no custo real da energia: em ambiente de recessão, a queda nos preços é provavelmente a consequência de uma queda na renda real dos consumidores. O fato de que o período de 1990-1992 foi um período de recessão em muitos dos países estudados é levado em consideração por Schipper e Grubb (2000) no delineamento de suas análises.

Ainda com relação aos indicadores de economia de energia (SCHIPPER e GRUBB, 2000, p. 370):

Note que “economia de energia” não implica que uso total de energia será menor [no futuro], somente “menor que de outra forma”. Isto porque ao longo do tempo em que as técnicas que economizam energia são implementadas, o sistema inteiro está crescendo.

Estabelecidos seus fundamentos, cabe apresentar a análise empírica propriamente dita, para posterior discussão crítica dos resultados.

## **4.2 ANÁLISE EMPÍRICA**

O sistema de uso da energia é dividido nos setores residencial, industrial, serviços e transporte. O setor industrial é sub-dividido nos sub-setores papel e celulose, químicos, pedra-cerâmica-vidro, metais ferrosos, metais não-ferrosos, alimentício e outras indústrias<sup>35</sup>. O setor de transportes é sub-dividido em transporte pessoal e transporte de cargas. Seguem as conclusões em cada um dos setores.

---

<sup>35</sup> Schipper et al. (1992, p. 84): “A análise desagregada do uso da energia na indústria é sempre baseada nas classificações das atividades industriais tais como a International Standard Industrial Classification (ISIC), que agrupa as indústrias em nove amplos setores de “2-dígitos”, os quais por sua vez estão divididos em setores de “3-dígitos””. A análise setorial de Schipper e Grubb (2000) estabelece um processo de desagregação que vai apenas até os “2-dígitos”. Embora haja boas razões de ordem prática para adotar este procedimento, o fato é que neste nível de desagregação indústrias consideravelmente distintas são estudadas

#### 4.2.1 O setor residencial

Com relação ao setor residencial, dois tipos de serviço energético mostram-se particularmente importantes para o conjunto de países estudados: aquecimento e utilitários elétricos.

Com relação ao aquecimento residencial, as evidências indicam que saturação e melhorias irreversíveis de eficiência moldaram o uso da energia mais que o efeito bumerangue (SCHIPPER e GRUBB, 2000, p. 372). Corrobora esta conclusão o fato de que o consumo de energia per capita para aquecimento cresceu muito mais em países que na década de 1970 tinham padrões de fornecimento de aquecimento energético relativamente pobres, como Japão e Reino Unido. Uma evidência forte de que os efeitos bumerangues têm sido pequenos é o fato de que o país com maior queda na intensidade energética foi também aquele em que houve maior declínio absoluto no uso de energia para aquecimento. Além disso, o país em que houve menor queda na intensidade energética foi também aquele em que houve maior aumento absoluto no consumo de energia para aquecimento (SCHIPPER e GRUBB, 2000, p. 372). Podemos resumir a apresentação das evidências de Schipper e Grubb (2000) para o aquecimento residencial nos seguintes termos: (a) os países que ao início da pesquisa possuíam residências mais pobremente isoladas ou separadamente aquecidas foram os que apresentaram as menores reduções nas intensidades energéticas (Noruega, Reino Unido e Japão) (SCHIPPER E GRUBB, 2000, p. 371); (b) o país (Dinamarca) em que os recursos técnicos utilizados para obter isolamento térmico foram maiores foi também aquele com maior redução na intensidade energética, enquanto que o país em que as opções neste sentido eram menores (Japão, inclusive pela natureza técnica de seus sistemas de aquecimento) foi também aquele com menor redução (SCHIPPER E GRUBB, 2000, pp. 372-373); (c) a Dinamarca, país que apresentou os maiores declínios absolutos em uso de energia para aquecimento, apresentava em meados dos anos de 1990 intensidade energética que era menos da metade da que possuía no começo dos anos de 1970 (SCHIPPER E GRUBB, 2000, p. 372). Por estas evidências, os autores concluem que

---

como setores homogêneos. As diferenças dentro de uma mesma indústria vão desde a intensidade energética por unidade física até o valor agregado de cada unidade física, o que pode levar a enormes distorções. Tais distorções não invalidam os resultados obtidos, mas diminuem o peso que pode ser atribuído a eles.

para este serviço energético os bumerangues têm sido pequenos, e os ganhos de eficiência têm contribuído para diminuir o consumo de energia. Segundo os autores (SCHIPPER E GRUBB, 2000, pp. 370-371):

Isto na realidade não é mais do que o esperado senso comum: uma vez que as casas estejam aquecidas o suficiente não há mais razão pela qual isolamento, ou renda, levaria os residentes a aumentar ainda mais a temperatura.

No que diz respeito aos utilitários elétricos, uma dificuldade que surge é que estes podem ser usados em muitas aplicações diferentes, havendo ainda o surgimento de novas aplicações continuamente. Isto é, novos equipamentos elétricos, tendo por objetivo novos usos, são continuamente inseridos no mercado<sup>36</sup>. Estas considerações explicam o procedimento adotado pelos autores para a apresentação das evidências relativas ao uso doméstico da eletricidade (SCHIPPER e GRUBB, 2000, p. 373):

Alguns dispositivos [elétricos] podem ser usados de forma diferente se os preços da eletricidade mudam. Mas melhorias reais na eficiência somente ocorrem quando aparelhos antigos são substituídos por novos, mais eficientes. Uma média das intensidades estimadas do estoque mais amplo dos maiores aparelhos (refrigeradores, freezers, máquina de lavar, e para os Estados Unidos, Austrália, e Japão, ar condicionado, em kWh/ano/dispositivo) ponderada pela penetração em 1994, caiu em 9 de 13 países estudados, indicando economia de eletricidade. Aumentos na média de consumo ponderada ocorreram em quatro países, todos justificados pela mudança de longo prazo de refrigeradores de uma única porta para refrigeradores-congeladores, que têm uma intensidade energética muito maior. Se os contabilizarmos como dispositivos distintos (uma vez que o último substitui um freezer), então encontraremos um declínio nas intensidades em todos exceto no Japão. Concluímos portanto que os utensílios tornaram-se menos intensivos em eletricidade, mesmo com alguns tornando-se maiores ou mais equipados com novas funções. Mas a última tendência continuou relativamente independente seja de mudanças nos preços da eletricidade ou lenta mudança na eficiência; é principalmente conduzida por aumentos na renda doméstica associados com o crescimento do PNB.

---

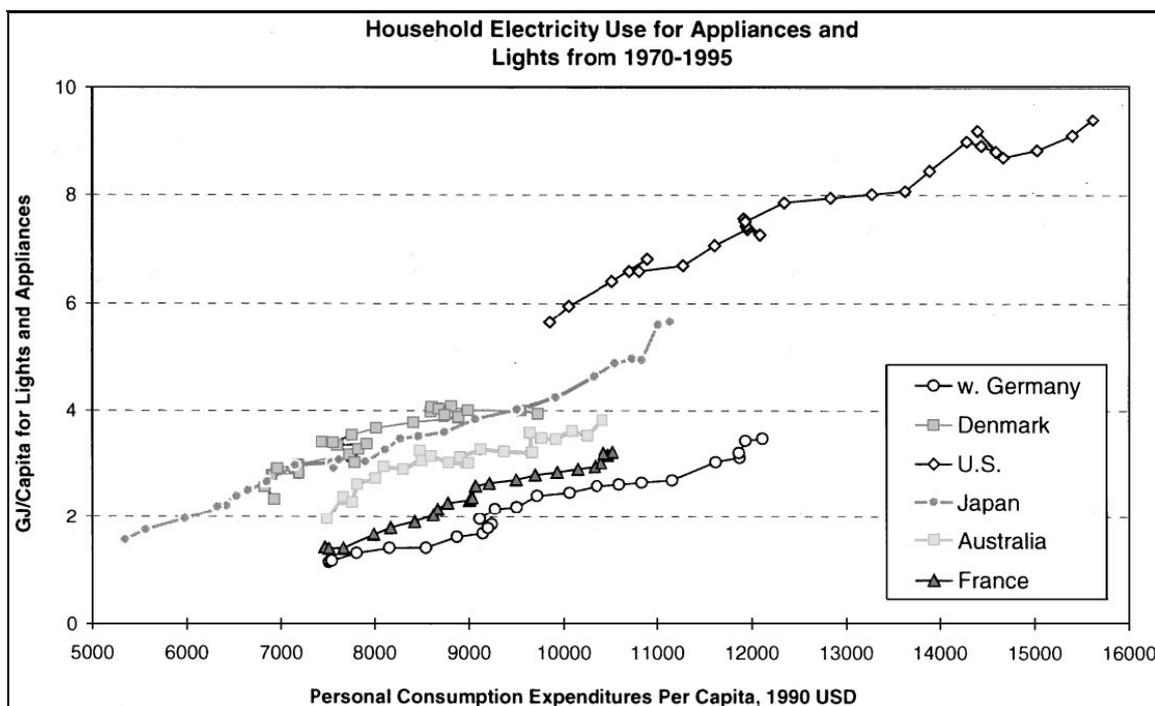
<sup>36</sup>Para uma discussão sobre a importância dos aspectos qualitativos da energia elétrica e suas implicações para a dinâmica evolutiva do uso desta energia, uma útil referência é Rosenberg (1998).

Ou seja, argumenta-se que as intensidades energéticas, quando medidas em termos físicos (isto é, em kWh/ano/dispositivo), têm apresentado uma tendência de queda em seus valores médios. Um problema importante desta abordagem é que, embora as intensidades energéticas dos dispositivos estejam caindo, os consumidores podem estar adquirindo mais de uma unidade do mesmo utilitário. Ao se avaliar a evolução do indicador kWh/ano/dispositivo simplesmente não temos nenhuma informação que nos possibilite levar em conta este fenômeno, o qual seria precipitado considerar irrelevante sem um estudo mais aprofundado da questão, dado o que se conhece dos hábitos dos consumidores com relação ao uso de dispositivos elétricos.

A Figura 4.1 mostra que o consumo per capita de energia elétrica tem aumentado quando a renda per capita dos consumidores aumenta<sup>37</sup>. Entretanto, as curvas de regressão possuem concavidade voltada para baixo ( $R^2$  variando de 0,54 a 0,96), o que é consistente com uma elasticidade de renda menor que 1 e nenhum bumerangue aparente (SCHIPPER E GRUBB, 2000, p. 373). O fato de que as intensidades físicas de energia elétrica apresentem tendência de queda, aliado ao aumento do consumo de energia elétrica que se observa quando do aumento da renda, leva os autores a concluir que “*por causa* da melhoria na eficiência e *apesar* da proliferação de pequenos utensílios [um evento associado à evolução tecnológica e à renda dos consumidores], o uso de eletricidade residencial para utensílios está lentamente saturando” (SCHIPPER E GRUBB, 2000, p. 373).

---

<sup>37</sup> Os dados apresentados no gráfico não se referem à utilização de energia elétrica para aquecimento, uma vez esta parcela de eletricidade atua substituindo combustíveis fósseis no uso final aquecimento, já analisado em parágrafos anteriores. “Ao eliminar a eletricidade que substitui diretamente combustível para aplicações de aquecimento obtemos indicadores compatíveis para os países, eliminando os efeitos dos preços relativos eletricidade/combustível, que aumentam o uso de eletricidade significativamente para aquecimento, etc. em aplicações na Suécia, Canadá, e em alguma extensão na parte mais quente da França e dos Estados Unidos” (SCHIPPER E GRUBB, 2000, p. 373).



**Figura 4.1- Energia Consumida em Iluminação e Utilitários em Função da Renda**

[fonte: SCHIPPER e GRUBB, 2000]

Seriam estas evidências suficientes para refutar a possibilidade de bumerangues no setor residencial dos países estudados? No que diz respeito ao serviço energético aquecimento residencial pode-se concluir que sim. Mas as limitações da análise feita para os utilitários elétricos impedem que estas conclusões sejam também estendidas para este conjunto de serviços energéticos, como fazem os autores. De qualquer forma, estes são os elementos principais da análise desenvolvida por Schipper e Grubb (2000) para o setor residencial.

#### 4.2.2 O setor industrial

São significativas as seguintes informações apresentadas pelos autores (SCHIPPER E GRUBB, 2000, p. 375):

Para pesquisar por um bumerangue na indústria, voltamo-nos para o uso de combustível e eletricidade nos maiores ramos de indústrias em treze países da

IEA desde os anos de 1970. No agregado, o uso da energia para a indústria em 1994 (1990 – 1992 foi uma recessão para muitos países) era 9% menor que seu nível em 1973, mas a produção era 50% maior. O consumo de energia primária (isto é, eletricidade e calor comprado em seus equivalentes primários) era o mesmo em 1994 que em 1973. Contudo, o uso de energia por unidade de saída na indústria estava 40% abaixo de seu valor de 1973 em seu último ano, o uso de energia primária por unidade de saída 34% menor (GREENNING et al., 1996; SCHIPPER et al., 1999a), não incluindo o impacto de mudanças na combinação de produtos que baixaram o uso da energia ainda mais em alguns países. Em resumo, houve uma importante melhoria na utilização de energia em quase todo ramo de uso de energia.

É significativo que, num período em que políticas e incentivos para uso mais eficiente de energia foram definidos, tenha-se observado uma queda no consumo de energia para a indústria<sup>38</sup>. Esta é uma observação que apóia o ponto de vista de Schipper e Grubb (2000), segundo o qual no contexto dos países desenvolvidos ganhos de eficiência energética não produzem efeitos bumerangues significativos.

Na análise de Schipper e Grubb (2000) destaca-se ainda o fato de que, comparando-se os principais sub-setores industriais no período 1973-1994/1995, aqueles em que houve as maiores reduções de intensidade energética tiveram crescimento um pouco maior, o que pode ser interpretado como evidência de efeito bumerangue (SCHIPPER e GRUBB, 2000, p. 375). No entanto, os autores ponderam que a causalidade não é suficientemente clara: segundo Schurr (1982), “crescimento econômico mais rápido *estimula* substituição de equipamento e economias de energia e portanto reduções mais rápidas de intensidade” (SCHIPPER e GRUBB, 2000, p. 375). Ainda segundo os autores, as reduções absolutas observadas no consumo de energia e o aumento da produção no período estudado, caso sustente-se a validade do postulado Khazzoom-Brookes, levariam a atribuir a maior parte do crescimento da indústria a ganhos de eficiência energética (SCHIPPER e GRUBB, 2000, p. 376):

---

<sup>38</sup> Deve ser observado que a análise de Schipper e Grubb (2000) restringe-se aos usos finais da energia, o que necessariamente limita a extensão de suas conclusões. Uma análise completa precisaria ponderar a relevância de mudanças ocorridas no conteúdo energético embutido nas exportações e importações dos países estudados para os resultados obtidos.

Obviamente, é provável que intensidades energéticas declinantes permitiram crescimentos na produção um pouco maiores que os que teriam ocorrido caso a tecnologia tivesse permanecido nas intensidades de 1990 [sic 1970], mas não há evidência de que menores intensidades energéticas aumentaram o uso de energia significativamente ao estimular a produção. Isto não é surpreendente: a participação relativa dos custos de energia na produção total é na média menor que 6%, portanto mesmo uma redução livre de custos de 35% nas intensidades energéticas, implicando uma redução de 2% nos custos médios, dificilmente poderia levar a explodir o crescimento da produção! Além disso, estas economias na realidade requeriram investimento de capital, portanto nem todo o dinheiro economizado está disponível para outros propósitos ou maiores lucros.

Não poderiam estas economias de energia estarem associadas a uma redução da participação relativa das indústrias pesadas? Segundo Schipper e Grubb (2000, p. 376) em cinco dos países estudados o setor de energia-intensivos não apenas tem grande peso na economia, como aumentou sua participação relativa. Estes países são Austrália, Finlândia, Holanda, Noruega e Suécia<sup>39</sup>. Mesmo considerando países nos quais houve um afastamento das indústrias pesadas, a mudança estrutural não seria suficiente para explicar a maior parte das reduções de consumo observadas (SCHIPPER e GRUBB, 2000, p. 378):

No Japão, Alemanha, e nos Estados Unidos a mudança estrutural afastando-se da indústria pesada foi responsável por  $\frac{1}{4}$  dos grandes declínios nestes três países, o que traduz somente cerca de 20% do declínio global nas intensidades reportadas aqui. Em outros países estudados, este feito foi insignificante exceto onde a produção tornou-se energeticamente mais intensiva, conforme mencionado. Houvesse uma importante retroalimentação entre economia de energia e produção, deveríamos esperar mudanças *em direção* a setores mais energeticamente intensivos naqueles países que tivessem tido as maiores economias de energia, pois seriam estes setores que conduziriam a economia de combustível em primeiro lugar. Isto aparentemente não ocorreu.

Poderia parte das economias na indústria ser devida à exportação da indústria pesada? Nossa análise limita o impacto deste efeito aos setores mais

---

<sup>39</sup> No Canadá, participação da indústria energia-intensiva na composição do PNB é grande, mas no período de análise houve uma redução nesta participação, segundo Schipper e Grubb (2000, p. 376).

relevantes (papel/celulose, químicos, metais, pedra/vidro/argila). No agregado, a produção na indústria pesada em 10 países cresceu 1,6%/ano contra 2,0%/ano para a indústria como todo. A produção foi 17% maior nos Estados Unidos e até 60% maior na Finlândia. Somente no Reino Unido a produção na indústria pesada em 1992 era essencialmente o que era em 1973. Então a restrição em crescimento no uso da energia na indústria dos países membros da IEA é principalmente um resultado de menores intensidades energéticas, e somente secundariamente resultado de mudanças distanciando-se da indústria pesada, da qual por sua vez uma pequena parte vem da exportação da produção.

O fato de que a indústria ergo-intensiva tenha aumentado sua participação relativa em alguns dos países estudados refuta a tese de que houve uma simples exportação da indústria pesada do conjunto dos países estudados como um todo. No entanto, as evidências apresentadas por Schipper e Grubb (2000) corroboram também a tese de que há um processo de especialização, mesmo levando-se em consideração apenas os países estudados. De fato, que a indústria ergo-intensiva aumente sua participação em alguns países (Austrália, Finlândia, Holanda, Noruega e Suécia), enquanto simultaneamente perde peso em outros (Japão, Alemanha, Estados Unidos e Reino Unido) tanto corrobora a hipótese de especialização, quanto a de que existe considerável heterogeneidade quanto ao uso da energia no conjunto de países estudados<sup>40</sup>. Com efeito, o último parágrafo, na citação acima, pode apoiar conclusões diferentes das estabelecidas por Schipper e Grubb (2000): se os setores energeticamente intensivos da indústria crescem 1,6% ao ano, contra 2% ao ano da média da indústria, os primeiros têm crescido 20% menos que os demais setores. Do ponto de vista de qualquer investidor, isto é certamente bastante significativo. Também é bastante significativo o baixo crescimento da indústria pesada nos Estados Unidos e o crescimento nulo no Reino Unido. Ou seja, as evidências apresentadas, embora permitam questionar a compreensão defendida por alguns economistas sobre a forma como

---

<sup>40</sup> Este é um indício de que classificações muito simples, opondo países desenvolvidos e em desenvolvimento como blocos monolíticos, podem impedir que se analise a relevância de um possível processo de especialização e do comércio internacional, quanto às consequências associadas à alocação dos recursos energéticos. É muito possível que comparações efetuadas sem a utilização de classes suficientemente robustas para lidar com a heterogeneidade de condições em que se faz uso da energia levem a conclusões equivocadas.

ganhos de produtividade são extraídos do recurso energia (SCHURR, 1982, 1985)<sup>41</sup>, deixam ainda muitas dúvidas sobre a natureza da mudança estrutural em curso e suas implicações para o uso da energia.

Se as evidências apresentadas por Schipper e Grubb (2000) não são suficientes para estabelecer uma compreensão mais consistente sobre a dinâmica da mudança estrutural em curso, estas parecem ser suficientes para pôr em dúvidas a validade geral do postulado Khazzoom-Brookes, ou pelo menos as explicações normalmente utilizadas para fundamentar sua validade, considerando-se as trajetórias de consumo de energia na indústria apresentadas por Schipper e Grubb (2000).

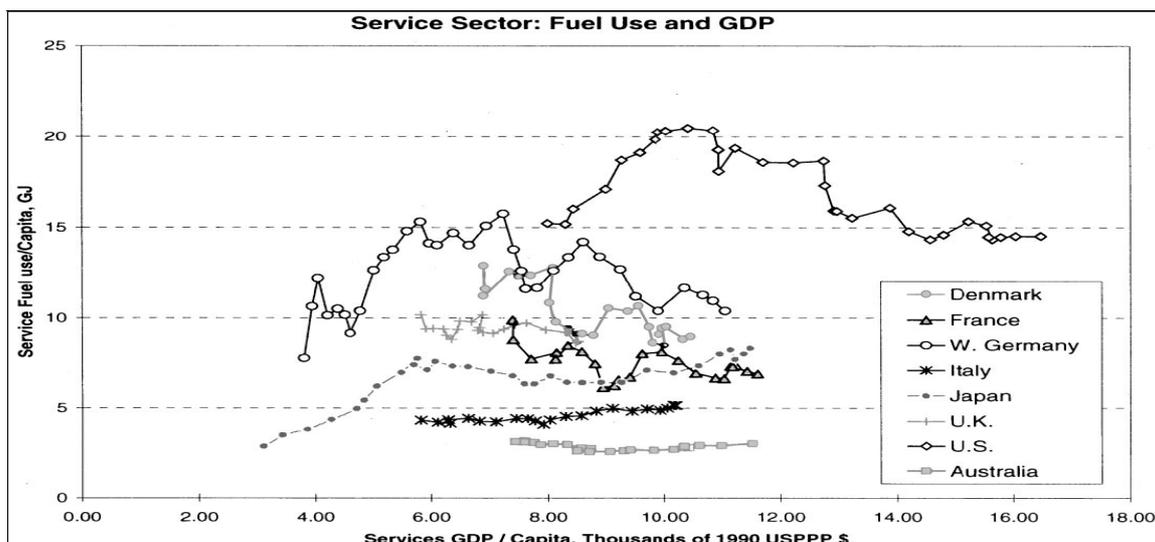
#### 4.2.3 O setor de serviços

O setor de serviços apresenta similaridades com o setor residencial, pois enquanto os serviços em eletricidade parecem estar expandindo-se, com a energia utilizada pelas tecnologias da informação funcionando como grande propulsor desta expansão, os serviços de aquecimento parecem apresentar uma tendência à saturação<sup>42</sup> (Figura 4.2 e Figura 4.3). O aumento na área construída tem implicado em aumentos no consumo de eletricidade, mas as compras de combustível e calor têm caído rapidamente (SCHIPPER E GRUBB, 2000, p. 377). No caso do setor residencial, os autores apresentaram indicadores de intensidade energética físicos, mas para o setor de serviços isto não foi feito.

---

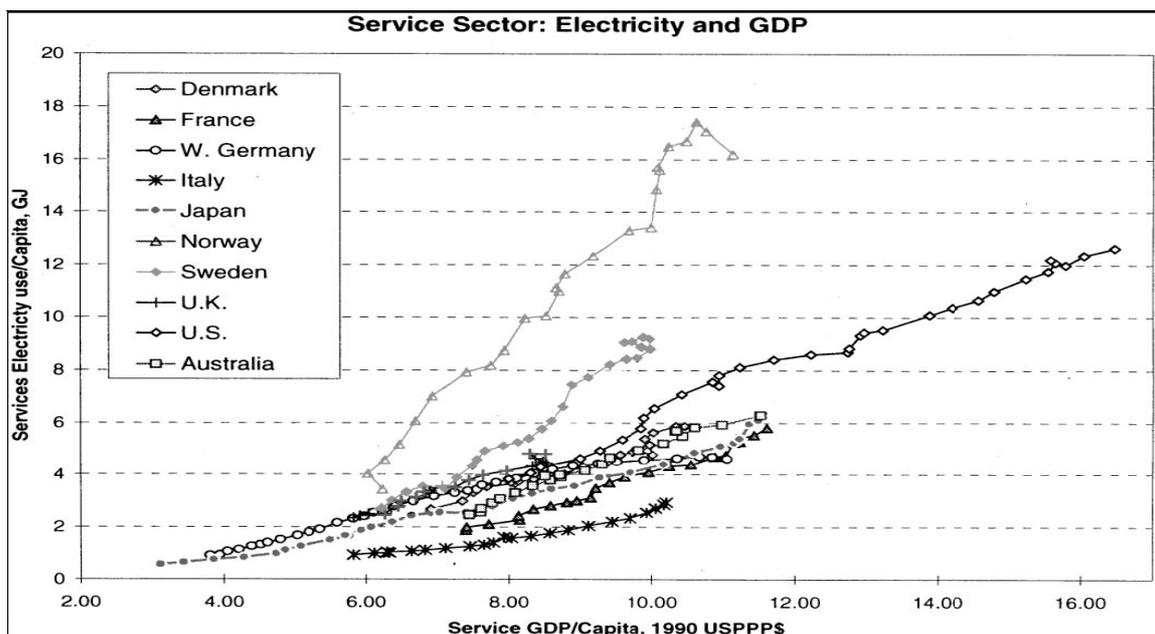
<sup>41</sup> Cabe notar que Schurr (1982, 1985) não atribui a suas conclusões o caráter de “leis”, que poderíamos entender como a assertiva de que a determinados conjuntos de fatos seguem necessariamente determinadas consequências: seus estudos são de natureza histórico-econômica. Caso suas conclusões não sejam extensíveis para o momento atual, isto apoiaria a hipótese de que a ‘mudança estrutural’ seja bem mais profunda do que tem sido suposto, com implicações de ordem histórico-econômica ainda não devidamente caracterizadas.

<sup>42</sup> Embora as tecnologias da informação aumentem a demanda por energia no setor de serviços, é possível que tais tecnologias, ao viabilizarem processos industriais sujeitos a maior controle, atuem reduzindo a intensidade energética na indústria, por exemplo.



**Figura 4.2- Uso de Combustível em Função da Produção Bruta per Capita em Serviços**

[fonte: Schipper e Grubb, 2000]



**Figura 4.3- Uso de Eletricidade em Função da Produção Bruta per Capita em Serviços**

[fonte: Schipper e Grubb, 2000]

#### 4.2.4 O setor de transporte

Para o setor de transportes, as evidências são de que o consumo de energia por quilômetro transportado tem apresentado uma consistente tendência de queda. Isto pôde ser comprovado nos três sub-setores analisados (automóveis, transporte aéreo e caminhões). No caso dos automóveis, há uma tendência, iniciada nos anos de 1980, a fazer uso de carros maiores e mais potentes. Entretanto, esta tendência não parece ser suficiente para contradizer as tendências mais gerais apresentadas por Schipper e Grubb. Os autores consideram que esta última tendência somente se tornou possível devido à redução nos preços dos combustíveis e aos ganhos de eficiência (SCHIPPER E GRUBB, 2000, p. 380).

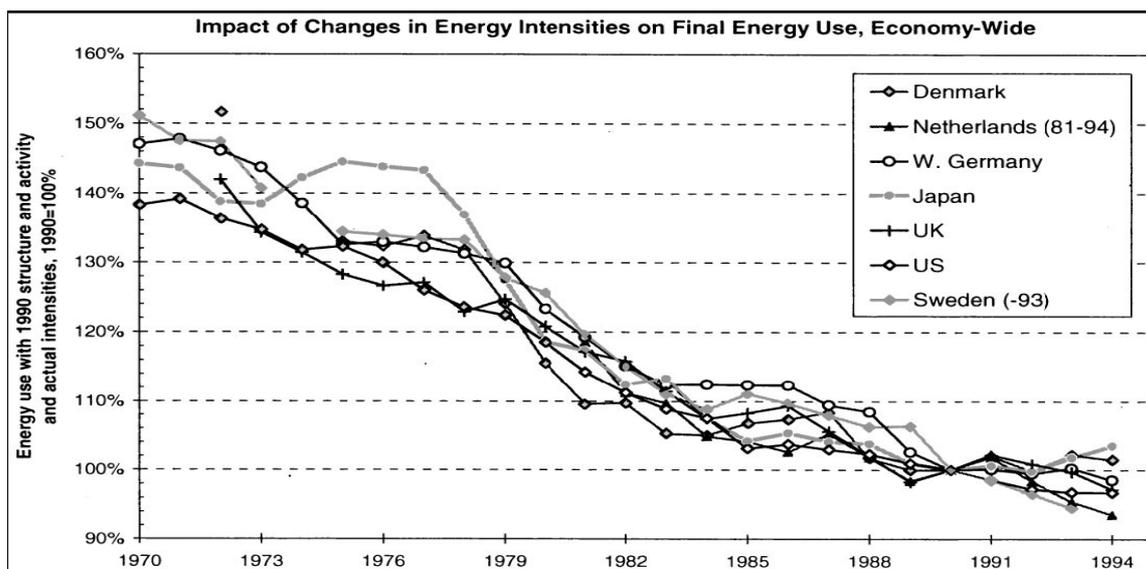
No caso específico do transporte pessoal, o fato do país que verificou a maior queda nas intensidades energéticas e a maior redução nos preços de combustíveis ter sido aquele em que houve o menor aumento total na energia utilizada para transporte pessoal (Estados Unidos) é uma evidência de que os efeitos bumerangues sejam pequenos para este serviço energético (SCHIPPER e GRUBB, 2000, p. 380).

#### 4.2.5 Mudanças estruturais e uso da energia

Neste item, será resumida a argumentação de Schipper e Grubb (2000) de que as mudanças estruturais por que passam os países analisados têm tornado possível conciliar crescimento econômico e menor consumo energético. Para corroborar este ponto de vista, os autores fazem uso de um indicador Laspeyres, construído a partir de equação que relaciona uso de energia, nível de atividade e intensidade econômica (SCHIPPER E GRUBB, 2000, pp. 381-382):

Para medir a mudança global nas intensidades, análise do LBNL/IEA (IEA, 1997b) desenvolveu um índice Laspeyres de toda as intensidades energéticas ao longo do tempo, cada uma ponderada pela correspondente parcela de uso da energia em 1990. Pense neste índice como contendo tudo na Eq. (1) [equação que relaciona uso de energia, nível de atividade e intensidade econômica, discutida no item 4.1 deste capítulo] constante, exceto aproximadamente três dúzias de intensidades energéticas, que variam de ano a ano ao longo de seu caminho efetivo.

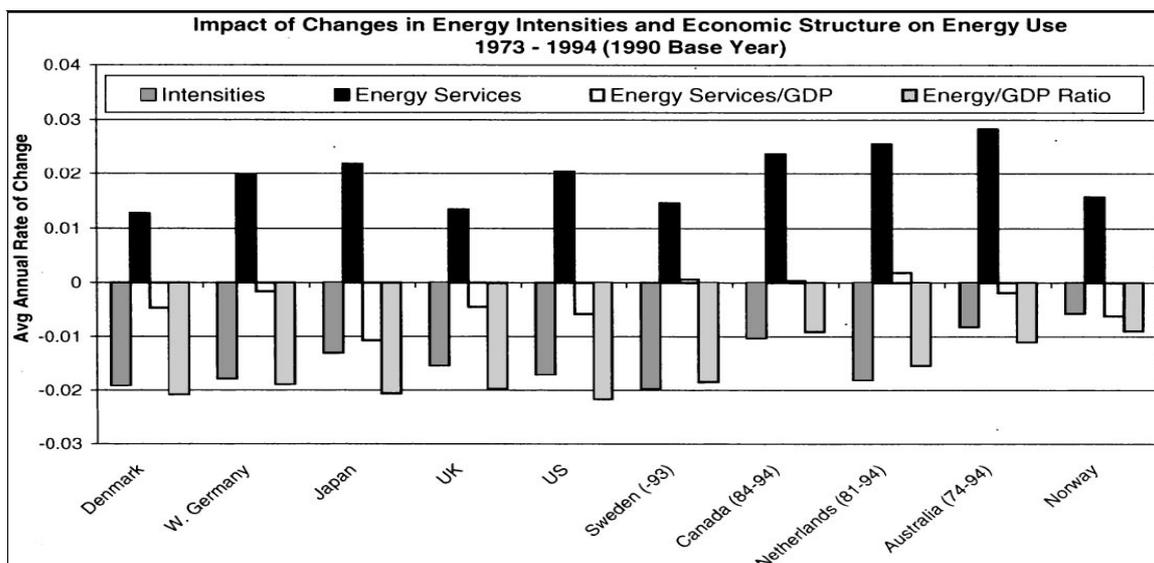
Este índice, ilustrado na Fig. 12 [Figura 4.4 nesta dissertação] tomando 1990 como ano-base, as intensidades energéticas caíram em torno de 30-40% entre 1973 e 1994. Estes foram países com desempenho econômico variado em termos de mudança na renda per capita, e diferentes trajetórias para os preços de energia e impostos não claramente relacionados ao declínio na intensidade energética.



**Figura 4.4- Indicadores Laspeyres de Intensidade Energética**

[fonte: Schipper e Grubb, 2000]

Além disso, Schipper e Grubb (2000) argumentam que, a partir dos indicadores Laspeyres de que se utilizam não se percebe uma relação entre maiores quedas de intensidade energética e maior crescimento nos serviços energéticos, como seria de se esperar, supondo a validade do postulado Khazzoom-Brookes (Schipper e Grubb, 2000, p. 383). Estas conclusões estão apoiadas na observação da Figura 4.5:



**Figura 4.5- Variações Médias em Intensidades Energéticas e Outros Indicadores**

[fonte: Schipper e Grubb, 2000]

Estes pontos condensam a análise empírica de Schipper e Grubb (2000). Com base nas evidências apresentadas, os autores concluem que não há evidências positivas que apoiem as conclusões do postulado Khazzoom-Brookes, para o conjunto de países estudados.

Embora as evidências apresentadas levem a um questionamento da forma como este postulado tem sido defendido, não são ainda suficientes para descartar sua validade, principalmente devido à natureza negativa destas evidências e à dinâmica do processo de evolução econômica, que torna difícil fazer inferências sobre o sistema macroeconômico apoiando-se na análise de setores específicos, muito utilizada em Schipper e Grubb (2000). A própria evolução do sistema econômico, com o surgimento de novas necessidades e a morte de outras, compromete a confiabilidade de procedimentos de análise estritamente setoriais (o que não significa, de modo algum, que tais análises possam ser dispensadas).

O que a análise de Schipper e Grubb (2000) parece de fato apoiar é que existe, para o conjunto de países estudados, um descolamento entre valor monetário da produção e conteúdo material (no caso, energético). Este ponto, se não invalida o postulado Khazzoom-Brookes, obriga-nos a repensar as condições objetivas da validade do mesmo, o

que pode nos levar deprender relações históricas importantes para a compreensão da forma atual como o processo de alocação dos recursos energéticos tem se dado.

No entanto, esta avaliação não pode ser iniciada sem que se avalie um dos principais pontos levantados por Schipper e Grubb (2000) para apoiar sua análise, isto é, a hipótese de ‘mudança estrutural’. Na realidade, esta hipótese é adotada por Schipper e Grubb (2000) implicitamente e por Grubb (1990) explicitamente, em sequência de artigos debatendo as políticas de efficientização com Brookes. Para compreender melhor o sentido desta ‘mudança estrutural’, convém deter-se sobre o artigo que é a fonte deste argumento levantado por Grubb (1990), o que será feito a seguir.

### **4.3 O EMPIRISMO DE WILLIAMS, LARSON E ROSS**

A análise empírica de Schipper e Grubb (2000) é ainda insuficiente para consolidar quais são as razões pelas quais estes autores discordam de Brookes (2000), e por que apóiam as políticas de efficientização, restringindo-as no entanto ao conjunto de países desenvolvidos. Grubb (1990), em debate com Brookes (1990, 1992, 1993; respondidas por Grubb 1990, 1992) cita explicitamente Williams et al. (1987) como uma evidência de que a economia destes países, em particular os Estados Unidos, estaria sob um processo de ‘mudança estrutural’ no qual a economia tem transitado para um modelo cada vez menos intensivo em energia e recursos naturais<sup>43</sup>. No contexto destes países, as conclusões do postulado Khazzoom-Brookes, perderiam peso. A análise empírica mostrada anteriormente é essencialmente a tentativa de fornecer elementos empíricos corroborando este ponto de vista. De certa forma, o trabalho de Schipper e Grubb (2000) propõe-se a funcionar como corolário do estudo de Williams et al. (1987).

Neste ponto da dissertação, apresentam-se sucintamente as idéias contidas no artigo de Williams et al. (1987)<sup>44</sup>. É preciso salientar entretanto que a apresentação das idéias aqui feita está orientada pela questão que organiza a construção da dissertação: estudar em que

---

<sup>43</sup> Ressalte-se novamente que esta mudança estrutural não é uma mera transição para uma economia baseada no setor de serviços, mas a consolidação de um modelo econômico efetivamente menos intensivo em energia. Parte da importância de se estudar o artigo de Williams et al. (1987) está justamente na compreensão deste ponto.

<sup>44</sup> WILLIAMS, ROBERT H., LARSON, ERIC D., ROSS, MARC H. Materials, affluence, and industrial energy use, *Annual Review of Energy*, No. 12, pp. 99-144, 1987.

medida a compreensão que os especialistas em energia possuem da relação entre tecnologia, atividade econômica e uso da energia é adequada para tratar um problema ambiental particular, o das emissões globais de CO<sub>2</sub>.

É fundamental entender que o artigo de Williams et al. (1987) está extremamente centrado na realidade dos Estados Unidos. Além disso, seu foco é o estudo do problema bastante específico de avaliar a demanda futura pelas quantidades de recursos materiais e energia para garantir o crescimento econômico daquele país. O trabalho de Williams et al. (1987) consiste na apresentação muito bem estruturada de um conjunto substancial de evidências visando corroborar a hipótese de que estaria ocorrendo uma queda na demanda por energia e materiais nos Estados Unidos (em termos relativos), defendendo ainda que tal queda não é meramente circunstancial, mas produto de uma mudança estrutural. Os autores não possuem o objetivo de fazer uma análise mais detalhada dos impactos ambientais deste processo, mas apenas avaliar os prognósticos quanto às quantidades futuramente necessárias de recursos. Portanto, o artigo é uma importante contribuição no sentido de levantar uma possibilidade, para a partir daí justificar mais estudos visando a compreensão de outros aspectos pertinentes também associados ao uso dos recursos naturais (diferentes da fundamental discussão sobre as prováveis quantidades de recursos necessárias no futuro, que orienta o trabalho dos autores)<sup>45</sup>. Ou seja, quaisquer generalizações quanto ao tratamento de problemas ambientais que sejam extraídas de Williams et al. (1987) devem apoiar-se não unicamente neste trabalho, mas num conjunto de qualificações para além dele.

Segundo Williams et al. (1987), durante os anos da década de 70 havia nos Estados Unidos grande preocupação quanto à possibilidade de suprir a demanda existente por recursos naturais. O alto crescimento observado no consumo de energia e materiais verificado nas décadas imediatamente posteriores à segunda guerra mundial fazia crer na iminência de uma crise gerada pela escassez de recursos (WILLIAMS et al., 1987, p. 99).

---

<sup>45</sup> Embora que a quantidade de recursos necessária seja um fator relevante na análise de impactos ambientais, não é suficiente para estabelecer asserções mais confiáveis quanto à intensidade e gravidade de eventuais danos causados ao meio ambiente. Daí que, mesmo que se assumisse que críticas às bases do trabalho de Williams et al. (1987) não existissem, este seria apenas uma importante abertura de possibilidade, não sendo por si só suficiente para estabelecer generalizações mais amplas quanto à dinâmica da ação humana sobre o meio ambiente.

No momento em que Williams et al. (1987) escrevem, este cenário está bastante modificado. Os debates discutem se a demanda por recursos naturais nos Estados Unidos apresentará crescimento, permanecerá constante ou diminuirá no longo prazo (WILLIAMS et al., 1987, p. 99). Os recursos naturais apresentavam-se, ao menos naquele momento, como uma restrição menor ao crescimento econômico. Seria esta mudança meramente circunstancial ou retrataria uma alteração mais profunda na economia do país? Dependendo da resposta a esta pergunta, evidentemente que as decisões do governo estadunidense no sentido de excluir qualquer entrave ao crescimento econômico serão bastante distintas. Williams et al. (1987) apresentam argumentos e evidências que corroboram a tese de que os cenários utilizados para avaliar a demanda por energia e materiais no futuro estariam equivocados (na verdade, superestimados).

A partir de dados históricos é possível fazer previsões quanto às quantidades de recursos necessárias para garantir o crescimento econômico. Sabe-se que a estrutura econômica do país é composta por uma multiplicidade de indústrias e setores. Cada um deles contribui em certa medida para a construção do agregado econômico total do país. Os dados históricos mostram a participação observada no passado de cada um destes setores para a formação do crescimento econômico. Em cada um deles esta participação exigiu certas quantidades de energia e materiais. Sendo assim, pela análise do conjunto de dados é possível fazer inferências quanto às quantidades de energia e materiais necessárias para garantir o crescimento da economia. Evidentemente que esta inferência supõe que a participação relativa dos diversos setores na economia será a mesma e, além disso, as inovações tecnológicas não alterarão a qualidade e a quantidade dos recursos a serem utilizados. Em que pese tais limitações, a utilização deste mecanismo é de fato um recurso importante para orientar decisões. Isto porque, embora as inovações tecnológicas sejam uma realidade (com todas as consequências que isto implica para a demanda de recursos) e a participação relativa dos diversos setores mude ao longo do tempo, tais mudanças (no que têm de estrutural) não são aleatórias.<sup>46</sup>

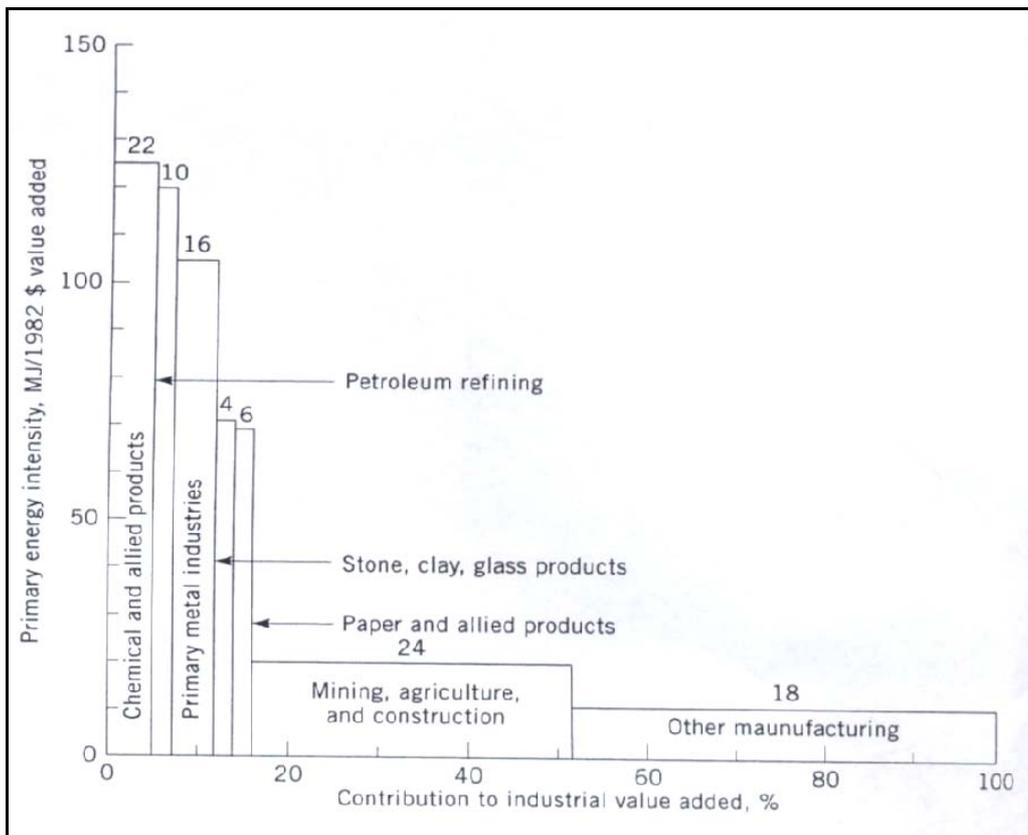
---

<sup>46</sup> Estes modelos são não somente plausíveis, mas com frequência o único instrumento de que dispõem os decisores para se orientar. É verdade que em determinados períodos históricos mudanças estruturais parecem ocorrer bem mais rapidamente que em outros. Não é entretanto necessário entrar nesta

Entretanto, caso haja grande mudança na participação relativa dos diferentes setores na construção do agregado econômico, todas as previsões relativas aos dados históricos terão de ser modificadas. Orientados por esta percepção, ao constatarem que os setores de maior crescimento na economia dos Estados Unidos são pouco intensivos em energia, Williams et al. (1987) propõem que os recursos necessários para garantir o crescimento econômico no futuro serão muito menores que os indicados na maioria dos prognósticos (WILLIAMS et al., 1987, p. 100).

---

complexa e difícil questão para compreender que, sejam quais forem as razões desta dinâmica da História, quem decide não tem outra saída senão partir daquilo que julga conhecer, adaptando seu padrão decisório em função das observações e resultados obtidos ao longo do tempo. Embora o fato de que a velocidade com que as mudanças estruturais ocorram possa induzir o decisor a erros, as colocações aqui delineadas são suficientes para apresentar em que sentido o uso de tais modelos é racional: significam a possibilidade de operar concretamente a realidade que circunda o sujeito de modo a viabilizar o que é tomado como objetivo. Sujeitos distintos podem ter objetivos distintos, o que muitas vezes leva a conflitos. Entretanto, independente de quais sejam os objetivos e valores do sujeito, os aspectos operacionais envolvidos na construção do que é tomado como meta será sempre um aspecto imprescindível para o estabelecimento de uma ação racional no sentido de viabilizá-la.



**Figura 4.6- Comparação entre Intensidade Energética e Contribuição para a Produção Nacional Bruta nos Estados Unidos em 1982**

[fonte: Williams et al., 1987]

A análise da Figura 4.6 mostra que os setores com maior contribuição para o valor adicionado industrial nos Estados Unidos em 1982 foram os menos intensivos em energia, o que segundo os autores permitiria inferir que a garantia do crescimento econômico no futuro tende a requerer menores quantidades de energia.

Sabe-se entretanto que o indicador energia/PNB não é suficientemente confiável para estabelecer assertivas de peso quanto à dinâmica da relação entre atividade econômica e uso da energia. Como forma de dar maior peso a sua análise, os autores optam pela utilização de indicadores físicos para avaliar a possibilidade de mudança estrutural (WILLIAMS et al., 1987, pp. 100-101):

Na execução de nossa avaliação, focamos nas tendências de consumo e produção de materiais medidos em termos físicos (quilogramas) ao invés das mais convencionais medidas em dólar (valor adicionado ou dados de venda), por duas razões. Primeiro, em muitos casos estatísticas econômicas não estão desagregadas o suficiente para revelar a extensão das mudanças em direção a produtos de maior valor agregado<sup>47</sup>. Segundo, desde que nosso interesse último está nas implicações dos modelos de deslocamento da produção sobre a demanda industrial de energia, é melhor estudar quilogramas, pois necessidades energéticas para a produção estão fortemente ligadas a medidas físicas de produção, mas não necessariamente a medidas em dólar.

Da revisão de literatura sobre o problema específico que estudam (evolução das quantidades de recursos necessárias para garantir o crescimento econômico), interessa particularmente aquela que apóia a tese de que a redução observada na demanda por recursos naturais seria meramente circunstancial<sup>48</sup>. Auty (*apud* WILLIAMS et al., 1987, p. 105) sugere que a redução no consumo de energia seria simplesmente o reflexo do menor crescimento do PNB na década em que tais estudos foram feitos. Seguindo este pressuposto, que é baseado em informações de como esta evolução ocorreu no passado, os modelos utilizados para prever a demanda futura por recursos naturais fundamentam seus prognósticos na premissa de que as variações na demanda por recursos são maiores que as variações no crescimento do PNB, de modo que quando o crescimento do PNB cai há diminuição mais que proporcional na demanda por recursos. Por outro lado, quando este crescimento aumenta a demanda por recursos também cresce mais que proporcionalmente (WILLIAMS et al., 1987, p. 105).

No entanto, para Williams et al. (1987, p. 106) haveria fortes evidências para duvidar deste comportamento das curvas de demanda dos recursos. Tais evidências indicariam que a redução na demanda por recursos naturais seria parte de uma mudança

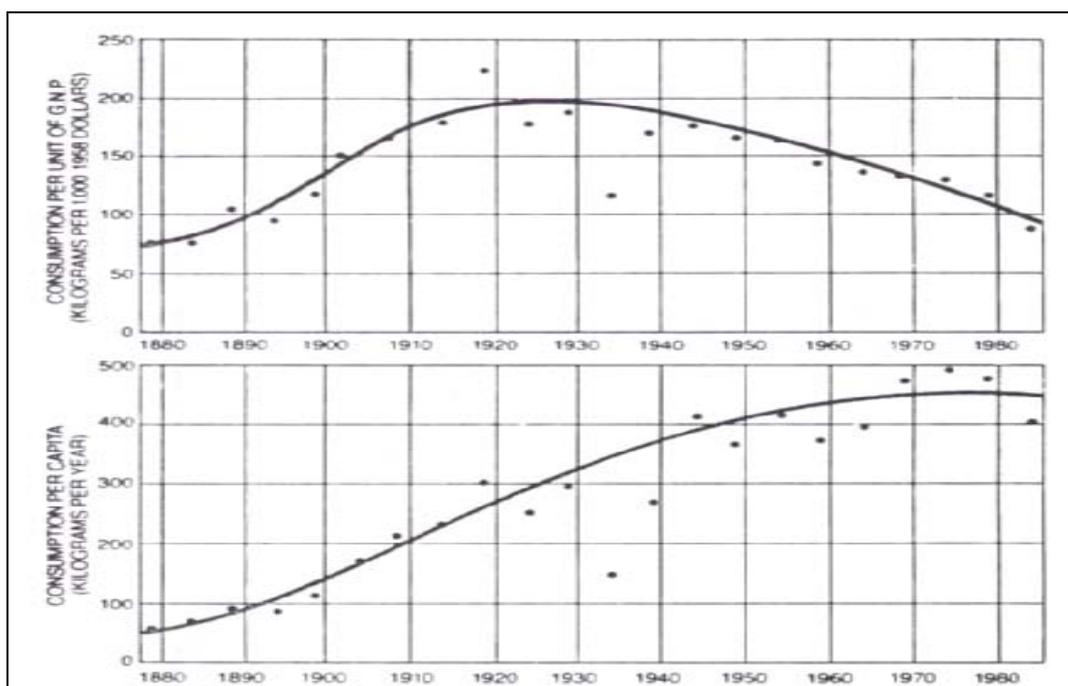
---

<sup>47</sup> Os autores inserem uma importante nota nesta parte do texto (Williams et al., 1987, p. 100): “Por exemplo, tanto aços especiais quanto aços comuns estão incluídos na Classificação Industrial Padrão (SIC, nas iniciais em inglês) de quatro dígitos 3312. Igualmente, plásticos especiais de engenharia estão incluídos na mesma classificação que plásticos commodity de baixo custo.”

<sup>48</sup> Mesmo reconhecendo a relevância da literatura levantada por Williams et al. (1987) para o tratamento das questões energéticas em geral, não é feita aqui uma exposição mais detalhada dela, uma vez que isto não contribuiria para a análise do problema específico que norteia a construção da dissertação.

revolucionária do papel dos materiais na economia (WILLIAMS et al., 1987, p. 106), e não apenas circunstancial.

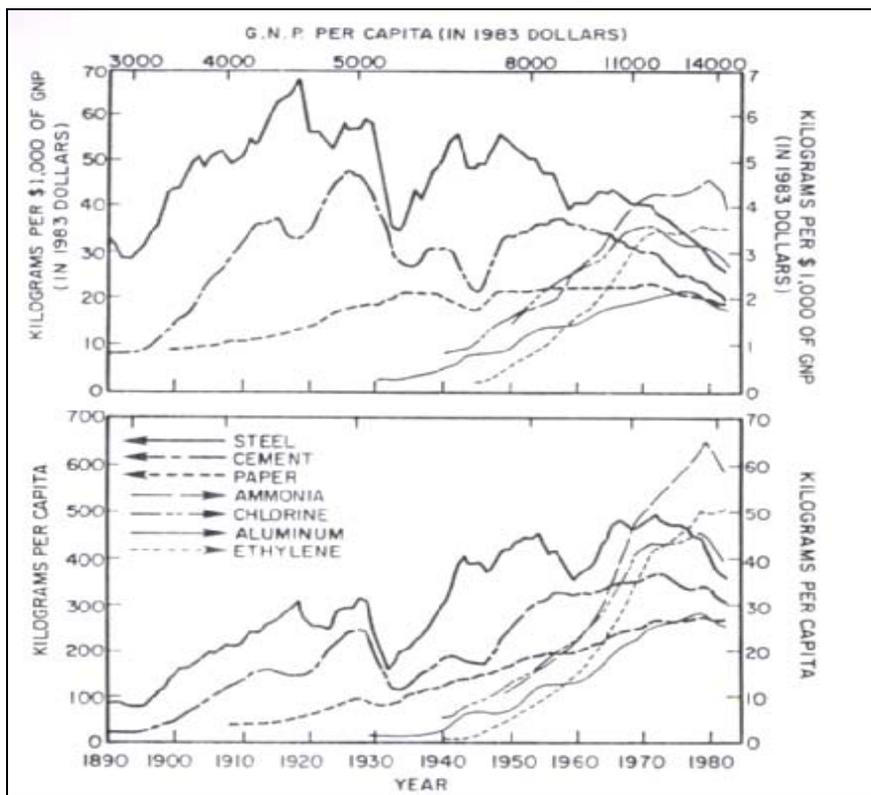
Um conceito importante utilizado pelos autores para defender seu ponto de vista é o de ciclo de vida dos materiais. Quando um novo material é introduzido no mercado, seu consumo per capita é baixo, havendo grande possibilidade de crescimento. Nestes estágios iniciais o consumo do material cresce substancialmente. Porém, ao longo deste crescimento novos desenvolvimentos nas tecnologias de processamento destes materiais aumentam a produtividade e levam também a produtos de maior valor agregado, embora menos intensivos em material. Como as tecnologias neste novo estágio centram-se na fabricação de produtos mais sofisticados e fazem uso de processos mais eficientes, nesta nova fase o consumo de materiais é consideravelmente menor (WILLIAMS et al., 1987, p. 106). Corroboram sua hipótese pela apresentação das curvas de consumo de aço dos Estados Unidos ao longo de um século (1880-1980) (WILLIAMS et al., 1987, p. 107):



**Figura 4.7- Evolução do Consumo de Aço nos Estados Unidos (1880-1980)**

[fonte: Williams et al., 1987]

Segundo os autores, trajetórias similares podem ser vistas no uso de outros materiais. Para corroborar este ponto de vista mostram gráficos estudando a evolução do consumo de sete dos materiais mais importantes para a indústria (aço, cimento, papel, amônia, cloro, alumínio, etileno) nos Estados Unidos, no período de 1890 até 1980, interpretando estas evidências como um sinal de que a demanda por materiais estaria em tendência de queda (Figura 4.8).



**Figura 4.8- Evolução do Consumo de Aço, Cimento, Papel, Amônia, Cloro, Alumínio e Etileno nos Estados Unidos (1890-1980)**

[fonte: Williams et al., 1987]

A hipótese de que os resultados apresentados representem somente uma resposta ao aumento de preços dos materiais analisados é descartada com o argumento de que os preços da maioria dos materiais básicos em termos reais hoje não são maiores, e em alguns casos

são menores que nos anos de 1960 (WILLIAMS et al., 1987, p. 108)<sup>49</sup>. Ainda segundo os autores (WILLIAMS et al., 1987, pp. 109-110):

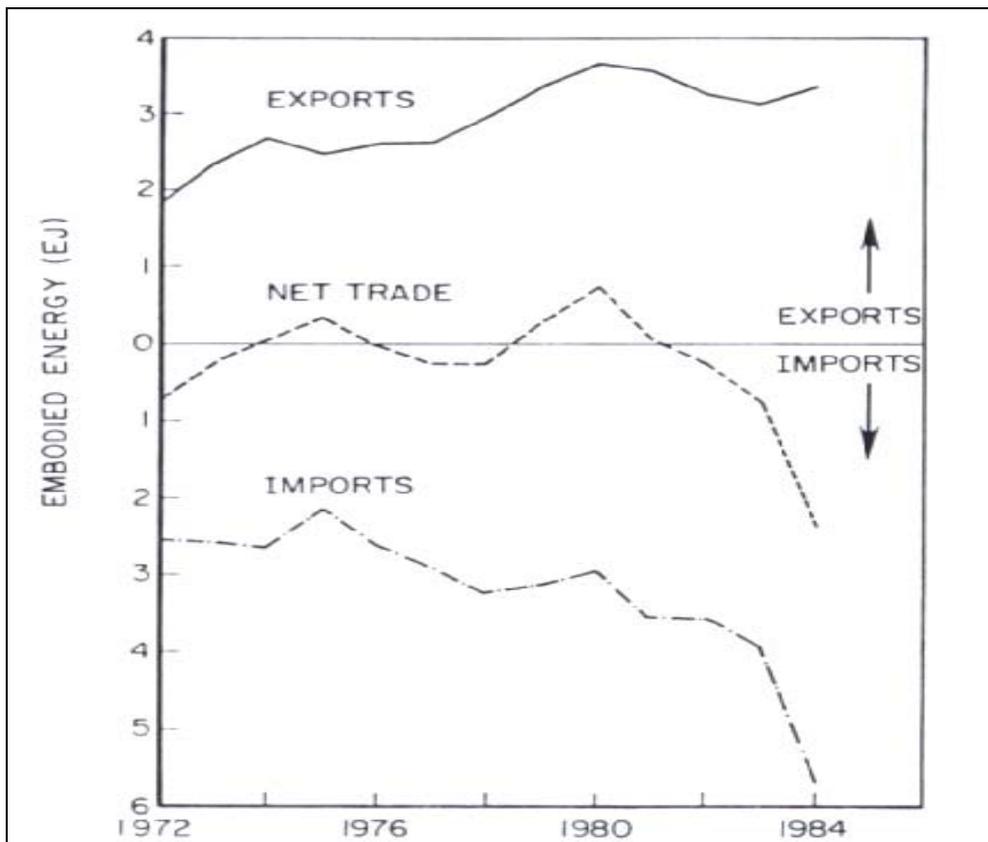
A maturação do uso de materiais básicos nos Estados Unidos pode ser atribuída a quatro fatores: melhorias na eficiência de uso dos materiais; substituição de materiais tradicionais por mais baratos ou com características mais desejáveis, saturação do volume de mercado para materiais, e mudanças ns preferências dos consumidores com altos níveis de renda por bens menos intensivos em materiais e serviços.

Um ponto importante da suposta mudança estrutural preconizada por Williams et al. (1987) é a percepção de que a economia estadunidense tem se tornado cada vez mais dependente da importação de recursos naturais. A produção destes recursos estaria sendo deslocada para países em desenvolvimento e ricos em recursos naturais (WILLIAMS et al., 1987, p. 116). Apresentam gráfico extraído de Roop (1986)<sup>50</sup> corroborando este ponto de vista. Na Figura 4.9, nota-se o aumento no conteúdo energético das importações estadunidenses (WILLIAMS et al., 1987, p. 117):

---

<sup>49</sup> São apresentados gráficos com a evolução dos preços do aço, amônia, cimento, cobre, alumínio, chumbo, titânio, níquel e estanho ( WILLIAMS *et al.*, 1987, pp. 112-113, figuras 8,9 e 10).

<sup>50</sup> ROOP, J. M. The trade effects on energy use in the US economy: an input-output analysis. Presented at **8<sup>th</sup> Ann. Int. Assoc. Energy Economists N. Am. Conf.**, Cambridge, Mass, 1986.



**Figura 4.9- Evolução do Conteúdo Energético Embutido nas Exportações e Importações dos Estados Unidos (1972-1984)**

[fonte: Williams et al., 1987]

Entre as razões apresentadas para a consolidação desta situação estão as maiores embarcações, a modernização dos portos (ou seja, a redução dos custos de transporte) e a diminuição da concentração da propriedade das instalações produtoras (esta redução na concentração, ao estimular a concorrência no mercado de commodities, reduz custos, tornando a produção interna estadunidense menos atrativa, o que funciona como estímulo à importação de recursos). Portanto, conclui-se que os autores consideram o comércio internacional um fator de causalidade importante para a consolidação do seu diagnóstico.

Após esta visão mais geral sobre a tendência na demanda por recursos naturais, passam a analisar setores específicos. Com relação a estes setores definem não somente a

tendência de consumo dos materiais específicos, mas também procuram avaliar o grau de competitividade da indústria dos Estados Unidos em cada um deles<sup>51</sup>.

O conjunto de argumentos e evidências apresentados defende a possibilidade de que a economia dos Estados Unidos esteja transitando para uma economia menos intensiva no uso de materiais. Assumindo que isto esteja de fato a ocorrer, quais as implicações disto para a demanda por energia? Há dois prognósticos importantes definidos pelos autores. O primeiro deles refere-se à participação relativa das importações na economia dos Estados Unidos (WILLIAMS et al., 1987, p. 137):

O próximo passo em nossa projeção preocupa-se com o aumento nas importações líquidas de materiais. Como a indústria de materiais é intensiva em capital, o afastamento da indústria energo-intensiva nos Estados Unidos levará tempo. Por uma década ou duas outros 25% da indústria de metais primários dos Estados Unidos podem desaparecer. A indústria química orgânica pode ver sua balança de exportação líquida tornar-se uma balança de importação líquida. O mais certo desenvolvimento é que para a maioria das indústrias novas fábricas para processar materiais básicos provavelmente não serão construídas nos Estados Unidos.

Ou seja, novamente os autores colocam o comércio internacional como uma variável relevante para entender a redução das intensidades na produção de energia e materiais nos Estados Unidos, uma vez que o menor crescimento das indústrias energo-intensivas tem implicações sobre a demanda por energia.

O segundo prognóstico diz respeito à tendência quanto ao consumo de energia (WILLIAMS et al., 1987, p. 137):

Para este período esperamos que, na ausência de novas políticas públicas poderosas ou eventos afetando o uso de energia industrial, a intensidade energética primária setorial da indústria declinará numa taxa média anual de 1-2% ao ano.

---

<sup>51</sup> Como o objetivo é apenas apresentar uma compreensão mais aprofundada do que Schipper e Grubb chamam de 'mudança estrutural', não serão aqui apresentados os resultados de Williams *et al.* (1987) quanto à análise de setores específicos. Os setores específicos analisados são aço, etileno/plástico, alumínio, papel, materiais minoritários (incluem cobre, chumbo, zinco, manganês, cromo, níquel, estanho, molibdênio, titânio, e tungstênio) e novos materiais.

Cabe acrescentar também que a tendência de redução na intensidade energética prevista por Williams et al. (1987) é acompanhada da conclusão de que a participação relativa da eletricidade no conjunto de energéticos tende a aumentar (WILLIAMS et al., 1987, p. 137). São apresentadas razões para que o consumo de eletricidade esteja declinando mais lentamente do que o observado em outras formas de energia (WILLIAMS et al., 1987, p. 138):

Intensidade elétrica setorial tem diminuído mais lentamente que a intensidade de combustível porque: (a) usos novos ou expandidos de eletricidade estão se tornando disponíveis e estão sendo adotados (65), e (b) melhorias na eficiência da eletricidade tipicamente não têm sido tão atraentes quanto para combustíveis, em termos de engenharia e econômicos.

Williams et al. (1987) concluem que a intensidade energética da eletricidade tende a apresentar crescimento nulo ou negativo, pois embora seja particularmente versátil para diversas atividades de serviço energético, as oportunidades de uso previstas não são altamente intensivas, no caso dos Estados Unidos (WILLIAMS et al., 1987, p. 138). Consideram ser pouco provável que a intensidade energética nos Estados Unidos caia a uma taxa menor que 1% ao ano (WILLIAMS et al., 1987, p. 139):

Há, obviamente, incertezas nestas projeções. Preços de energia mais altos e novas políticas públicas possíveis ao longo deste período poderiam induzir uma taxa mais rápida de redução na intensidade energética que 2% ao ano. É difícil imaginar entretanto uma redução na intensidade energética menos rápida que 1% ao ano. Além disso, uma tendência crescente para intensidade elétrica provavelmente implicaria numa reversão no processo de redução da importância relativa da indústria de materiais básicos.

Quanto à possibilidade de que maiores taxas de crescimento econômico levem a restrições quanto à disponibilidade de recursos, consideram que a mudança estrutural em curso é suficientemente profunda para que, mesmo sendo observadas maiores taxas de crescimento, tais restrições não se concretizem (WILLIAMS et al., 1987, p. 139/140):

Embora crescimento do PNB ligeiramente mais rápido não seria surpreendente, crescimento do PNB mais lento e expansão mais rápida das importações líquidas também não surpreenderiam e são talvez mais prováveis.

Além disso, não é nem mesmo claro que crescimento mais rápido do PNB levaria à demanda mais alta por energia na indústria. Como o mercado para a maioria dos materiais básicos está bastante saturado, o aumento na atividade industrial estaria muito associado com (a) produção maior de novos produtos caracterizados por um alto valor adicionado ao conteúdo material e (b) introdução mais rápida de materiais avançados (tanto materiais da nova era quanto aqueles que são commodities aperfeiçoadas) mercados de substituição para produtos intensivos em materiais. Como a introdução de materiais avançados sempre leva à redução nas demandas por energia da indústria (em grande parte por causa das substanciais reduções líquidas em necessidades materiais, em termos de quilogramas), é concebível que tais economias de energia poderiam mais que compensar as modestas exigências adicionais de energia associadas com a produção expandida de novos produtos de baixa intensidade material.

Então, as incertezas são tais que é razoavelmente provável que o uso futuro de energia seja menos que o projetado, e improvável que seja substancialmente maior.

Concluindo, os autores reafirmam acreditar que a queda na intensidade de uso dos recursos materiais e energéticos não seria meramente circunstancial, defendendo ainda sua importância para o planejamento da política econômica: subsídios e medidas protecionistas à indústria energo-intensiva tenderiam a ser pouco eficazes, por não terem nenhum efeito sobre a estagnação na demanda pelos tradicionais materiais (WILLIAMS et al., 1987, p. 140). Ainda segundo os autores, esta mudança estrutural tornaria o planejamento ambiental dos recursos mais fácil, tendo ainda como efeito relevante uma tendência a pressionar para baixo os preços do petróleo (WILLIAMS et al., 1987, p. 140). São estes os argumentos e evidências utilizados por Williams et al. (1987) para caracterizar a ‘mudança estrutural’ na economia dos Estados Unidos.

## **5 ANÁLISE CRÍTICA DO DISSENSO ENTRE BROOKES (2000) E SCHIPPER E GRUBB (2000)**

Neste capítulo busca-se fazer uma apreciação crítica das posições de Brookes (2000) e Schipper e Grubb (2000). Esta apreciação apóia-se nos seguintes pontos: (a) em que extensão a análise de Schipper e Grubb (2000) corrobora o sucesso das políticas de efficientização? (b) até que ponto a metodologia utilizada apreende conseqüências relevantes no que concerne à relação entre desenvolvimento tecnológico e alocação dos recursos energéticos? (c) quais as implicações desta análise para as tradicionais defesas apresentadas do postulado Khazzoom-Brookes?

### ***5.1 RESULTADOS DE SCHIPPER E GRUBB (2000) E PERTINÊNCIA DAS POLÍTICAS DE EFICIENTIZAÇÃO***

Até que ponto os argumentos e evidências apresentados por Schipper e Grubb (2000) apóiam a assertiva de que as políticas de efficientização, no contexto dos países desenvolvidos, têm sido bem sucedidas quanto ao objetivo de diminuir as emissões globais de CO<sub>2</sub>? Esta pergunta na verdade desdobra-se em duas outras trajetórias de questionamentos: (a) existe relação de causalidade entre a adoção das políticas de efficientização e a queda observada nas intensidades energéticas? (b) é possível concluir que as políticas de efficientização efetivamente pressionam para baixo as emissões globais de CO<sub>2</sub>?

Com relação à primeira trajetória de questionamentos, em Williams et al. (1987) são feitas previsões segundo as quais a intensidade energética nos Estados Unidos tenderia a apresentar queda média anual de 1% a 2%. Considera-se que, mesmo sem a adoção de qualquer política pública, a queda na intensidade energética dificilmente seria menor que 1% ao ano (WILLIAMS et al., 1987, p. 139). Alguns anos depois, Schipper e Grubb observam uma redução média anual pouco maior que 2,0% no indicador energia/PNB para os Estados Unidos (GRUBB, 2000, p. 383), considerando o período 1973-1994. Na verdade, devido à dinâmica do processo e à forma como os dados são apresentados, não é possível discernir se a queda nas intensidades é uma conseqüência do sucesso das políticas

de eficiência ou do processo de mudança estrutural que Schipper e Grubb colocam como fundamento econômico de sua análise.

Isto porque, havendo um processo de mudança estrutural em curso, as políticas de eficiência podem: (a) terem se mostrado inúteis, com a queda nas intensidades energéticas tendo sido consequência exclusiva da mudança estrutural; (b) terem ajudado a reduzir ainda mais as intensidades energéticas, o que apoiaria o ponto de vista de Schipper e Grubb (2000); (c) trabalhado contra a redução nas intensidades energéticas (os resultados seriam uma demonstração da força do processo de mudança estrutural em curso: mesmo com a adoção de políticas contraproducentes, teria ocorrido uma queda nas intensidades), o que apoiaria o ponto de vista de Brookes (2000) (ao menos no que diz respeito a considerar a adoção destas políticas como instrumento equivocado). A partir das evidências e argumentos utilizados, não é possível descartar nenhuma destas alternativas. Para que estas alternativas possam ser realmente estudadas é necessário que se forneça uma explicação que detalhe a forma *como* os ganhos de eficiência energética, ao relacionarem-se com o processo de mudança estrutural em curso, têm levado a uma redução no consumo energético dos países analisados. Como a ‘mudança estrutural’ é apenas levantada como fundamento, sem que se detalhe a maneira como esta fundamentação ocorre, não possuímos elementos para descartar nenhuma das possibilidades (a), (b) ou (c).

Em suma, não é possível delinear uma clara relação de causalidade entre a adoção das políticas de eficiência e a redução observada nas intensidades energéticas em nível macroeconômico. Daí que os argumentos e evidências expostos não corroboram o sucesso das políticas de eficiência: apenas constatam, num conjunto específico de países, uma redução na intensidade energética<sup>52</sup>. Schipper e Grubb (2000) não desenvolvem nenhum instrumento teórico ou procedimento para análise de evidências que permita concluir pelo sucesso destas políticas quanto à sua contribuição para a redução na intensidade energética.

---

<sup>52</sup> Cabe acrescentar que esta redução na intensidade energética restringe-se à análise do uso direto da energia. Ou seja, sua aceitação como evidência do sucesso das políticas de eficiência dependeria ainda de que se aceite a premissa de que processos de mensuração que se restrinjam a uma análise do uso direto da energia são suficientes para extrair conclusões relativas ao sucesso de tais políticas, descartando a necessidade de que sejam feitos estudos adicionais ponderando os usos indiretos da energia.

O que de fato executam é um trabalho para mensurar a evolução da intensidade energética num particular conjunto de países. Suas análises são uma importante referência para estabelecer discussões mais proveitosas, por basearem-se em evidências concretas, mas são ainda bastante insuficientes para que se conclua que as políticas de efficientização têm sido bem sucedidas quanto a reduzir as intensidades energéticas dos países estudados.

Porém, mesmo que seja admitido que as políticas de efficientização foram bem sucedidas quanto a reduzir a intensidade energética no conjunto de países analisados, isto é ainda insuficiente para afirmar que elas foram bem sucedidas quanto ao que é colocado como problema fundamental no debate sobre o efeito bumerangue: a redução nas emissões globais de CO<sub>2</sub>. De fato, se a meta é a redução das emissões, ou pelo menos o estabelecimento de políticas que delineiem tendências nesta direção, é necessário que as políticas de efficientização mensurem seu sucesso a partir da efetiva contribuição destas políticas para a consagração desta meta.

É verdade que relacionar a adoção das políticas de efficientização às tendências globais de emissões de CO<sub>2</sub> é tão importante quanto difícil. Devido à dinâmica do comércio internacional e às interdependências entre os países, o processo de alocação dos recursos energéticos tende a assumir uma complexidade cada vez maior, o que dificulta relacionar as decisões locais ao conjunto global de relações econômicas. No entanto, embora difícil é o estudo desta relação que permitiria afirmar com segurança se este conjunto de políticas mostra-se ou não bem sucedido, quanto a reduzir as emissões globais de CO<sub>2</sub>. Sem que este ponto seja cuidadosamente avaliado, a conclusão de que tais políticas têm sido bem sucedidas é arbitrária. O eventual desconforto que esta constatação acarrete ao analista em nada muda as condições objetivas do problema colocado: difícil ou não, saber como ganhos de eficiência energética podem conduzir a reduções nas emissões globais de CO<sub>2</sub> é imprescindível para balizar, do ponto de vista instrumental, a legitimidade das políticas de efficientização energética<sup>53</sup>, o que nos leva à segunda trajetória de questionamentos quanto à análise de Schipper e Grubb.

---

<sup>53</sup> Justificativas de outra natureza, como as políticas e econômicas, poderiam também ser levantadas para explicar a legitimidade das políticas de efficientização. Por exemplo, estas podem ser vistas como um sub-produto da disputa por rendas numa democracia capitalista.

Os defensores das políticas de eficiência energética partem do princípio de que seria possível fazer uso dos mesmos serviços energéticos com a utilização de menores quantidades de energia e, conseqüentemente, usando menos combustíveis fósseis. Se grande parte dos serviços energéticos é proveniente da queima de combustível fóssil, de fato pode-se inferir que uma redução na intensidade energética do país (indicadores físicos) implica num menor nível de emissões *diretamente* associáveis ao país<sup>54</sup>. *Coeteris paribus*, uma análise dos indicadores do país mostraria uma menor participação relativa do mesmo no total das emissões globais. Mas estas constatações nos permitiriam concluir que as políticas de eficiência energética definidas no país contribuíram para minimizar o nível total de emissões?

Do ponto de vista ambiental, é o nível global das emissões que importa. Portanto, é sobre esta perspectiva que a questão deve ser abordada, mesmo que as políticas sejam definidas localmente, no nível do estado-nação. Ou seja, o caráter global do problema ambiental tratado impõe que sejam feitas referências às relações globais que circundam as políticas locais. Na verdade, é bem pouco plausível que o tratamento de um problema ambiental global possa ser bem sucedido sem fazer referência explícita a este conjunto global de relações. Assim, o sucesso das políticas locais de eficiência energética precisa ser corroborado a partir do conhecimento de quais tendências globais de emissões são

---

<sup>54</sup> Se parte considerável dos serviços energéticos não é proveniente da queima de combustíveis fósseis, tanto a redução no consumo de energia quanto o aumento não *necessariamente* terão um impacto significativo no nível de emissões. Este ponto é particularmente importante, por exemplo, para entender a dinâmica das emissões. Em países como Canadá, Noruega e França, em que a maior parte da energia elétrica não é proveniente da queima de combustíveis fósseis, aumentos na participação relativa de setores energointensivos podem não ter como conseqüência um aumento na participação destes países no nível global de emissões. Ou seja, não apenas a estrutura produtiva que consome energia determina o nível global de emissões de gases de efeito estufa, mas também a estrutura produtiva e tecnológica pela qual esta energia é obtida. É bastante plausível, embora não necessário, que estruturas produtivas distintas possuam conseqüências distintas associadas. Ainda atendo-se ao exemplo da energia elétrica, do ponto de vista ambiental as estruturas de geração de energia baseadas em hidroeletricidade são usualmente lembradas por seus impactos sobre a área inundada; enquanto que a questão ambiental mais importante quando se faz uso de energia nuclear é o lixo atômico. Ou seja, embora tais formas de geração de energia produzam menos impactos no que concerne às emissões de gases de efeito estufa, possuem seus respectivos e específicos problemas ambientais. Parece claro que qualquer escolha concernente às estruturas produtivas de geração e consumo de energia deve levar em consideração tais especificidades. Sendo assim, a associação entre consumo de energia e nível global das emissões não deve ser utilizada como uma *lei* que determina a priori a natureza das decisões de política ambiental e energética, mas como uma regra prática que é relevante para a determinação de tais políticas, mas cujo uso efetivo deve estar sujeito à observação das condições específicas do lugar em que esta política energética será utilizada.

estabelecidas pela ação destas políticas, sendo altamente desejável que se possa fazer isto ao menos para o curto e médio prazos.

Ao usar a expressão ‘conjunto global de relações’ procura-se destacar o fato de que os países não são sistemas avulsos, isto é, estabelecem relações comerciais uns com os outros, de modo que o tratamento de um problema ambiental global deve necessariamente preocupar-se em entender os processos de transferência de energia e materiais entre eles. Seria bastante precipitado afirmar antecipadamente de que forma e em que intensidade este processo de transferência atua, ou tentar ser conclusivo quanto ao seu efetivo grau de relevância. Mas é provavelmente ainda mais precipitado minimizar sua importância, principalmente num momento em que o processo de integração econômica entre os países mostra-se cada vez mais intenso, num processo de aumento da interdependência que tem sido chamado de globalização.

Há evidências de que a utilização dos recursos energéticos não tem estado imune a este processo de internacionalização. Estudo de Wickoff e Roop (1994) feito para seis dos maiores países da OCDE – Canadá, França, Alemanha, Japão, Reino Unido e Estados Unidos – concluiu que o conteúdo de carbono embutido nas importações destes países varia de menos que 10% a mais de 40% das emissões de carbono totais calculadas com base nas emissões domésticas. Machado et al. (2001) defendem que as exportações brasileiras embutem 40% mais energia e 56% mais carbono que cada dólar gasto nas importações.

Todos estes elementos apresentados levam-nos a concluir que os argumentos e evidências apresentados por Schipper e Grubb (2000), embora constituam-se num avanço em relação às abordagens tradicionais (por significarem o desenvolvimento de indicadores que buscam superar as limitações dos indicadores de intensidade energética tradicionais), não são ainda suficientes para corroborar o sucesso das políticas de efficientização. Além disso, é ainda bastante obscura a compreensão da ‘mudança estrutural’ e sua relação com as políticas de efficientização. Também é digno de nota o fato de que, num momento em que as trocas comerciais entre os países são cada vez mais importantes, os processos de transferências de atividades entre os países são apresentados como um fator de causalidade pouco importante.

## 5.2 LIMITES DA METODOLOGIA DE USOS FINAIS

Um ponto fundamental a ser notado na metodologia adotada por Schipper e Grubb (2000), que é comum a muitos outros analistas, é que esta se atem aos usos diretos da energia, enquadrando-se dentro dos chamados modelos de usos finais. Tais modelos foram desenvolvidos no final dos anos de 1970, em resposta tanto a não confiabilidade dos modelos de previsão convencionais, quanto para responder à necessidade de uma análise mais detalhada do uso da energia (GARDNER e ROBINSON, 1993, p. 2). Observando que não existe demanda por energia em si mesmo, mas por serviços energéticos, esta metodologia tem como proposta identificar oportunidades e gargalos pelo estudo e detalhamento dos usos finais da energia, alocando os recursos em função das oportunidades e dificuldades encontradas.

No entanto, há questões importantes que não podem ser tratadas pela metodologia de usos finais. Por exemplo, esta metodologia não analisa os usos indiretos da energia. Sendo assim, parte da dinâmica do processo de alocação de recursos energéticos não pode ser representada a partir dela. Uma metodologia que procura levar em conta os usos indiretos da energia é a análise de entrada-saída. Segundo Gardner e Robinson (1993, p. 2):

Uma relacionada, porém separada, direção de pesquisa tem sido o desenvolvimento da análise de entrada-saída para determinar as exigências energéticas totais necessárias para produzir vários bens e serviços (BULAARD e HERENDEEN, 1975; CASLER e WILBUR, 1984). Energia direta é a energia usada como entrada imediata na produção de um dado bem ou serviço. Uso indireto da energia é a energia total necessária para produzir outras entradas (por exemplo, materiais, equipamento, etc.). Ambos são componentes significantes da demanda energética. Diz-se que a soma da energia direta e indireta necessária para produzir um produto ou serviço está incorporada no produto ou serviço. A análise de entrada-saída de energia explicitamente leva em conta fluxos energéticos embutidos e diretos na economia e então leva a uma perspectiva mais ampla em relação ao uso da energia que a análise de uso final.

A importância de considerar o consumo energético indireto além do consumo energético direto foi enfatizada por um recente relatório do Congresso dos Estados Unidos, realizado pelo Office of Technology Assessment (1990). Uma análise de entrada-saída dos Estados Unidos no período de 1972-1985

concluiu que a energia estava crescentemente sendo consumida indiretamente e que o volume desse aumento era devido ao rápido crescimento do setor de serviços. Também notou-se que a energia embutida nos bens importados e serviços era igual à metade das importações diretas de energia dos Estados Unidos. Finalmente, observou-se que um quinto da redução no uso da energia no período de 1972-1985 era devido a economias indiretas de energia porque materiais energeticamente intensivos eram menos usados. Estas descobertas sugerem fortemente a necessidade de analisar o uso da energia num arcabouço mais amplo que o comumente utilizado.

Estas considerações de Gardner e Robinson (1993) são mais importantes por apontarem as limitações dos estudos de usos finais do que propriamente por consolidarem uma análise da energia que consolide uma visão sistêmica do processo de alocação de recursos energéticos, embora claramente caminhem nesta direção.

Toda a análise de Schipper e Grubb (2000) consiste na apresentação de evidências que, delineadas com o objetivo de superar as limitações dos tradicionais indicadores econômicos de intensidade energética, defendem o sucesso das políticas de efficientização fazendo uso de metodologias de uso final. Daí que a extensão e as limitações da abordagem de Schipper e Grubb (2000) está necessariamente circunscrita pela extensão e limitações desta metodologia. Não se trata aqui de uma mera discussão teórica sobre metodologias, mas de estabelecer qualificações que nos permitam afirmar o que podemos esperar delas, tendo sempre em mente a natureza concreta dos problemas tratados. Estas colocações abstratas ficam melhores ponderadas pela seguinte pergunta: no tocante à discussão sobre a dinâmica entre eficiência energética, uso da energia e crescimento econômico, é importante a distinção entre uso direto e indireto da energia? Isto é, a distinção entre uso direto e indireto da energia possui relevância para estudar a forma como o consumo de energia relaciona-se com a atividade econômica, a estrutura produtiva e a intensidade energética?

Para tentar responder esta pergunta, é útil partir do que pensam Schipper e Meyers (1992, pp. 57-58) sobre o consumo de energia:

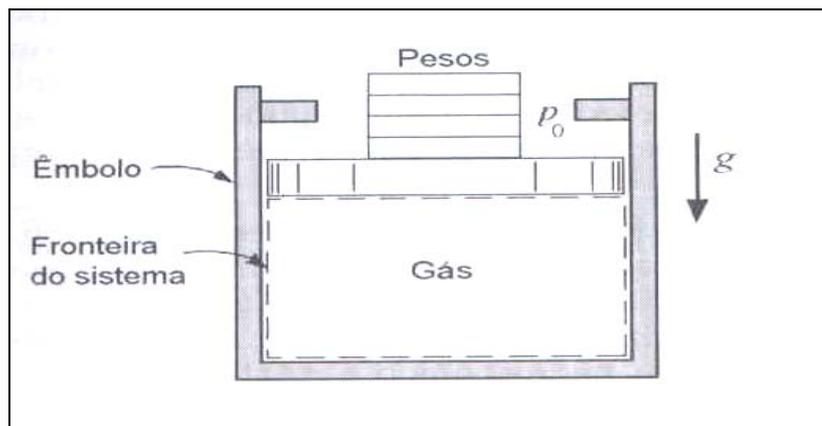
O consumo de energia total numa sociedade abrange a energia utilizada numa grande variedade de atividades. Falando em termos gerais, há duas grandes classes de usuários de energia: (1) empreendimentos envolvidos na transformação das fontes energéticas primárias em combustíveis, eletricidade, e calor; e (2)

todos os outros usuários, que são chamados usuários “finais”. O uso de energia total (“energia primária”) é a soma da energia consumida diretamente pelos usuários finais (“energia final”) com a energia “perdida” na produção e entrega de produtos energéticos (principalmente na produção e entrega de eletricidade). Focamos na energia final porque ela fornece os serviços energéticos que os usuários querem. Entretanto, é importante estar ciente de que o uso final da eletricidade acarreta perdas de energia consideravelmente maiores na produção e entrega (aproximadamente o dobro se a eletricidade é produzida a partir de combustíveis fósseis).

Para a discussão aqui travada, interessa particularmente a equação proposta: energia primária = (energia final + perdas). Até que ponto esta equação apreende as conseqüências relevantes relativas à alocação dos recursos energéticos?

A utilização de alguns conceitos básicos de termodinâmica pode tornar mais clara importância de nos determos sobre a equação proposta por Schipper e Meyers (1992).

Em termodinâmica a análise de uma determinada região do espaço (que pode ser tanto um equipamento quanto um país) é orientada pelas transferências de massa e energia. Se a região de análise apresenta quantidade de massa constante, é denominada *sistema* termodinâmico. A região no interior do sistema é separada do exterior pela *fronteira*, com a região exterior sendo denominada *vizinhança*. As fronteiras que definem o sistema são definidas pelo analista, mas para a utilização consistente do conceito de sistema termodinâmico é fundamental que a massa contida no interior desta fronteira não varie.



**Figura 5.1-Exemplo de um Sistema**

[fonte: Van Wylen, Sonntag e Borgnakke, 2003]

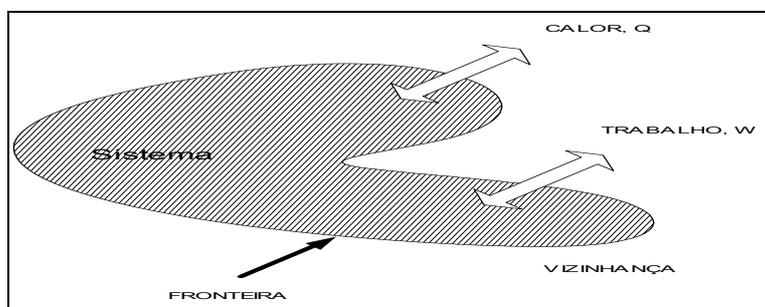
Considere o gás contido na Figura 5.1 como o sistema (VAN WYLEN, SONNTAG e BORGNAKKE, 2003, p. 13). Se um bico de Bunsen é colocado sob o cilindro, a temperatura do gás aumentará e o êmbolo se elevará, realizando trabalho. Quando o êmbolo se eleva, a fronteira do sistema modifica-se. Calor e trabalho cruzam a fronteira do sistema durante este processo, mas a matéria que compõe o sistema não muda. Este exemplo, extraído de Van Wylen, Sonntag e Borgnakke (2003, p. 13), é particularmente útil porque: (1) evidencia bem que o uso consistente do conceito de sistema depende da hipótese de que não existam transferências mássicas ou que pelo menos estas possam ser desprezadas; (2) a escolha de fronteira deve orientar-se não por critérios ‘geográficos’, mas por sua capacidade de evidenciar os fluxos de energia e trabalho (e no caso de sistemas abertos, conforme se definirá adiante, também de massa).

Quando não existe troca de energia ou trabalho entre o sistema e a vizinhança, tem-se um *sistema isolado*. Um sistema isolado não é influenciado de modo algum pelo que ocorre na vizinhança.

Quando as transferências mássicas são relevantes, é necessário fazer uso de conceitos adicionais. Para enfatizar o fato de que a análise desenvolvida preocupa-se com as transferências de massa entre a região de análise e a vizinhança, utilizam-se os termos *sistema fechado* e *sistema aberto*. O sistema fechado equivale ao sistema definido anteriormente. O sistema aberto é também denominado *volume de controle*. Nos casos em que o sistema é aberto, denomina-se *superfície de controle* a separação entre o interior do sistema aberto e a vizinhança. As considerações quanto ao caráter convencional e prático para a definição da região de análise também são válidas para os sistemas abertos: são as condições do problema que definirão a melhor superfície de controle para estudo.

A partir dos conceitos termodinâmicos de sistema fechado e sistema aberto é possível perceber que a equação utilizada por Schipper e Meyers (1992) para descrever o uso da energia pressupõe que as transferências mássicas com a vizinhança não são relevantes, o que evidentemente depende de confirmação empírica. Somente pela pressuposição de que as transferências de massa entre o sistema e a vizinhança são desprezíveis podemos admitir a suficiência da relação energia primária = (energia final +

perdas) para estudar a alocação dos recursos energéticos<sup>55</sup>. A pressuposição feita por Schipper e Meyers (1992) é adotada implicitamente em muitos dos estudos que fazem uso das metodologias de uso final, dentre os quais de Schipper e Grubb (2000), embora não sejam apresentadas evidências que as apoiem<sup>56</sup>. Na realidade, as metodologias de uso final tais como utilizadas por Schipper e Grubb (2000) dependem ainda de uma outra pressuposição: além da suficiência da hipótese de sistema fechado, dependem também da hipótese de que a escolha de fronteiras feita, centrada no estado-nação como região de análise, é suficiente para tratar os problemas que enfoca, em particular os relativos às emissões antropogênicas de carbono, o qual é um problema ambiental global. Conforme já salientado em parágrafos anteriores, são os elementos empíricos do problema que justificam a escolha da fronteira de controle e a decisão sobre construir a análise dentro de uma perspectiva de sistema fechado ou sistema aberto. Não se trata aqui de trazer arbitrariamente para uma específica área de estudo conceitos desenvolvidos em outra disciplina: parece bastante evidente que qualquer análise do consumo de energia precisa tecer considerações quanto aos fluxos de massa, energia e trabalho entre a região estudada e a vizinhança.



**Figura 5.2- Sistema Fechado**

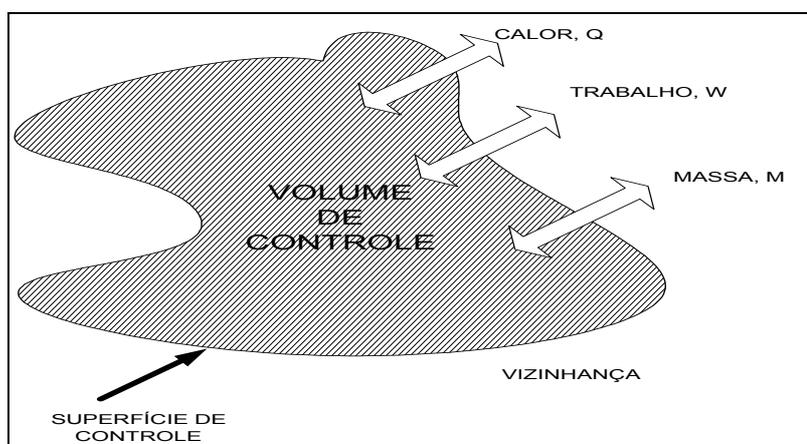
[fonte: Schmidt et al., 1996]

<sup>55</sup> O desenvolvimento de metodologias estudando os usos indiretos da energia corresponde à defesa de que a hipótese de sistema fechado não é suficiente para tratar os problemas relativos ao uso dos recursos energéticos.

<sup>56</sup> Na verdade, há inclusive argumentos e evidências que contradizem esta pressuposição, como atestam Gardner e Robinson (1993). O próprio processo de globalização é um argumento que pode ser utilizado para questionar a premissa de sistema fechado, uma vez que este processo acentua as trocas de produtos entre os países.

Se o estado nacional analisado pode ser considerado um sistema fechado, isto é, as trocas de massa entre o estado-nação e a vizinhança podem ser consideradas desprezíveis, então de fato podemos tomar a relação proposta por Schipper e Meyers (1992) como suficiente, de modo que a escolha de fronteira implicitamente feita por Schipper e Grubb (2000) deve ser considerada adequada para analisar o uso da energia no nível de estado-nação.

Ou seja, assumir a validade da equação proposta por Schipper e Meyers (1992) é assumir, implicitamente, que os conteúdos energéticos embutidos nas massas de produtos trocadas entre os países não são relevantes. Somente dentro de uma perspectiva de sistema aberto é que uma discussão levando em conta os conteúdos energéticos embutidos nos produtos e, portanto, os usos indiretos da energia, faz sentido. Dentro de uma perspectiva de sistema fechado, uma distinção entre uso direto e indireto da energia torna-se mero exercício de nominalismo, uma vez que nada podemos extrair dela.



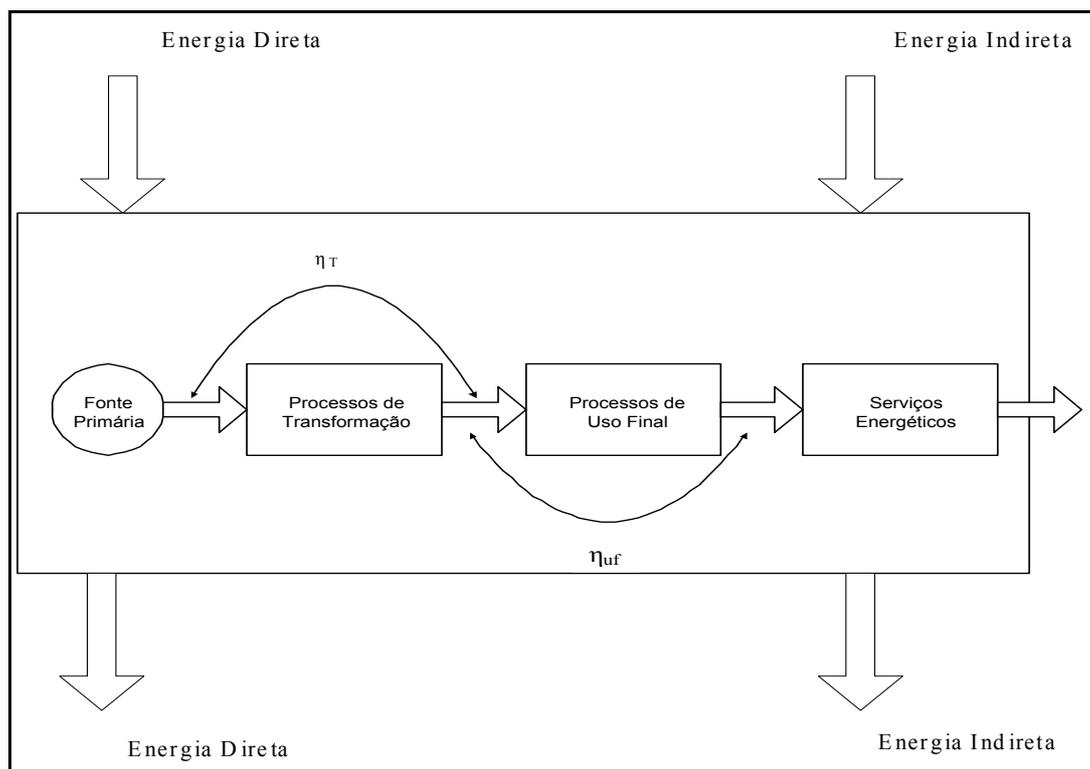
**Figura 5.3 – Sistema Aberto ou Volume de Controle**

[fonte: Schmidt et al., 1996]

Por exemplo, se a fronteira de controle de estudo é todo o sistema energético mundial, poderemos dispensar a distinção entre uso direto e indireto da energia, caso tenhamos caracterizado em detalhe os diversos usos finais existentes. Porém, se as

fronteiras de estudo são os estados nacionais, a adoção da equação energia primária = (energias finais + perdas) depende da aceitação de critérios adicionais, os quais, ressalte-se novamente, são de ordem empírica: evidências concretas podem, por exemplo, nos assegurar que as transferências mássicas entre os estados nacionais não são importantes, tornando plausível adotar a equação proposta por Schipper e Meyers (1992).

Ainda com o intuito de compreender até que ponto a metodologia de usos finais, tal como utilizada por Schipper e Grubb (2000), permite explicar a relação entre eficiência energética e uso da energia, suponhamos um sistema energético isolado. Além disso, façamos uso da distinção entre usuários delineada por Schipper e Meyers (1992), segundo a qual há: (1) os usuários envolvidos na transformação das fontes energéticas primárias em combustíveis, eletricidade e calor; (2) e aqueles envolvidos no uso final destas formas energéticas (SCHIPPER e MEYERS, 1992, pp. 57-58). Para a disponibilização dos serviços energéticos, atuam uma série de processos, desde a transformação até os usos finais. Considerar que podemos tomar a estrutura econômico-tecnológica que realiza tais processos como um sistema isolado é assumir que as trocas entre esta estrutura e a vizinhança podem ser tomadas como irrelevantes para determinar a direção das tendências observadas. Partindo da distinção entre usuários envolvidos na transformação e usuários finais, podemos delinear o processo mais amplo segundo o qual energia é transformada em serviços energéticos de acordo com a Figura 5.4:



**Figura 5.4 – Representação de Sistema Energético**

[fonte: elaboração própria]

Num sistema isolado, os serviços energéticos são fornecidos através de um conjunto de fontes primárias inteiramente contidas dentro do mesmo, de modo que os fluxos de energia direta e indireta (sendo a energia indireta aquela contida na massa de produtos trocada com a vizinhança) podem ser ignorados, o que significa dizer que os fluxos de energia direta e indireta assinalados na Figura 5.4 não serão considerados na análise seguinte.

Há dois processos pelos quais a energia primária é transferida para os diversos serviços energéticos. No primeiro deles, processos de transformação transmutam a energia das fontes primárias em combustíveis, eletricidade e calor. Num segundo momento, os combustíveis, eletricidade e calor disponibilizados pelos processos de transformação são alocados aos diferentes usos finais, por meios aqui denominados processos de uso final.

Entre os possíveis indicadores utilizáveis pelos analistas para explicar estes processos destacam-se os de intensidade energética, os quais podem enfatizar aspectos físicos ou econômicos. Dependendo de qual informação busca-se extrair e dos dados disponíveis, faz sentido priorizar um outro tipo de indicador. Em determinados pontos de sua análise Schipper e Grubb (2000) utilizam indicadores físicos, e em outros indicadores econômicos. O indicador Laspeyres de que fazem uso é na realidade uma particular construção de indicador econômico de intensidade energética, que tenta superar as limitações dos indicadores econômicos tradicionais de intensidade energética.

Não é raro que os indicadores de intensidade energética, em parte pela facilidade com que podem ser construídos, sejam utilizados numa extensão exagerada, tendo a pretensão de apreender aspectos relativos ao uso da energia que efetivamente não podem capturar. Para avaliar esta questão, é conveniente retomar duas das razões apresentadas por Rosenberg (1982) para a escolha de uma tecnologia energética<sup>57</sup>: (1) técnicas utilizadas aumentam a eficiência no uso, isto é, menos unidades são requeridas para executar o mesmo trabalho; (2) a tecnologia utilizada viabiliza o acesso a fontes mais abundantes. Enquanto (1) pode dizer respeito aos processos de transformação e aos processos de uso final, (2) diz respeito exclusivamente aos processos de transformação, o que é muito importante para a análise que se segue.

Suponha que uma inovação tecnológica permita um ganho de eficiência  $\eta_T$  nos processos de transformação, sem no entanto implicar em acesso a novas fontes<sup>58</sup>. Admita-se ainda que na dinâmica dos processos aqui descritos a energia não funcione como restritora

---

<sup>57</sup> Para Rosenberg (1982), são fatores importantes para a definição do valor econômico da energia: (1) técnicas pelas quais a energia possa ser utilizada de forma mais eficiente, isto é, menos unidades sejam requeridas para executar o mesmo trabalho; (2) desenvolvimento de técnicas que tornem possível o acesso a fontes mais abundantes; (3) métodos que aumentem o controle efetivo sobre a qualidade do produto final; (4) e, além disso, “progresso técnico envolveu uma busca por combustíveis que possuíam outras características – físicas e químicas – que eram essenciais para o sucesso de uma nova tecnologia e viabilizavam mais aumentos de produtividade” (ROSENBERG, 1982, p. 84).

<sup>58</sup> Por acesso a novas fontes entenda-se a descoberta de fontes até então desconhecidas. Na medida em que os ganhos de eficiência  $\eta_T$  podem tornar economicamente viáveis fontes pré-existentes, que até então eram desprezadas, faz-se necessário diferenciar entre o acesso a novas fontes mencionado no texto e o acesso a estas fontes já conhecidas, que por conta dos ganhos de eficiência  $\eta_T$  passam a serem consideradas economicamente atraentes.

da atividade econômica<sup>59</sup>. O que ocorrerá com o indicador de intensidade energética? Este ganho de eficiência no processo de transformação torna possível disponibilizar maiores quantidades de energia a partir do mesmo conjunto de fontes, de modo que o custo econômico da energia tende a cair, implicando num incentivo para consumir maiores quantidades deste recurso. Tanto no caso de um ganho de eficiência  $\eta_T$ , quanto na situação em que novas fontes são descobertas, o resultado é a maior disponibilidade de energia para ser utilizada pelos processos produtivos. Daí que, no que diz respeito à intensidade energética, em ambos os casos poderemos observar o mesmo resultado final: por conta da redução do custo econômico da energia, provocada pela disponibilidade de maiores quantidades de um produto que em suas formas primárias é indiferenciável, é possível que ocorra um aumento na intensidade energética<sup>60</sup>.

Entretanto, não se deve concluir que a um ganho de eficiência  $\eta_T$  se seguirá necessariamente um aumento na intensidade energética. Do ponto de vista de indicadores físicos, é muito provável que isto ocorra, uma vez que haverá incentivo econômico para substituir outros recursos existentes (trabalho e mesmo outros recursos naturais) por energia. No entanto, do ponto de vista econômico, a tendência dos indicadores de intensidade energética dependerá bastante das contribuições do fator energia para o aumento global da produtividade. Schurr (1982, 1985), estudando a evolução da intensidade energética dos Estados Unidos durante o século XX, notou que a queda nos indicadores energética, medida em seu âmbito econômico, ocorreu simultaneamente à substituição de outros fatores de produção por energia: embora houvesse uma queda persistente nos indicadores de intensidade energética, esta era acompanhada de um uso cada vez mais intenso da energia para substituir trabalho e outras formas de capital. Em suma, o uso da energia aumentava enquanto simultaneamente a intensidade energética caía. A explicação dada pelo autor é que os aumentos de produtividade propiciados pelo uso do recurso energia aumentaram a uma taxa maior que o aumento no consumo deste fator de

---

<sup>59</sup> Esta condição corresponde ao ponto de divergência entre Grubb (1990) e Brookes (1992) quanto à relevância do recurso energia para a obtenção de ganhos de produtividade.

<sup>60</sup> O exemplo histórico de Brookes (2000), correspondente à revolução industrial inglesa, quando houve grande aumento na intensidade energética, é consistente com a situação em que há grandes ganhos de eficiência energética nos processos de transformação.

produção. Ou seja a utilização do indicador intensidade energética para fazer assertivas quanto ao uso da energia deve levar em conta que este indicador é construído a partir da razão entre duas grandezas: basta que o numerador (energia) cresça menos que o denominador (produção econômica) para que observemos uma queda no indicador de intensidade energética. Isto não significa, de modo algum, que a utilização deste indicador não possa fornecer informações importantes quanto ao uso da energia, mas que não é possível fazer inferências imediatas apoiando-se em tendências observadas nas variações do indicador intensidade energética.

Ainda com relação ao indicador de intensidade energética, que tendências podemos observar se as inovações concentrarem-se em aumentos de eficiência nos processos de uso final? Caso as inovações concentrem-se nos processos de uso final, não estaremos alterando a disponibilidade de energia primária, como ocorre quando as inovações acontecem nos processos de transformação. Nestas novas condições, um eventual estímulo ao uso do recurso energia ocasionada pelos ganhos de eficiência não está acompanhada da maior disponibilidade de unidades físicas do recurso energia. Sendo assim, não é plausível esperar aumento nem mesmo nos indicadores de intensidade energética física, uma vez que não ocorreu um aumento nas unidades de energia efetivamente disponíveis. Como esta inovação não modificou a real disponibilidade de energia primária, tudo o que mediremos serão as conseqüências do ganho de eficiência no uso final  $\eta_{UF}$ , viabilizado pela nova tecnologia ou procedimento operatório adotado. Isto é verdadeiro mesmo que esta inovação signifique um grande incentivo ao consumo de serviços energéticos: sendo o indicador de intensidade energética uma medida de quantas unidades são consumidas para fornecer uma unidade de serviço energético, a medida de intensidade energética somente pode apresentar tendência de alta caso a quantidade de energia efetivamente disponível aos processos de uso final tenha aumentado em proporção suficientemente alta para que seja racional substituir outros fatores de produção por energia, com este incentivo sendo ainda suficientemente elevado para que se observe um aumento na intensidade energética, tal como ocorreu na revolução industrial inglesa<sup>61</sup>. Tal situação é simplesmente impossível de

---

<sup>61</sup> Conforme já salientado, para que ocorra um aumento no indicador econômico de intensidade energética é necessário que o consumo de energia cresça mais rápido que o aumento da produtividade, o que *pode* ocorrer

ocorrer caso as inovações tecnológicas concentrem-se em ganhos de eficiência  $\eta_{UF}$ : por mais estímulo ao consumo de serviços energéticos que  $\eta_{UF}$  signifique, o recurso energia não está disponível em maiores quantidades.

Se a inovação introduzida significa um estímulo ao consumo de serviços energéticos, sem que no entanto se altere a quantidade de energia propiciada pelas fontes primárias, então necessariamente observaremos uma queda na intensidade energética. Para chegar a esta conclusão basta analisar a forma como o indicador é construído: a intensidade energética simplesmente mede quantas unidades são requeridas para fornecer uma unidade de serviço energético. No caso de inovações tecnológicas centradas nos usos finais, o indicador de intensidade energética, a menos que seja utilizado com outros indicadores capazes de superar as limitações aqui apontadas, não permite avaliar o impacto sobre as fontes primárias.

Ainda atendo-se às inovações tecnológicas nos processos de uso final, se a inovação tecnológica não for suficientemente atraente do ponto de vista econômico, mediremos uma queda na intensidade energética, mas a demanda por serviços energéticos não se alterará de maneira significativa. Porém, se esta inovação for economicamente atraente, haverá uma queda ainda maior da intensidade energética: como a quantidade de energia disponível não se alterou, havendo simultaneamente um aumento na demanda por serviços energéticos, o estímulo à adoção de processos que aumentem a eficiência  $\eta_{UF}$  é ainda maior. Neste último caso, poderíamos ter uma queda acentuada na intensidade energética, simultaneamente ao aumento da demanda por energia e, portanto, da pressão sobre os recursos naturais.

Estas conclusões foram delineadas considerando-se que a energia não se constitui em gargalo à atividade econômica. Caso o acesso à energia apresente-se como elemento restritor da atividade econômica, tal como ocorreu nas crises do petróleo, então os efeitos negativos sobre a produtividade global do sistema poderão levar a um aumento da intensidade energética, uma vez que este indicador é a razão entre as grandezas consumo de energia e atividade econômica. Embora interessante, esta dinâmica não é aqui analisada. Apesar desta limitação os argumentos anteriormente desenvolvidos são suficientes para

---

para inovações tecnológicas nos processos de transformação, mas não ocorre para inovações nos processos de uso final.

corroborar a tese de que, para as inovações que se traduzem em aumentos de eficiência  $\eta_{UF}$ , apenas uma análise do processo de alocação dos recursos energéticos permitiria afirmar qual o efeito deste ganho de eficiência sobre o consumo de energia: é simplesmente impossível estabelecer conclusões a respeito unicamente pelo estudo dos indicadores de intensidade energética, frequentemente obtidos pela aplicação da metodologia de usos finais. No caso em que as inovações concentram-se em aumentos de eficiência  $\eta_{UF}$ , a metodologia de usos finais precisa ser complementada por processos metodológicos que permitam estudar o processo de alocação dos recursos energéticos, pois a partir destes torna-se possível qualificar e quantificar as interdependências existentes.

Evidentemente, a busca por tecnologias que aumentem a eficiência não precisam se concentrar nos processos de uso final ou nos de transformação, mas é necessário reconhecer que as condições históricas e empíricas podem ser tais que as melhores oportunidades possam, em determinado momento, concentrar-se em um ou outro ponto da cadeia. É possível que ganhos de eficiência  $\eta_{UF}$  funcionem como estímulo aos serviços energéticos, aumentando a demanda por energia, sem que no entanto possamos avaliar esta possibilidade a partir dos indicadores de intensidade energética norteados pela análise de uso final. Caso ocorra este aumento na demanda por energia, isto por sua vez aumentará o custo deste fator de produção (supondo aqui que a quantidade de energia primária disponível não aumente), o que funcionará como estímulo à introdução de ainda mais inovações tecnológicas no sentido de aumentar a eficiência energética, as quais podem estar centradas nos processos de uso final e não nos processos de transformação: novamente, é questão de ordem empírica que estas se encontrem em um outro ponto da cadeia.

O indicador de intensidade energética, quando da ocorrência de um ganho de eficiência  $\eta_T$ , *pode* funcionar como uma medida do estímulo que a eficiência energética significou para a demanda por energia. Porém, no caso de um ganho de eficiência  $\eta_{UF}$  este indicador é insuficiente para avaliar o impacto de ganhos de eficiência sobre o consumo de energia. Embora tanto quando da ocorrência de ganho  $\eta_T$  quanto no caso em que ocorre ganho  $\eta_{UF}$  exista um estímulo ao consumo de serviços energéticos, apenas quando as inovações correspondem majoritariamente a ganhos  $\eta_T$  é possível utilizar o indicador de

intensidade energética para representar uma medida do impacto deste estímulo ao consumo de serviços energéticos sobre o consumo de energia propriamente.

Evidentemente que a construção delineada pela Figura 5.4 é bastante esquemática, uma vez que as inovações podem ocorrer simultaneamente tanto nos processos de transformação, quanto nos processos de uso final. Além disso, ressalvas à idéia de que o conceito de eficiência seja suficiente para explicar a adoção de tecnologias energéticas já foram consistentemente feitas (ROSENBERG, 1982; BROOKES, 1992; ROSENBERG, 1998). O simples fato de que não exista uma medida inequívoca de eficiência energética (PATTERSON, 1996), e de que nem mesmo seja evidente que o critério de eficiência energética seja o mais importante (BROOKES, 2000), deveria tornar claro que qualquer política energética que oriente seus princípios em torno de um paradigma de efficientização precisa estar apoiada em muitas qualificações, ou mesmo numa teoria especificamente construída para apoiar tal paradigma, além disso fortalecida por evidências.

Uma vez que os recursos não são infinitos, uma situação em que menos quantidades sejam utilizadas para produzir a mesma saída é preferível em relação à outra em que sejam exigidas maiores quantidades de entrada (desde que sejam mantidas as demais condições objetivas de ação, o que pode não ocorrer). Daí a concluir que esta característica desejável possa representar satisfatoriamente todo o problema da alocação dos recursos energéticos (ou ao menos a maior parte) vai evidentemente um grande salto: a priori, isto é apenas uma possibilidade.

Embora esquemática, a discussão proposta a partir do modelo da Figura 5.4 é suficiente para mostrar que a insuficiência dos indicadores de intensidade energética e da metodologia de usos finais para apreender conseqüências importantes relativas ao uso dos recursos energéticos.

### ***5.3 IMPLICAÇÕES DO ESTUDO DE SCHIPPER E GRUBB (2000)***

Na discussão em torno do efeito bumerangue, as discordâncias não dizem respeito à possibilidade de que mudanças técnicas em setores específicos permitam substituir energia por capital e trabalho, mas à possibilidade de que estas substituições eventualmente ocorridas no plano microeconômico signifiquem reduções no consumo de energia no plano

macroeconômico. Um grande obstáculo à construção de uma síntese capaz de superar este dissenso é a dificuldade de obter indicadores quantitativos confiáveis que permitam relacionar com precisão as mudanças técnicas ocorridas no plano microeconômico ao consumo de energia do sistema macroeconômico. Dada a complexidade do sistema econômico, esta talvez seja uma ambição excessiva, mas a existência deste impedimento com relação aos principais indicadores (os mais usuais são intensidade energética e elasticidade da produção em relação ao consumo de energia) em certa medida torna mais explosivas as divergências. Há razões para acreditar que uma quantificação como esta seja impossível de realizar, em parte porque a própria evolução do sistema econômico frequentemente produz efeitos em direções não buscadas (HERRING, 1998), tornando obsoletas categorias anteriormente utilizadas com sucesso para quantificar e qualificar as conseqüências associadas à alocação dos recursos energéticos.

As questões levantadas no parágrafo anterior não têm por objetivo descartar a utilização de métodos quantitativos no estudo dos problemas energéticos, o que seria absurdo, mas defender que abordagens estritamente dedutivistas ou quantitativas tendem a mostrar-se pouco robustas. Como a utilização de tecnologias energéticas está sujeita à grande variabilidade, com a presença de vários fatores interdependentes atuando, a observação *direta* dos fatores que condicionam as situações concretas terá provavelmente sempre um peso considerável na determinação das conseqüências.

Apesar disso, tanto entre conservacionistas quanto entre críticos das políticas de efficientização, a discussão sobre a validade do postulado Khazzoom-Brookes tem estado quase que unicamente apoiada na observação *indireta* da relação entre ganhos de eficiência energética e consumo de energia, uma vez que grande parte da discussão tem se preocupado em estudar a relação entre ganhos de eficiência energética e atividade econômica. De fato, o postulado Khazzoom-Brookes relaciona ocorrências relativas ao uso da energia no plano microeconômico a consumo de energia no plano macroeconômico. Porém, as principais defesas e questionamentos à validade do postulado Khazzoom-Brookes tem centrado a busca de evidências em torno da análise da relação entre ganhos de eficiência energética e atividade econômica.

Saunders (1992), em artigo no qual a expressão ‘postulado Khazzoom-Brookes’ é cunhada, baseia seu trabalho nos estudos de Solow, para quem a questão do crescimento econômico era central. Sua análise conclui que o apoio ao postulado Khazzoom-Brookes decorre não apenas da redução do custo da energia mas do incentivo que ganhos de eficiência energética implicam ao crescimento econômico (SAUNDERS, 1992). A discordância entre Howarth (1997) e Saunders (2000) quanto à relevância da distinção entre energia e serviços energéticos está também bastante centrada na importância que um e outro atribuem ao recurso energia para a atividade econômica<sup>62</sup>.

Na análise empírica desenvolvida por Schurr (1982, 1985), também é bastante enfatizada a relação entre ganhos de eficiência energética e atividade econômica. O fato de que num grande período da história dos Estados Unidos tenha sido observada uma forte relação entre reduções de intensidade energética e ganhos de produtividade do sistema econômico é uma das razões apresentadas por Brookes (2000) para opor-se às políticas de efficientização.

Esta linha de investigação nada tem de arbitrária, considerando que a extração dos recursos naturais, dentre eles a energia, dá-se com o objetivo de satisfazer necessidades humanas, as quais concretizam-se por meio das atividades econômicas. No entanto, embora a relação entre ganhos de eficiência energética e atividade econômica seja um caminho necessário para compreender muitas das questões relativas ao uso dos recursos energéticos, talvez seja precipitado considerar que a análise da plausibilidade do postulado Khazzoom-Brookes deva necessariamente recorrer a esta relação. Ainda mais se considerarmos que a compreensão entre atividade econômica e uso da energia é ainda bastante insatisfatória (SCHURR, 1982).

---

<sup>62</sup> Howarth (1991) argumenta que os usuários finais não consomem apenas energia, mas energia associada a entradas de capital e trabalho. A relevância desta distinção depende da função de produção utilizada para modelar o problema (SAUNDERS, 2000). Cabe aqui um adendo no que se refere a esta distinção. Além de reconhecer que as entradas requeridas de energia exigem sua associação a capital e trabalho, pode-se também reconhecer que as entradas de capital e trabalho que substituem energia embutem energia (isto é, contêm energia ‘materializada’ na forma de capital e trabalho). Este reconhecimento é feito pelos biofísicos, em abordagens que pretendem ser alternativas ao tratamento neoclássico. O tratamento biofísico considera que as estimativas dos conservacionistas quanto a economias de energia estão superestimadas por não levarem em conta a energia embutida no capital e trabalho que é utilizado para substituir energia. Com exemplo deste tipo de abordagem pode-se citar Kaufmann (1992).

De fato, embora as evidências apresentadas por Schipper e Grubb (2000) sejam insuficientes para apoiar o sucesso das políticas de efficientização, apresentam algumas questões difíceis de serem respondidas pelas defesas ortodoxas do efeito Jevons: (a) se ganhos de eficiência energética aumentam as taxas de crescimento econômico estimulando o consumo de mais energia, como, a partir do aparato ortodoxo, explicar que a produção industrial em 1994 no conjunto dos treze países da IEA (International Energy Agency) tenha sido 50% maior, em relação a 1973, com um consumo de energia 9% menor (SCHIPPER e GRUBB, 2000)? (b) de que forma ganhos de eficiência num elemento que compõe uma parte minoritária da renda de um país (no caso, a energia) funciona como forte estímulo à atividade econômica (HOWARTH, 1997; SCHIPPER e GRUBB, 2000)? A verdade é que a relação entre consumo de energia e atividade econômica não é suficientemente clara para responder estas perguntas. Mas uma análise da plausibilidade do postulado Khazzoom-Brookes passa necessariamente por respostas a elas?

Quando são feitas inferências relativas ao postulado Khazzoom-Brookes por meio do estudo da relação entre ganhos de eficiência energética e atividade econômica, tenta-se avaliar de modo indireto a hipótese de que ganhos de eficiência energética ocorridos no plano microeconômico necessariamente levam a maior consumo de energia no plano macroeconômico. Uma outra abordagem é tentar estudar a plausibilidade do postulado de modo direto. Esta abordagem não substitui a primeira, que é útil por possibilitar responder também outras questões relativas ao uso da energia.

No capítulo seguinte, propõe-se um modo alternativo de avaliar a pertinência do postulado Khazzoom-Brookes, observando não a relação entre ganhos de eficiência e atividade econômica, mas a relação entre ganhos de eficiência e consumo de energia propriamente. Estabelecida a análise e apresentados os resultados, é feita uma discussão sobre suas possíveis conseqüências.

## 6 UMA ANÁLISE DAS CONSEQUÊNCIAS DA EFICIENTIZAÇÃO

A análise empírica aqui efetuada é uma tentativa de contornar limitações dos estudos baseados na avaliação de setores específicos, e uma proposta para estudar os custos de oportunidade associados ao uso da energia, apresentando uma forma alternativa de avaliar a plausibilidade da hipótese de que os custos de oportunidade<sup>63</sup> de não utilizar os ganhos de eficiência energética para aumentar a renda por meio do aumento no uso do fator de produção energia são suficientemente baixos: somente a redução em tais custos de oportunidade pode tornar as políticas de eficientização um instrumento adequado para tratar o problema das emissões de CO<sub>2</sub><sup>64</sup>. Uma avaliação confiável destes custos de oportunidade não pode apoiar-se unicamente no estudo de setores específicos, uma vez que o próprio desenvolvimento da estrutura sócio-econômica tende a tornar as classificações utilizadas para definir ‘setores específicos’ incapazes de capturar suficientemente bem mesmo o comportamento das partes. Embora até por questões de ordem prática o estudo de setores particulares se imponha (uma vez que a alocação dos recursos deve obedecer a algum critério de prioridade, é inevitável que algum esquema classificatório seja utilizado para priorizar as atividades e a distribuição destes recursos), estas análises setoriais não são adequadas para avaliar os custos de oportunidade associados ao uso da energia. Devido ao próprio desenvolvimento da estrutura sócio-econômica, análises que busquem estudar o comportamento do agregado macroeconômico são sempre necessárias: até para que se possa avaliar a pertinência dos critérios utilizados para classificar os ‘setores específicos’, critérios estes que podem ter de ser alterados em função do desenvolvimento e dos novos problemas que este processo de desenvolvimento impõe. Ou seja, em que pese a importância do estudo de setores específicos, é necessário estudar também o

---

<sup>63</sup> Alchian (1968, p. 404): “Em economia, o custo de um evento é o mais alto valor de oportunidade necessariamente adiado”. No que concerne à avaliação da plausibilidade das políticas de eficientização é necessário estudar se as evidências existentes corroboram a premissa de que a “mudança estrutural” ocorrida nos países desenvolvidos, ou na maior parte deles, tornou os custos de oportunidade de não utilizar o aumento na capacidade de explorar o recurso energia tão baixos que, no contexto destes países, as políticas de eficientização são um instrumento eficaz para reduzir as emissões de CO<sub>2</sub>. No nível em que a análise é aqui feita, não se analisam os usos indiretos da energia (ou seja, adota-se a hipótese de que os estados nacionais podem ser vistos como sistemas fechados).

desenvolvimento da estrutura sócio-econômica como um todo. Este estudo da estrutura maior permite que possamos perceber as insuficiências de conceitos até então utilizados para tratar a agenda de questões impostas pelo processo de desenvolvimento, possibilitando que a necessidade de repensar os conceitos seja levada a cabo.

Seria insano considerar que setores particulares não possam apresentar tendência à saturação. Mas para que as ‘economias de energia’ delineadas nestes setores impliquem em redução de consumo na estrutura mais ampla é necessário que o custo de oportunidade de não utilizar o excedente de energia propiciado pela saturação destes setores seja, conforme já afirmado, suficientemente baixo, de modo que os ganhos de eficiência energética obtidos em áreas características redundem em redução global no consumo. Por meio deste estudo poderemos fazer inferências mais seguras quanto ao papel que o recurso energia tem desempenhado no sistema capitalista como instrumento - nunca um fim em si mesmo - utilizado para viabilizar o lucro. É a relevância do recurso energia para a consecução desta tarefa que definirá a possibilidade de que políticas de efficientização constituam-se num meio adequado para reduzir as emissões de CO<sub>2</sub>.

Mas como fazer a avaliação deste custo de oportunidade? O argumento conservacionista, tal como defendido por Schipper e Grubb (2000), é o de que, no contexto dos países desenvolvidos, ganhos de eficiência energética *não aceleram* as taxas de consumo de energia. Este argumento, que é a negação da validade do postulado Khazzoom-Brookes para este particular conjunto de países, depende na verdade da aceitação de algumas premissas bastante fortes, nem sempre claramente explicitadas. A primeira delas é a de que neste conjunto de países teria ocorrido uma ‘mudança estrutural’ suficiente para que o efeito Jevons perdesse relevância; em se tratando de Schipper e Grubb (2000), a segunda premissa é a de que a metodologia de usos finais seria suficiente para organizar e apresentar evidências relativas à alocação dos recursos energéticos de modo a asseverar a não validade do postulado Khazzoom-Brookes e, por conseqüência, a pertinência e eficácia das políticas de efficientização<sup>65</sup>; a terceira, sob a qual se deterá a avaliação aqui

---

<sup>64</sup> Daí a importância do argumento de mudança estrutural em Grubb (1990), explicitamente, e de modo mais implícito em Schipper e Grubb (2000).

<sup>65</sup> Em outras palavras, não seria necessária a utilização de metodologias cujo foco são os usos indiretos da energia. Isto não está dito por Schipper e Grubb (2000), mas os autores sequer mencionam os usos indiretos

desenvolvida, é a de que seja possível analisar a pertinência do postulado Khazzom-Brookes estudando-se a relação entre ganhos de eficiência energética e crescimento econômico. A análise desenvolvida neste capítulo é uma alternativa a esta terceira premissa assumida por Schipper e Grubb (2000): busca-se aqui avaliar a plausibilidade do postulado Khazzom-Brookes não pelo estudo da relação entre ganhos de eficiência energética e crescimento econômico, mas pela análise da relação entre ganhos de eficiência energética e consumo de energia propriamente.

Quando se estuda o custo de oportunidade de não utilizar a energia propiciada pelos ganhos de eficiência por meio da análise da relação entre ganhos de eficiência energética e crescimento econômico, estamos na realidade a estudar tal custo de oportunidade de modo indireto: usamos a relação entre ganhos de eficiência energética e atividade econômica para fazer inferências relativas às tendências de consumo de energia, que são em última instância a evidência mais importante para avaliar estes custos de oportunidade. A análise empírica aqui desenvolvida buscará uma alternativa à terceira premissa apresentada no parágrafo anterior. Ou seja, é uma tentativa de estudar *diretamente* a relação entre ganhos de eficiência energética e consumo de energia. Além disso, a análise aqui desenvolvida não estuda as políticas de efficientização propriamente, mas os efeitos do aumento da eficiência energética sobre as tendências de consumo de energia. A partir do estudo destes efeitos temos elementos para emitir julgamentos com relação à pertinência das políticas de efficientização. Mais especificamente, estuda-se a plausibilidade da premissa de que ganhos de eficiência energética, para o caso dos países desenvolvidos, não implicam num consumo maior que aquele que haveria na ausência de tais ganhos. Ressalte-se ainda que o estudo não questiona nem a hipótese de ‘mudança estrutural’, nem a suficiência da metodologia de usos finais. Tal procedimento não visa refutar o uso dos tradicionais métodos indiretos, cuja forma é em grande parte herdada dos meios utilizados na economia para tratar especificamente o problema do crescimento econômico, mas defender a necessidade de que sejam complementados por métodos de observação direta.

---

como uma questão a ser estudada. Cabe notar que em Williams et al. (1987), que são na realidade a principal fonte de Schipper e Grubb (2000) para apoiar a hipótese de ‘mudança estrutural’, os usos indiretos da energia são reconhecidos como fator de causalidade relevante.

Conservacionistas e produtivistas<sup>66</sup> não discordam que ganhos de eficiência energética, ao reduzirem o custo da energia, estimulem o consumo. A discordância reside na relevância deste incentivo ao consumo. Para os conservacionistas, em especial Schipper Grubb (2000), estes incentivos seriam pequenos no contexto dos países desenvolvidos. Para os produtivistas, em especial Brookes (2000), tais ganhos de eficiência necessariamente tornam o consumo de energia maior que aquele que teria ocorrido na ausência destes.

Os conservacionistas defendem que, sendo a energia um componente minoritário da renda nos países desenvolvidos, o estímulo representado por tais ganhos de eficiência energética seriam pequenos, de modo que os benefícios das políticas de efficientização mais que compensariam eventuais estímulos ao consumo: como os gastos em energia representam uma parcela pequena da renda dos consumidores e da produção total, nestes países ganhos de eficiência energética significariam reduções de custo muito pequenas para estimular aumentos significativos nas taxas de crescimento econômico.

Entre os produtivistas, enfatiza-se o papel que a energia tem desempenhado como instrumento tecnológico para obter ganhos de produtividade. Para estes últimos, devido a este papel exercido pelo recurso energia, ganhos de eficiência energética economicamente justificáveis necessariamente tornam o consumo de energia maior que aquele que ocorreria caso tais ganhos não tivessem existido, isto é verdadeiro principalmente para as posições de Brookes (2000).

Já na forma de colocar o problema, os conservacionistas se atêm bastante à relação entre ganhos de eficiência energética e crescimento econômico, havendo razões históricas bastante fortes para tal<sup>67</sup>. Mesmo entre os produtivistas, estudos muito utilizados para defender a validade geral do postulado Khazzoom-Brookes centram-se bastante no estudo desta relação. Por exemplo, nos estudos de Schurr (1985), a relação entre ganhos de

---

<sup>66</sup> São aqui denominados 'produtivistas' aqueles que, ao se oporem ao paradigma da efficientização, enfatizam o papel da energia como instrumento de ganhos de produtividade no sistema econômico, tais como Brookes e Rosenberg. Há argumentos de ordem não produtivista contrários às políticas de efficientização, como por exemplo os que questionam a capacidade destas políticas de corrigirem as chamadas falhas de mercado, em estudos tais como os de Sutherland (1996).

<sup>67</sup> Os estudos aplicando o conceito de função de produção à relação entre ganhos de eficiência energética e uso de energia são bastante influenciados pelos trabalhos de Solow, em que o problema do crescimento econômico é central. Em Saunders (1992), a validade do postulado Khazzoom-Brookes é estudada explicitamente a partir da teoria de crescimento neoclássica.

eficiência energética e crescimento econômico (multifator de produtividade) tem bastante peso para as conclusões extraídas.

Em que pese a importância deste mecanismo indireto de avaliação da relação entre ganhos de eficiência energética e consumo de energia, a questão que realmente importa, no que diz respeito à relação entre uso de energia e emissões de CO<sub>2</sub>, é se ganhos de eficiência energética *aceleram* o consumo de energia ou *retardam* este consumo<sup>68</sup>.

Assumir que ganhos de eficiência energética retardam o consumo de energia é, na prática, defender que a função de produção<sup>69</sup> que propicia ganhos de eficiência energética pode ser vista de modo independente da função de produção crescimento no consumo de energia. De fato, se não existe retroalimentação positiva significativa entre a função de produção eficiência energética e a função de produção crescimento no consumo de energia, com a primeira acelerando as taxas de crescimento no consumo de energia, então políticas de efficientização *podem* constituir-se num instrumento eficaz para diminuir as emissões de CO<sub>2</sub>.

Para avaliar a plausibilidade da hipótese de independência entre a função de produção eficiência energética e a função de produção crescimento no consumo de energia, podemos modelar o consumo de energia como uma composição destas duas funções (eficiência energética e crescimento no consumo de energia):

$$E_t = E_0 * (1 + \lambda(t))^t * (1 - \eta(t))^t \quad (1)$$

$E_0$  = consumo de energia no ano zero;

$E_t$  = consumo de energia no ano  $t$ ;

---

<sup>68</sup> O parágrafo refere-se especificamente à pertinência das políticas de efficientização como instrumento para reduzir as emissões de CO<sub>2</sub>. Se novas tecnologias introduzidas permitem obter energia sem queimar carbono, e se os danos destas novas tecnologias são considerados mais aceitáveis que os oriundos daquelas que dependem da queima de carbono, então a relação entre uso de energia e emissões de carbono deve considerar outras questões além da retroalimentação entre ganhos de eficiência energética e consumo de energia, podendo mesmo ocorrer que este ponto perca bastante de sua relevância.

<sup>69</sup> Smith (1968, p. 512): “A teoria de produção tradicional postula uma relação de entrada-saída, ou função de produção, mostrando a quantidade de saída (ou as quantidades das várias saídas) que podem ser produzidas como função das várias entradas consumidas.”

$\lambda(t)$  = função crescimento do consumo de energia: esta função é tal que ao aumento no consumo de energia no ano  $t$  corresponde uma ‘taxa média’ de aumento no consumo tal que o consumo no ano  $t$  seja  $E_t = E_0 * (1 + \lambda_{\text{médio}}(t))^t$ . Se  $\lambda(t)$  aumenta,  $\lambda_{\text{médio}}(t)$  também aumenta;  
 $\eta(t)$  = função eficiência energética: esta função é tal que ao aumento da eficiência energética no ano  $t$  corresponde uma taxa média de ganho de eficiência energética tal que a redução de consumo no período  $0-t$  seja  $E_t = E_0 * (1 - \eta_{\text{médio}}(t))^t$ . Se  $\eta(t)$  aumenta,  $\eta_{\text{médio}}$  aumenta  $(t)$ ;

Ao modelarmos o consumo de energia desta forma, estamos assumindo que a função de produção eficiência energética e a função de produção crescimento no consumo de energia podem ser vistas como independentes. O consumo de energia passa então a ser visto como uma composição dos efeitos destas duas funções de produção, não havendo fatores de interação adicionais a serem considerados. Partindo destas considerações, podemos derivar a equação (1) com relação ao tempo:

$$dE_t/dt = E_0 * t * (1 + \lambda(t))^{t-1} * (d\lambda/dt) * (1 - \eta(t))^t - E_0 * (1 + \lambda(t))^t * t * (1 - \eta(t))^{t-1} * (d\eta/dt)$$

$$dE_t/dt = E_0 * t * (1 + \lambda(t))^{t-1} * (1 - \eta(t))^{t-1} * [(d\lambda/dt) * (1 - \eta(t)) - (1 + \lambda(t)) * (d\eta/dt)] \quad (2)$$

$\lambda(t)$  e  $\eta(t)$  são variações percentuais positivas, de modo que podemos afirmar:

$$E_0 * t * (1 + \lambda(t))^{t-1} * (1 - \eta(t))^{t-1} > 0 \quad (3)$$

Como bem afirmam Schipper e Grubb (2000), o consumo de energia é crescente. Daí que seja conveniente estudar a condição:

$$dE_t/dt > 0 \quad (4)$$

(2), (3) e (4) nos impõem (5):

$$(d\lambda/dt) * (1 - \eta(t)) - (1 + \lambda(t)) * (d\eta/dt) > 0 \quad (5)$$

Reescrevendo a equação (5), obtemos:

$$(1-\eta(t))/(1+\lambda(t)) > (d\eta/dt)/(d\lambda/dt) \quad (6)$$

Como  $\eta(t)$  e  $\lambda(t)$  são variações percentuais menores que 1, a equação (6) implica em:

$$(d\eta/dt)/(d\lambda/dt) < 1 \quad (7)$$

O que por sua vez nos fornece:

$$d\eta/dt < d\lambda/dt \quad (8)$$

Ou seja, as condições do problema são tais que (4) e (8) exigem que:

$$dE_t/dt > 0 \Leftrightarrow d\eta/dt < d\lambda/dt \quad (9)$$

Existem razões para que tenhamos um viés no qual tenhamos *systematicamente*  $d\eta/dt < d\lambda/dt$ ? Na verdade, exceto pelas razões levantadas pelo efeito Jevons, o momento histórico atual é tal que, se existe algum viés com relação às derivadas mostradas, este atua em sentido contrário ao que nos levaria à obtenção sistemática de  $d\eta/dt < d\lambda/dt$ : (a) menores ganhos de produtividade com que a energia é produzida<sup>70</sup>; (b) maiores restrições

---

<sup>70</sup> Joskow (1987), analisando a evolução das tecnologias utilizadas para converter combustível, capital e trabalho em eletricidade nos Estados Unidos (ou seja, a evolução de tecnologias utilizadas em processos de transformação naquele país, para usar uma terminologia consistente com a delineada na discussão sobre as limitações dos indicadores de intensidade energética, no capítulo anterior desta dissertação), conclui que a partir de 1965 estabeleceu-se uma estagnação na evolução da efetividade com que esta conversão é feita. O autor mede esta efetividade através de indicador que denomina fator de produtividade total, que é a razão entre saídas de eletricidade e entradas de combustível, capital e trabalho. Joskow (1987) cita ainda uma série de outros estudos que chegam a conclusões semelhantes. O estudo de Joskow (1987) em particular refere-se à produção de eletricidade usando carvão como combustível. Sendo assim, há evidências (num campo bastante específico, mas ainda assim relevante) compatíveis com a premissa de que as inovações tecnológicas na área energética podem em determinado momento concentrarem-se nos processos de transformação ou nos de uso

ambientais à utilização do recurso energia, o que aumenta o custo do recurso, funcionando como incentivo ao uso menos intensivo do mesmo no sistema econômico como um todo, ou seja, há incentivos para a substituição de energia por capital e trabalho; (c) no caso dos países desenvolvidos (ou ao menos parte deles), mudança estrutural no padrão industrial, a qual tende a tornar os sistemas econômicos destes países menos intensivos em energia, isto é, menos unidades de entrada são requeridas para produzir cada unidade de saída (WILLIAMS et al, 1987). Todos estes fatores levam a crer que, se há algum viés no que se refere às variações na eficiência energética e nas variações na taxa de crescimento no consumo de energia ao longo do tempo, é no sentido de aumentar a eficiência energética e reduzir as taxas de crescimento no consumo, ao menos para o conjunto de países estudados por Schipper e Grubb (2000). A única exceção a tais tendências é o efeito Jevons. A menos do efeito Jevons, as condições são tais que apontam para uma aceleração de  $d\eta/dt$  e uma desaceleração de  $d\lambda/dt$ .

Schipper e Grubb (2000) defendem que, no contexto dos países desenvolvidos, as condições do desenvolvimento econômico são tais que ganhos de eficiência energética não implicam em incentivo significativo ao consumo de mais energia. Disto concluem que, no contexto destes países, as políticas de efficientização seriam um instrumento válido para tratar o problema do efeito estufa. Os defensores do efeito Jevons, em posição oposta, defendem que ganhos de eficiência energética deverão levar, necessariamente, a maior consumo de energia em nível macroeconômico. Na prática, estas são as duas posições relevantes para avaliar os efeitos das políticas de efficientização: (a) ganhos de eficiência energética reduzem o custo real da energia, estimulando ainda mais seu consumo; (b) os ganhos de eficiência energética não constituem incentivo significativo ao consumo de mais energia, uma vez que o peso deste fator de produção no total da renda destes países é pequeno.

---

final (evidentemente, isto não é uma prova). Mais especificamente, estas evidências são compatíveis com a hipótese de que as inovações tecnológicas nos processos de transformação não têm apresentado grande evolução nos ganhos de eficiência nas últimas décadas, o que fortalece a possibilidade de que os indicadores de intensidade energética possam apresentar-se em queda, enquanto simultaneamente aumenta a demanda por energia (novamente, conforme a argumentação desenvolvida no capítulo anterior).

Mas o que deveríamos entender por incentivo significativo? Tomemos a seguinte situação:

$d\eta/dt = K_t$  (variação no ganho de eficiência decorrente da inserção de novas tecnologias ou padrões de uso no ano  $t$ )

$d\lambda'/dt = Y'_t$  (variação na taxa de crescimento no consumo, quando da ausência da política de efficientização)

$d\eta/dt \geq d\lambda'/dt$  (ou seja,  $K_t \geq Y'_t$ )

Denominemos esta situação por situação (A). Por (9), nesta situação, teríamos  $dE_t/dt < 0$ , e a política de efficientização teria levado a uma redução no consumo, caso houvesse sido implementada. Ou seja, supondo que ganhos de eficiência energética não implicam em nenhum incentivo ao maior consumo de energia, conclui-se pela adoção da política de efficientização, uma vez que esta implica numa variação negativa no consumo de energia ( $dE_t/dt < 0$ ). Sob tais circunstâncias a política de efficientização atua no sentido de diminuir as emissões de carbono.

Analisando agora situação (B):

$d\eta/dt = K_t$

$d\lambda/dt = Y_t$  (variação na taxa de crescimento no consumo, quando da aplicação da política de efficientização)

$d\eta/dt \geq d\lambda/dt$  (ou seja,  $K_t \geq Y_t$ )

$Y_t \geq Y'_t$

Nesta situação, também teremos  $dE_t/dt < 0$ , portanto, redução no consumo de energia. Esta situação corresponde ao ponto de vista dos defensores das políticas de efficientização: embora exista estímulo a maior consumo, este não é suficiente para reverter os benefícios das políticas de efficientização. Ou seja, não basta que os ganhos de eficiência energética incentivem o consumo de mais energia, é necessário que este incentivo seja a tal ponto ‘significativo’ que tenhamos a situação (C):

$$d\eta/dt = K_t$$

$$d\lambda/dt = Y_t$$

$$d\eta/dt < d\lambda/dt \quad (\text{ou seja, } K_t < Y_t)$$

Na situação (C), o incentivo ao consumo de mais energia foi forte o suficiente para obtermos  $K_t < Y_t$ . Nestas condições, o incentivo ao consumo de mais energia é forte o suficiente para que rejeitemos as políticas de efficientização como instrumento para reduzir as emissões de carbono, pois as políticas de efficientização não levam a  $dE_t/dt < 0$ . Pelo contrário, temos,  $dE_t/dt > 0$ . Um processo no qual transita-se das situações (A) e (B) para a situação (C) corresponde à descrita pelo efeito Jevons. Para que as políticas de efficientização possam ser vistas como válidas, é necessário que tenhamos evidências que nos permitam acreditar que não há trânsito *sistemático* das situações (A) e (B) para a situação (C). No caso de tal trânsito ser sistemático, haveria evidências positivas apoiando a assertiva de que os ganhos de eficiência energética constituem incentivo significativo ao consumo de mais energia, tornando a adoção das políticas de efficientização contraproducentes, com relação ao objetivo de diminuir as emissões de carbono. Observe-se no entanto que  $K_t < Y_t$  em determinado ano não significa necessariamente a validade do efeito Jevons: é necessário que as evidências apoiem a tese de que há um trânsito sistemático das situações (A) e (B) para a situação (C). De fato, assumindo que a função de produção eficiência energética e a função de produção crescimento no consumo de energia sejam independentes, os eventos  $K_t < Y_t$  e  $K_t \geq Y_t$  são equiprováveis. Apenas se

observamos uma tendência sistemática em torno de  $K_t < Y_t$  temos razões fortes para apoiar a validade do postulado Khazzoom-Brookes e rejeitar a adoção das políticas de efficientização.

A política de efficientização somente não altera o consumo de modo a termos  $dE_t/dt < 0$  se tivermos  $d\eta/dt < d\lambda/dt$ . Conforme foi argumentado, as condições históricas atuais, no contexto dos países desenvolvidos, apóiam a existência de viés de aceleração em  $d\eta/dt$  e viés de desaceleração em  $d\lambda/dt$ . Somente a hipótese de que o efeito Jevons seja relevante atua no sentido de reverter estes vieses.

Esta ponderação permite-nos colocar o problema da seguinte forma: (a) os ganhos de eficiência energética, no contexto dos países desenvolvidos, não interagem com as taxas de crescimento no consumo de energia de modo suficientemente significativo, portanto, ganhos de eficiência energética e taxas de crescimento no consumo de energia podem ser vistos como independentes (ou seja, a implementação da política de efficientização energética não leva o sistema a transitar das situações (A) e (B) para a situação (C)); (b) existe forte retroalimentação positiva entre ganhos de eficiência energética e taxas de crescimento no consumo de energia, de modo que tendemos a ter reiteradamente  $d\eta/dt < d\lambda/dt$  e, portanto,  $dE_t/dt > 0$ , em caso de implementação das políticas de efficientização.

O processo de efficientização, representado pelo fator  $(1-\eta(t))^t$  na equação (1), somente não leva a  $dE_t/dt < 0$  se tivermos  $d\eta/dt \geq d\lambda/dt$ , o que somente ocorre de modo sistemático se o efeito Jevons mostrar-se relevante. Nestas circunstâncias teríamos evidências positivas para afirmar que ganhos de eficiência energética e crescimento no consumo *não* são independentes. Por outro lado, afirmar que  $\eta(t)$  e  $\lambda(t)$  são independentes é afirmar que a distribuição dos valores de  $d\eta/dt < d\lambda/dt$  é tal que a probabilidade de obter  $d\eta/dt < d\lambda/dt$  é de 50% (as possibilidades possíveis são  $d\eta/dt < d\lambda/dt$  e  $d\eta/dt \geq d\lambda/dt$ , que são equiprováveis, supondo a independência das funções de produção eficiência energética e crescimento no consumo). Exceto pelo efeito Jevons, todas as demais condições atuam no sentido de aumentar a probabilidade de que tenhamos  $d\eta/dt < d\lambda/dt$ . Ou seja, as condições do problema são tais que os efeitos dos ganhos de eficiência energética podem ser estudados caso o problema seja expresso em termos das seguintes hipóteses:

H0: os ganhos de eficiência energética não aceleram o crescimento no consumo de energia, de modo que a distribuição dos valores de  $d\eta/dt$  e  $d\lambda/dt$  é tal que a probabilidade de obter  $d\eta/dt < d\lambda/dt$  é de 50%, e a probabilidade de obter  $d\eta/dt \geq d\lambda/dt$  é também de 50% (há dois eventos possíveis e estes são equiprováveis)

H1: os ganhos de eficiência energética constituem incentivo significativo ao consumo de mais energia, de tal modo que quando ocorre um ganho de eficiência energética é mais provável que tenhamos  $d\eta/dt < d\lambda/dt$

Para que se concretize H1 não é suficiente que o consumo de energia seja maior que na ausência do ganho de eficiência, mas que este seja maior a ponto de termos sistematicamente  $d\eta/dt < d\lambda/dt$ , ou seja, é necessário que o sistema caminhe reiteradamente das situações (A) e (B) para a situação (C).

Se tomarmos uma série de dados suficientemente longa, tal que o intervalo de tempo entre duas observações consecutivas seja satisfatoriamente pequeno, em relação ao tempo total transcorrido, poderemos aproximar o tempo transcorrido entre duas observações como medidas de tempo infinitesimais. Para isto podemos tomar, por exemplo, uma série em que tenhamos  $\Delta t < 0,05 * t$  (sendo  $\Delta t$  o intervalo entre duas observações sucessivas e  $t$  o período total de análise). Se tais considerações podem ser feitas, as variações percentuais de consumo de energia entre dois anos consecutivos correspondem a  $dEt/dt$  (é certo, pelo menos, que tais aproximações permitem-nos ao menos detectar o sinal de  $dEt/dt$ , o que é suficiente para os propósitos aqui buscados) e, por sua vez, a  $d\eta/dt < d\lambda/dt$ , pela equação (9).

Temos então um conjunto de observações que podem ser modeladas como uma distribuição binomial em que a probabilidade de sucesso em cada tentativa é de 50%. Se  $\eta(t)$  e  $\lambda(t)$  são independentes, o que equivale a afirmar que ganhos de eficiência energética não estimulam um crescimento ainda maior no uso da energia, qual a chance de não termos  $x$  observações em que  $dEt/dt > 0$  (ou seja,  $d\eta/dt < d\lambda/dt$ )? Se  $\eta(t)$  e  $\lambda(t)$  são independentes, a probabilidade de que  $d\eta/dt < d\lambda/dt$  ocorra, em cada nova observação, é de 50%. Portanto,  $d\eta/dt < d\lambda/dt$ , que corresponde a  $dEt/dt > 0$ , possui distribuição binomial em que a probabilidade de sucesso em cada nova observação é de 50%. Diante de  $x$  observações

efetuadas, qual a probabilidade de estarmos equivocados ao rejeitarmos a hipótese  $H_0$  de que  $\eta(t)$  e  $\lambda(t)$  são independentes? Esta é a probabilidade de não obtermos  $x$  observações em que  $dEt/dt > 0$ , após  $n$  observações ( $x < n$ ). Em outros termos:

- 1) quando observamos  $dEt/dt > 0$  estamos observando  $d\eta/dt < d\lambda/dt$ ;
- 2) a probabilidade de observar  $d\eta/dt < d\lambda/dt$  é de 50%, uma vez que os resultados possíveis são dois e equiprováveis ( $d\eta/dt < d\lambda/dt$  ou  $d\eta/dt \geq d\lambda/dt$ ), sendo constante em cada nova observação. Ou seja,  $d\eta/dt < d\lambda/dt$  (isto é,  $dEt/dt > 0$ ) segue uma distribuição binomial;
- 3) a probabilidade de que a hipótese de que ganhos de eficiência energética não aceleram a taxa de crescimento no consumo de energia (ou seja, de que  $\eta(t)$  e  $\lambda(t)$  são independentes) corresponde à hipótese  $H_0$  de que não observemos  $x$  sucessos ( $d\eta/dt < d\lambda/dt$ , isto é,  $dEt/dt > 0$ ) em  $n$  observações. Se esta probabilidade é pequena (por exemplo, menor que 5%), a chance de estarmos errados ao rejeitarmos  $H_0$  e, portanto, a hipótese de que ganhos de eficiência energética não aceleram a taxa de crescimento no consumo de energia é também pequena;

Podemos realizar este teste para cada um dos países estudados por Schipper e Grubb (2000). São eles: Alemanha (Ocidental)<sup>71</sup>, Austrália, Canadá, Dinamarca, Estados Unidos, Finlândia, França, Holanda, Itália, Japão, Noruega, Nova Zelândia, Reino Unido, Suécia. Inicialmente, tome-se o exemplo da Austrália. Há 26 ocorrências em que  $dEt/dt > 0$  ( $d\eta/dt < d\lambda/dt$ )<sup>72</sup>. A hipótese  $H_0$  de que ganhos de eficiência energética *não* conduzem a aumentos no consumo de energia corresponde à hipótese de que não tenhamos, após 30 observações, 26 ocorrências nas quais  $d\eta/dt < d\lambda/dt$ . Ou seja, a probabilidade de rejeitar  $H_0$  sendo esta verdadeira é:

$$\text{Erro tipo I } (\alpha = P(H_1 \mid H_0) = 1 - P(X \leq 25) = 1 - 0,99997 = 0,00003 = 0,003\%$$

Adotando como regra rejeitar  $H_0$  sempre que tivermos erro tipo I menor que 5%, somos levados a concluir que ganhos de eficiência energética estimulam o consumo de

---

<sup>71</sup> Schipper e Grubb (2000) apresentam dados referentes à ex-Alemanha Ocidental. Nas bases atuais da OCDE não existe mais tal distinção. A diferença entre as economias das Alemanhas Ocidental e Oriental é provavelmente suficientemente grande para que isto não implique em grandes distorções para os objetivos deste trabalho.

ainda mais energia, para o caso da Austrália. Adotando o mesmo procedimento para os demais países, podemos compor uma tabela mostrando os respectivos erros tipo I e as conclusões delineadas. As ocorrências na Tabela 6.1 referem-se ao consumo de energia final:

País	Ocorrências	Erro tipo I	Conclusão
Austrália	26	0,003%	Rejeitar H0
Nova Zelândia	26	0,003%	
Canadá	22	0,806%	
Japão	22	0,806%	
Itália	20	4,937%	
Estados Unidos	19	10,024%	Aceitar H0
Finlândia	19	10,024%	
França	19	10,024%	
Noruega	19	10,024%	
Dinamarca	17	29,233%	
Reino Unido	17	29,233%	
Holanda	17	29,233%	
Alemanha	14	70,767%	
Suécia	14	70,767%	

**Tabela 6.1 – Ocorrências Considerando Consumo de Energia Final**

[fonte: as informações relativas ao uso de energia final anual no período 1972-2002 foram obtidas da base de dados da OCDE]

As informações relativas ao consumo de energia final anual para o período de 1972-2002 foram extraídas da base de dados da OCDE. A análise mostra que pelo menos para Austrália, Canadá, Itália, Japão e Nova Zelândia (com nível de significância de 5%), temos evidências que tornam plausível rejeitar a hipótese de que ganhos de eficiência energética não incentivam um consumo ainda maior de energia. A análise foi efetuada para o período 1972-2002 (30 anos). A análise de Schipper e Grubb (2000) foi feita para o período 1972-1994.

Se efetuarmos este mesmo teste, agora medindo a energia primária consumida:

País	Ocorrências	Erro tipo I	Conclusão
------	-------------	-------------	-----------

<sup>72</sup> As tabelas com o consumo de energia final e primária dos países estudados e as variações anuais estão nos Apêndices 2 e 3, respectivamente.

Austrália	27	0,000% <sup>73</sup>	Rejeitar H0
Japão	24	0,072%	
Nova Zelândia	24	0,072%	
Canadá	23	0,261%	
Estados Unidos	22	0,806%	
Noruega	22	0,806%	
Holanda	20	4,937%	
Itália	20	4,937%	
Finlândia	20	4,937%	
França	19	10,024%	Aceitar H0
Suécia	17	29,233%	
Reino Unido	16	42,777%	
Alemanha	14	70,767%	
Dinamarca	14	70,767%	

**Tabela 6.2 - Ocorrências Considerando Consumo de Energia Primária**

[fonte: as informações relativas ao uso de energia primária anual no período 1972-2002 foram obtidas da base de dados da OCDE]

Assim, pelo critério de energia primária, somos levados a aceitar a hipótese de que ganhos de eficiência energética aceleram o crescimento no consumo de energia para Austrália, Canadá, Estados Unidos, Finlândia, Holanda, Itália, Japão, Noruega e Nova Zelândia. Portanto, a hipótese é rejeitada não apenas para os países já mencionados quando do critério de energia final, mas também por outros, o que indica que a aceleração no consumo tende a impactar mais a demanda pelos recursos naturais do propriamente a demanda pelos serviços energéticos. Considerando os critérios de energia final e primária, apenas Alemanha, Dinamarca, Reino Unido, Suécia e França apóiam suficientemente a hipótese de que ganhos de eficiência energética não aceleram as taxas de crescimento no consumo de energia.

## 6.1 DISCUSSÃO A PARTIR DOS RESULTADOS OBTIDOS

Que perspectivas podem ser delineadas a partir dos resultados obtidos? Na verdade, a aceitação da validade da análise empírica efetuada<sup>74</sup> leva-nos não simplesmente a dar

<sup>73</sup> O erro tipo I para a Austrália é de  $4,2 \cdot 10^{-6}$ .

maior peso à probabilidade de que ganhos de eficiência energética levem a maior consumo de energia, mesmo em se tratando de “setores maduros de economias maduras” (SCHIPPER e GRUBB, 2000, p. 368), mas a repensar a forma como as análises ortodoxas, pró ou contra as políticas de eficiência energética, têm interpretado as questões relativas à alocação dos recursos energéticos.

Os resultados não comprovam a validade do efeito Jevons, nos termos em que este é colocado por Brookes (2000), mas também deixam claro que, embora existam fortes evidências de que há uma mudança estrutural no que concerne à alocação dos recursos energéticos, é precipitado considerar que a dinâmica desta mudança justifica a adoção das políticas de eficiência energética como instrumento funcionalmente adequado para tratar o problema das emissões antropogênicas de carbono, ainda que estas soluções sejam restritas ao grupo dos chamados países desenvolvidos e que suponhamos que a hipótese de sistema fechado seja satisfatória, como o fazem Schipper e Grubb (2000)<sup>75</sup>.

Para Brookes (2000), os ganhos de eficiência energética necessariamente levam a um aumento no consumo de energia. Esta posição não está corroborada para Alemanha, Dinamarca, Reino Unido, Suécia e França (considerando consumos de energia final e primária). Especialmente no caso de Alemanha e Dinamarca, há fortes razões para duvidar validade do postulado Khazzoom-Brookes, nos termos em que este é tradicionalmente colocado. Porém, o fato de que países como Estados Unidos e Japão, em que houve forte

---

<sup>74</sup> A aceitação de uma teoria que procura explicar o que ocorre no mundo empírico depende não somente da sua consistência interna, mas também da plausibilidade das hipóteses adotadas, em relação a este mundo empírico. Isto não significa que a teoria deva ser um espelho da realidade (algo impossível), mas que as hipóteses utilizadas devem ser suficientemente robustas para lidar com a variabilidade de situações e condições inevitavelmente encontradas na concretude dos casos particulares. No que diz respeito à análise aqui desenvolvida, isto se refere especificamente à possibilidade de que exista um viés nas variações da eficiência energética e consumo de energia capaz de explicar as tendências observadas e ainda assim compatível com o paradigma da eficiência energética, o que não parece ser o caso.

<sup>75</sup> Apesar das restrições apresentadas por Schipper e Grubb (2000), não estendendo suas conclusões aos países em desenvolvimento, na prática as políticas de eficiência energética não têm sido adotadas unicamente nos países desenvolvidos. Isto não chega a ser surpreendente, uma vez que tais países funcionam como centros em torno do qual orbita a maior parte do mundo. Fornecem não apenas modelos do que constitui uma solução, mas também do que pode legitimamente ser entendido como problema. Além disso, há evidentemente a disputa por rendas no interior do Estado, que deve necessariamente condicionar as opções adotadas. A adoção de políticas públicas, longe de seguir um critério meramente instrumental (isto é, ser pensada como um conjunto de meios em relação os quais há fortes evidências de que se constituem em instrumento adequado para realizar determinados fins explicitados) são claramente norteadas por critérios outros, de ordem política ou

afastamento da indústria energo-intensiva (SCHIPPER e GRUBB, 2000)<sup>76</sup>, tenham apresentado resultados bastante consistentes no sentido de corroborar a validade do efeito Jevons evidencia que o argumento de que as mudanças estruturais em curso tornam as políticas de efficientização justificáveis para países de alta renda é no mínimo precipitado. Além disso, os resultados parecem mostrar a inadequação do termo ‘postulado’<sup>77</sup>, quando se busca estudar o efeito Jevons no nível de estado-nação, como também sugerem que aquilo que Williams et al. (1987) chamaram de ‘mudança revolucionária’ (1987, p. 106), e que foi depois utilizado por Grubb (1990) para defender as políticas de efficientização, é bem mais complexo do que pressupõem a maioria dos conservacionistas: o mero afastamento de indústrias energo-intensivas não tendo suficiente para diminuir a relevância do efeito Jevons, como exemplificam muito bem Japão e Estados Unidos.

Note-se ainda que países em que houve aumento na participação relativa da indústria energo-intensiva, como é o caso da Suécia, não corroboraram a validade do efeito Jevons. Ademais, os dados para a Noruega, que no período de análise transitou para um modelo de desenvolvimento mais energo-intensivo (SCHIPPER e GRUBB, 2000, p. 376) corroboram menos o efeito Jevons que os dados do Japão, o que é estranho. Na tentativa de explicar este resultado, pode-se inicialmente estudar as seguintes questões: (1) existe a possibilidade de que os aspectos relativos à qualidade de energia e suas implicações sobre o modo como são construídos os balanços energéticos nacionais tenham tido influência nestes resultados. Por exemplo, sabe-se que a Noruega possui alta disponibilidade de energia hidroelétrica, enquanto o Japão não dispõe desta opção, sendo portanto muito mais

---

mesmo ideológica. Isto não precisa ser tomado como algo necessariamente negativo, mas é imprescindível reconhecer que se trata de um fator de causalidade importante para compreender a realidade.

<sup>76</sup> Schipper e Grubb (2000, p. 377): “No Japão, Alemanha, e nos Estados Unidos a mudança em afastamento da indústria pesada respondeu por cerca de ¼ dos grandes declínios nestes três países, o que traduz somente cerca de 20 % do declínio global nas intensidades energéticas aqui reportadas. Em outros países estudados, este efeito foi insignificante exceto onde a produção tornou-se mais energo-intensiva, conforme notado [em trecho anterior do artigo]”. Esta citação mostra que os autores consideravam Alemanha, Japão e Estados Unidos como os países em que o afastamento da indústria energo-intensiva foi mais relevante.

<sup>77</sup> A expressão *postulado* sugere a idéia de universalidade, o que não está corroborado pelas evidências. O termo ‘efeito’ é mais adequado: considerando-se as relações que orientam o uso da energia na sociedade ocidental, ganhos de eficiência energética *em geral* levam a um consumo maior que aquele que existiria na ausência de tais ganhos.

dependente da queima de combustíveis fósseis<sup>78</sup>. Até que ponto a equivalência *suposta* entre estas formas de energia, necessária para a construção dos balanços energéticos e levadas a cabo por meio de fatores de conversão, produz distorções relevantes para as comparações aqui efetuadas?<sup>79</sup> Outro tipo de distorção que pode haver quanto aos dados utilizados diz respeito ao nível de representatividade destes dados em relação à realidade empírica (considerando-se que com frequência as estatísticas são obrigadas a fazerem uso de médias, as quais nem sempre são representativas); (2) pode ser equivocado centrar as conclusões sobre consumo de energia em torno de alguns poucos setores, considerados ‘*energo-intensivos*’. A este respeito, é interessante notar que Wickoff e Roop (1994), em problema análogo a este, concluíram que os setores intensivos em carbono respondiam por apenas metade das emissões de carbono embutidas nas importações<sup>80</sup>.

Deve ficar claro que as colocações do parágrafo anterior não pretendem desqualificar procedimentos usuais e historicamente consagrados, mas avaliar as implicações das limitações destes procedimentos (mesmo porque, critérios e definições operacionais muito bem sucedidos em determinado campo de aplicação podem mostrar-se insatisfatórios em outros, que surgem como consequência do próprio desenvolvimento histórico). Dentro do âmbito de questões a que nos remetem o ponto (2), destaca-se a necessidade de complementar a análise dos usos finais da energia por estudos que permitam avaliar os usos indiretos da energia (uma vez que setores diretamente pouco intensivos em energia podem mostrar-se indiretamente altamente demandantes de energia), construindo o

---

<sup>78</sup> Embora a Noruega seja um dos maiores produtores de petróleo do mundo. O fato é que a margem de manobra da Noruega, em se tratando de opções energéticas, é muito maior que a do Japão. Tais condicionantes devem ser observados ao se tentar interpretar as opções econômicas e tecnológicas feitas pelos países e atores sociais, o que inevitavelmente leva-nos a levar em consideração vários outros aspectos que extrapolam a questão da ‘*eficiência*’, dentre os quais a qualidade da energia.

<sup>79</sup> *Supor* aqui significa adotar critérios de ordem operacional que simplificam o problema, permitindo a solução de determinadas questões particulares (como por exemplo a confecção do balanço energético nacional, o qual permite formar uma avaliação, se não completa certamente fundamental, da disponibilidade e utilização dos recursos energéticos), mas deixando outras de fora. Tal postura nada tem de arbitrária, desde que se reconheça o caráter convencional e prático que as orienta: nada impede que posteriormente as questões deixadas de fora sejam estudadas.

<sup>80</sup> Em sua análise, Wickoff e Roop (1987) estavam interessados na relevância dos setores não altamente intensivos em carbono para o total de emissões. Na análise aqui desenvolvida, questiona-se sobre a relevância dos setores não altamente intensivos em energia para o consumo total. É neste sentido em que os problemas são análogos.

que Gardner e Robinson (1993, p. 6) chamaram de uma “visão mais ampla e abrangente do uso da energia”.

Os dados apontam também que a heterogeneidade com relação ao uso da energia é provavelmente maior do que a suposta pelos conservacionistas, em especial Schipper e Grubb (2000). Deve ser encarado como significativo não apenas que alguns países corroborem o efeito Jevons, mas que alguns deles corroborem enquanto simultaneamente outros não o façam. Esta é uma evidência em favor da relevância da especialização econômica, não abordada de modo sistemático nas análises ortodoxas sobre o efeito bumerangue. Mostra ainda que classificações mais imediatas, como países desenvolvidos *versus* países em desenvolvimento, claramente são insuficientes para estabelecer comparações consistentes quanto às tendências observadas. Além disso, se a questão da especialização é relevante, e tudo indica que o seja, a abordagem de um problema ambiental global segundo orientações nas quais o macroeconômico é entendido como estado-nação tende a ser infrutífera, ou mesmo redundar em resultados contraditórios com os colocados como metas. Wickoff e Roop (1994, p. 192, nota 14), referindo-se aos mecanismos que têm sido adotados para reduzir as emissões globais de CO<sub>2</sub>, levantam a possibilidade de que se estabeleça um jogo em que benefícios estritamente econômicos convivem com a piora das condições ambientais:

Há a possibilidade de criar uma situação ganha-ganha-perde para países participantes, países não participantes, e aquecimento global respectivamente. Os participantes ganham porque parecem ter reduzido suas emissões de carbono; os não-participantes (muitos dos quais provavelmente países em desenvolvimento) ganham porque recebem o benefício de um estímulo ao crescimento econômico enquanto indústrias intensivas em carbono realocam ou buscam a produção lá; mas o resultado provável seria na melhor das hipóteses pouco reduzir as emissões e na pior aumentar ainda mais as emissões globais. Um aumento poderia ocorrer porque o mundo desenvolvido, com falta de uma base de recursos, tem um forte incentivo econômico para produzir aqueles produtos intermediários em intensidade de carbono com processos altamente eficientes. O mundo em desenvolvimento, tendo dotações maiores de recursos, teria fortes incentivos econômicos para organizar a produção usando métodos menos eficientes, resultando em mais emissões de CO<sub>2</sub> por unidade de produto. Isto poderia ser

exacerbado se um imposto de carbono levasse a uma queda no preço dos combustíveis fósseis, levando a aumentar seu uso nos países não-participantes.

Há razões para supor que a dinâmica deste jogo é ainda mais complicada que a esquematizada por Wickoff e Roop (1994), uma vez que parte dos países com “dotações maiores de recursos” (WICKOFF e ROOP 1994, p. 192) são países desenvolvidos. De qualquer forma, a possibilidade de que as políticas públicas desenvolvidas redundem num jogo como o proposto por Wickoff e Roop (1994) é bastante alta. Na realidade, considerando-se a lógica das ações econômicas, a menos que instrumentos explicitamente desenvolvidos com o intuito de evitá-lo sejam construídos, que razões haveria para que este jogo não se desenvolvesse?

Num momento em que aumentam as restrições ao uso dos recursos naturais, as perguntas mais relevantes, do ponto de vista político e econômico, são: como os agentes econômicos e sociais provavelmente desenvolverão instrumentos para, mediante as restrições existentes, sustentar seu modo de vida? Que consequências estão associadas a este processo de desenvolvimento, em seus âmbitos econômico, político, social e ambiental? Somente as respostas a estas perguntas permitem uma apreciação crítica da alocação dos recursos energéticos, bem como a construção de prognósticos confiáveis. Não existe nenhuma razão para supor ou exigir que os agentes econômicos e sociais modifiquem seu padrão comportamental sem tentar preservar ao máximo os princípios que têm até hoje orientado suas ações. A possibilidade delineada por Wickoff e Roop (1994) é portanto não uma vaga especulação, mas o quadro mais provável, considerando-se o padrão decisório vigente. Políticas que não sejam construídas segundo uma orientação compreensiva deste processo de desenvolvimento podem, na melhor das hipóteses, mostrarem-se ineficazes, e em casos mais graves exacerbarem os problemas já existentes.

Tradicionalmente, a relação entre ganhos de produtividade no uso do recurso energia e consequências associadas a tais ganhos tem estado bastante centrada na discussão entre ganhos de eficiência energética e crescimento econômico (SCHURR, 1985; SAUNDERS 1992; SCHIPPER e GRUBB, 2000). Dada a relevância do crescimento econômico numa sociedade capitalista, estudar a relação entre o uso dos recursos (capital, trabalho e recursos naturais) e crescimento econômico será sempre uma das questões mais

relevantes para explicar as trajetórias de desenvolvimento observadas. Podemos inclusive usar a relação entre ganhos de eficiência energética e crescimento econômico para fazer inferências quanto à relação entre ganhos de eficiência energética e consumo de energia, o que consiste na realidade numa forma indireta de estudar a alocação dos recursos energéticos. No entanto, a confiabilidade deste procedimento depende bastante do quanto conhecemos da relação entre crescimento econômico e consumo de energia. Daí que seja bastante razoável, especialmente num momento em que mudanças estruturais profundas na alocação dos recursos em geral, e da energia em particular, têm ocorrido, complementar as inferências que fazem uso destes mecanismos de observação indireta por outros que se utilizem de instrumentos de observação direta. Esta complementaridade permite que avaliemos melhor se as pressuposições de que fazemos uso para estudar a relação entre desenvolvimento da estrutura sócio-econômica e alocação dos recursos energéticos representam satisfatoriamente a realidade histórica atual.

A análise desenvolvida nesta dissertação, fazendo uso do conceito de função de produção para relacionar ganhos de eficiência energética e consumo de energia, enquanto os procedimentos mais ortodoxos estão mais ligados à análise do crescimento econômico, é uma defesa dos procedimentos de observação direta, não vistos aqui como substitutos dos instrumentos de observação indireta, mas como complementares. Além disso, parte da razão para a abordagem que foi buscada na análise empírica efetuada reside no fato de que consumo de energia e crescimento econômico, embora interdependentes, não caminham *pari passu*.

Em suma, embora a relação entre ganhos de produtividade no fator energia e crescimento econômico seja importante, não é suficiente para qualificar ou quantificar as questões referentes ao uso da energia (mesmo porque, o valor econômico é determinado também por uma série de fatores que são exógenos às questões energéticas)<sup>81</sup>. Ao estudar problemas em que os fatores de causalidade relacionam desenvolvimento tecnológico e

---

<sup>81</sup> A metodologia de entrada-saída, ao defender a observação de como os recursos energéticos estão efetivamente sendo alocados, especialmente quando enfatiza o estudo dos conteúdos energéticos indiretos (isto é, energia embutida na forma de capital), é também uma defesa do que foi chamado neste trabalho de mecanismo de observação direta, em que pese a confusão que possa advir do uso da terminologia adotada (ênfatar os usos indiretos da energia é aqui dar peso aos mecanismos de observação direta).

consequências associadas ao uso da energia restringindo excessivamente estas questões a discussões sobre a contribuição do fator energia para o crescimento econômico, em abordagens que frequentemente não enfatizam que toda medição é em parte consequência das relações pressupostas (devendo portanto ser interpretada tanto em termos quantitativos quanto qualitativos), podemos estar deixando de fora inúmeros elementos da realidade fundamentais para a direção dos processos em curso.

Estabelecer medições confiáveis em processos complexos frequentemente é difícil ou mesmo impossível. No entanto, podemos adotar o procedimento alternativo de estudar a plausibilidade de determinadas assertivas feitas, à luz das evidências existentes. Foi este o procedimento utilizado na análise empírica efetuada. Para isto, é necessário que as ‘frases’ sejam estudadas considerando-se aquilo que realmente afirmam: o efeito Jevons não propõem que ganhos de eficiência energética estimulam o crescimento econômico, embora isto seja um componente importante na determinação do consumo de energia, mas que ganhos de eficiência energética economicamente justificáveis ocorridos no plano microeconômico levam a maior consumo de energia no plano macroeconômico. Buscou-se portanto estudar esta assertiva pela avaliação direta da sua plausibilidade. Os resultados apóiam a tese de que, em geral, ganhos de eficiência energética estimulam o consumo de ainda mais energia. Observe-se que a análise não estudou os usos indiretos da energia, não se sabe portanto em que grau países como Alemanha e Dinamarca têm dependido da importação de energia embutida em produtos e materiais.

## 7 CONCLUSÃO

Num ambiente em que aumentem as restrições ao uso da energia, é razoável esperar que os agentes definirão mecanismos para otimizar o uso destes recursos. No entanto, isto não permite afirmar que o resultado global deste processo será uma redução no consumo de energia. Se as atividades sociais e econômicas continuam se realizando, o resultado global dependerá bastante do quão importante é o recurso energia para a consecução destas atividades. Para avaliar se após ganhos de eficiência energética a tendência final será de maior ou menor consumo de energia, devemos analisar não simplesmente o preço relativo da energia em relação a outros fatores de produção, mas o custo de oportunidade de *não* utilizar a energia excedente disponibilizada pelos ganhos de eficiência. Este pode ser altíssimo mesmo num ambiente de altas restrições ao consumo de energia, uma vez que as alternativas existentes podem não ser consideradas satisfatórias (por uma série de razões, que vão desde insuficiências estritamente tecnológicas até implicações sobre o modo de vida existente).

Quando se defende que mudanças estruturais em curso têm tornado as políticas de efficientização justificáveis (como instrumento para reduzir as emissões de carbono) para países de alta renda, na prática, defende-se que os custos de oportunidade de não realocar ganhos de eficiência energética para novos consumos de energia são suficientemente pequenos no contexto destes países. Em tal contexto, políticas públicas incentivando a substituição de energia por capital e trabalho seria uma forma de reduzir o consumo global de energia e, portanto, as emissões de CO<sub>2</sub>.

Na verdade, os resultados indicam que tomar a possibilidade de substituir energia por capital e trabalho como ‘economia de energia’ é bastante precipitado<sup>82</sup>. Embora o aumento dos custos energéticos estimule substituições nesta direção, isto não significa que

---

<sup>82</sup> As políticas de efficientização defendem que se faça a substituição dos recursos naturais sobre os quais recaem as restrições de uso e acesso (energia) por recursos de natureza social (trabalho) e econômica (capital). A possibilidade de que esta substituição seja bem sucedida depende da existência de condições físicas e sócio-econômicas adequadas. Esta é uma das razões pelas quais a ‘mudança estrutural’ em Schipper e Grubb (2000) é importante: esta estabelece, segundo os autores, condições sócio-econômicas para uma bem sucedida substituição de energia por capital e trabalho. É também por esta razão que Schipper e Grubb (2000) restringem suas conclusões aos países que supostamente teriam efetuado tal mudança, os chamados países desenvolvidos.

o resultado final deste processo seja uma redução no consumo global de energia. Mesmo para países em que a energia é um componente minoritário da renda, os custos de oportunidade de não utilizar os ganhos de eficiência energética para aumentar o consumo de energia têm sido, a julgar pelos resultados, ainda altos. Estes altos custos de oportunidade sugerem que as políticas de eficientização não são um instrumento adequado para diminuir as emissões de CO<sub>2</sub>.

Se ganhos de eficiência não têm sido realocados para aumentar o consumo de energia, como explicar as tendências observadas, por exemplo, para Austrália e Japão? Num período em que estes países apresentaram crescimento populacional que certamente não pode ser considerado explosivo, e no qual os prognósticos quanto à disponibilidade dos recursos energéticos estão longe de desenhar um quadro róseo, foram observadas variações no consumo cuja explicação, se não se fizer menção ao efeito Jevons, torna-se um autêntico mistério. Uma explicação convincente é ainda mais difícil para o Japão, em que houve forte afastamento das indústrias energo-intensivas. Em suma, a renda alta (Austrália), mesmo quando associada a uma estrutura produtiva não energo-intensiva (Japão) não se mostrou suficiente para rejeitar a possibilidade de efeito Jevons.

Outro ponto significativo é o fato de que os resultados obtidos corroboram a existência de grande heterogeneidade quanto ao uso da energia, mesmo restringindo à discussão aos termos em que a colocam Schipper e Grubb (2000)<sup>83</sup>. Isto indica que a complexidade do processo de alocação dos recursos energéticos é bem maior que a pressuposta pelos conservacionistas e mesmo pelos produtivistas. É pouco provável que políticas energéticas em que os aspectos qualitativos da energia (considerando-se as implicações econômicas e termodinâmicas destes aspectos) não sejam considerados centrais possam explicar tais heterogeneidades.

É também expressivo que apesar dos incentivos econômicos e mesmo políticos para aumentar a eficiência no uso dos recursos energéticos, isto não tenha levado a uma trajetória de consumo consistente com a tese de que ganhos de eficiência energética obtidos em nível microeconômico tendem a reduzir o consumo de energia, mesmo para países em

---

<sup>83</sup> Ressalte-se novamente, em Schipper e Grubb (2000), os usos indiretos da energia não são sequer mencionados como questão relevante.

que houve um acentuado descolamento entre o valor econômico da produção e o conteúdo material da mesma.

Todos estes condicionantes históricos e metodológicos, aliados à análise empírica efetuada, são altamente consistentes com as conclusões do efeito Jevons, segundo o qual ganhos de eficiência energética levam a um consumo maior que aquele que ocorreria caso não houvesse tais ganhos (medido no plano macroeconômico), embora não apóiem a adequação do uso do termo ‘postulado’, que induz à percepção de que há uma relação de necessidade entre ganhos de eficiência energética e maior consumo de energia, o que as evidências não permitem concluir (como atestam os casos da Dinamarca e Alemanha). Ressalte-se novamente que a relevância do conteúdo energético embutido nas importações de materiais não foi avaliada.

Pelo uso de indicadores Laspeyres, Schipper e Grubb (2000), fornecem elementos que apóiam conclusão oposta. No entanto, suas conclusões são seriamente comprometidas pelo fato de que não estudam a relação entre ganhos de eficiência energética e consumo de energia no plano macroeconômico. No plano macroeconômico, basicamente estudam a relação entre ganhos de eficiência energética e atividade econômica. Portanto, obtêm suas conclusões sobre a relação entre eficiência energética e uso da energia de modo indireto (a partir da relação entre ganhos de eficiência energética e crescimento econômico).

Em parte influenciada pela percepção de que o descolamento entre valor econômico e conteúdo material diminui a confiabilidade de indicadores orientados unicamente pela relação entre eficiência energética e crescimento econômico, a análise empírica efetuada buscou fazer inferências diretas sobre a relação entre eficiência energética e uso da energia, pelo estudo de algumas assertivas fundamentais no debate sobre o efeito bumerangue, à luz de evidências disponíveis.

Tais comentários não devem ser entendidos como uma conclusão de que o uso de indicadores relacionando crescimento econômico e consumo de energia devem ser descartados, mas apenas como um reconhecimento de que os resultados obtidos por tais indicadores são insuficientes para justificar a adoção das políticas de efficientização. Em outras palavras, a relação entre eficiência energética e uso da energia não caminha *pari passu* com a relação entre ganhos de eficiência energética e crescimento econômico, com as

inevitáveis implicações práticas e metodológicas que isto acarreta para a definição das políticas energéticas.

Um ponto positivo da análise de Schipper e Grubb (2000), que revela o uso consistente da hipótese de ‘mudança estrutural’, é o fato de restringirem a adoção das políticas de efficientização ao conjunto dos países desenvolvidos, onde existe a possibilidade de ter ocorrido tal mudança. Embora uma mera classificação países desenvolvidos *versus* países em desenvolvimento tenha se mostrado insuficiente para explicar os resultados apresentados no Capítulo 6 (dada a heterogeneidade encontrada entre os chamados países desenvolvidos), é razoável supor que no contexto dos países em desenvolvimento o efeito Jevons mostre-se ainda mais significativo, inclusive com as variáveis crescimento econômico e aumento no consumo da energia caminhando mais próximas, devido à estrutura sócio-econômica prevalecente: há uma grande demanda por serviços energéticos ainda não atendida, o crescimento populacional é maior e nas maiores economias dos países em desenvolvimento a participação da indústria pesada é alta. Estudando a relevância do efeito bumerangue na Índia, Roy (2000) encontrou valores bastante altos de aumento na demanda após a substituição de tecnologias por outras mais eficientes. Acrescenta ainda que grande parte do aumento deveu-se à demanda por serviços energéticos de melhor qualidade<sup>84</sup>. A título de exemplo, efetuou-se o teste desenvolvido na análise empírica para o caso do Brasil, obtendo-se os seguintes resultados:

	Ocorrências	Erro tipo I	Conclusão
Brasil – Energia Final	27	$4,21 \cdot 10^{-6}$	Rejeitar H0
Brasil – Energia Primária	28	$4,34 \cdot 10^{-7}$	

**Tabela 7.1–Ocorrências para o Brasil – Critérios de Energia Final e Primária**

[fonte: as informações relativas ao uso de energia final e primária anual no período de 1972-2002 foram obtidas da base de dados da OCDE]

---

<sup>84</sup> Fazendo referência a um específico programa de iluminação rural, o autor afirma que a substituição de lâmpadas de querosene por lanternas solares desencadeou bumerangues de 50 % (e de até 80 % em algumas residências) (ROY, 2000).

Os resultados são comparáveis apenas aos de Austrália e Finlândia, corroborando com bastante peso a hipótese de que o efeito Jevons mostra-se relevante.

Para finalizar, cabe reconhecer que um estudo completo das relações entre desenvolvimento e uso da energia deve deter-se não apenas nos pontos abordados nesta dissertação, mas também às implicações sociais e políticas relativas ao processo de desenvolvimento. O preceito que orienta a metodologia de usos finais, segundo o qual a energia é utilizada para satisfazer necessidades humanas, pode ser proveitosamente utilizado para uma análise social, econômica e política do desenvolvimento dos processos pelos quais se faz uso dos recursos energéticos, embora provavelmente numa outra roupagem. A discussão em torno das políticas de eficiência é apenas um elemento de uma problemática muito maior: de que forma o desenvolvimento das estruturas sócio-econômicas modifica a alocação dos recursos energéticos, e quais as conseqüências sociais, econômicas, políticas e ambientais associadas a este processo? Schurr (1982) defende que mais estudos são necessários para entender o que aconteceu no passado com as relações envolvendo o uso da energia. Esta compreensão do passado é importante, principalmente se busca-se entender o problema energético dentro de uma perspectiva de desenvolvimento, mas caberia acrescentar que mais estudos são necessários principalmente para que possamos compreender o que está ocorrendo no presente.

## 8 BIBLIOGRAFIA

ALCHIAN, A. Cost. **International Encyclopedia of the Social Sciences**. New York: The Macmillan Company & The Free Press, Vol. 3, pp. 404-415.

BERKHOUT, PETER H. G., MUSKENS, JOS C., VELTHUIJSEN, JAN W. Defining the rebound effect, **Energy Policy**, Vol. 28, Nos. 6-7, June, pp. 425-432, 2000.

BROOKES, LEN. A Low Energy Strategy for the UK by G Leach et al: a Review and Reply, **Atom**, No. 269, March, pp. 73-78, 1979.

BROOKES, LEN. Energy Efficiency and Economic Fallacies, **Energy Policy**, Vol. 18, No. 2, pp. 199-201, 1990.

BROOKES, LEN. Energy Efficiency and Economic Fallacies - A Reply, **Energy Policy**, Vol.20, No.5, pp. 390-392, 1992.

BROOKES, LEN. Energy Efficiency Fallacies - The Debate Concluded, **Energy Policy**, Vol. 21, No.4, pp. 346-347, 1993.

BROOKES, LEN. Energy efficiency fallacies revisited, **Energy Policy**, Vol. 28, Nos. 6-7, June, pp. 355-366, 2000.

DEESE, DAVID A. Energy: Economics, Politics and Security, **International Security**, Vol. 4, No. 3, pp. 140-153, Winter 1979-1980.

DRUCKER, P. F. The changed world economy. **Foreign Affairs**. Spring: 768-791, 1986.

DU BOFF, RICHARD D. The Introduction of Electric Power in American Manufacture. **The Economic History Review**, New Series, Vol. 20, No. 3, pp. 509-518, December 1967.

GARDNER, DOUGLAS T., ROBINSON, JOHN B. To What End? A Conceptual Framework for the Analysis of Energy Use, **Energy Studies Review**, Vol. 5, No. 1, 1993.

GRUBB, MICHAEL. Energy Efficiency and Economic Fallacies - A Reply, **Energy Policy**, Vol. 18, No. 8, pp. 783-785, 1990.

GRUBB, MICHAEL. Reply to Brookes, **Energy Policy**, Vol. 20, No. 5, pp. 392-393, 1992.

HADDAD, JAMIL, AGUIAR, SÉRGIO CATÃO. **Eficiência energética: integrando usos e reduzindo desperdícios**. Brasília : ANEEL/ANP, 1999.

HENLY, JOHN, RUDERMAN, HENRY, LEVINE, MARK D. Energy Savings Resulting from the Adoption of More Efficient Appliances: A Follow-up, *The Energy Journal*, Vol. 9, No. 2, pp. 163-170, April 1988.

HERRING, HORACE. Does Energy Efficiency Save Energy: The Implications of Accepting the Khazzoom-Brookes Postulate. Disponível em: <<http://technology.open.ac.uk/eeru/staff/horace/kbpotl.htm>>. Acesso em: 19 de Outubro de 2005. Artigo publicado em Abril de 1998.

HOWARTH, RICHARD. Energy Efficiency and Economic Growth, **Contemporary Economic Policy**, Vol. XV, Oct 1997, pp. 1-9, 1997.

JEVONS, WILLIAM STANLEY. **The coal question: an inquiry concerning the progress of the Nation, and the probable exhaustion of our coal-mines**. Editado por A. W. Flux, 3ª edição revisada. A primeira edição é de 1865. New York : A. M. Kelley, 1965.

JOSKOW, PAUL L. Productivity Growth and Technical Change in the Generation of Electricity. **The Energy Journal**, Vol. 8, No. 1, pp. 17-38, 1987.

KAUFMANN, ROBERT. A biophysical analysis of the energy/real GDP ratio: implications for substitution and technical change, **Ecological Economics**, Vol. 6, No. 1, pp. 35-56, 1992.

KEEPING, B., KATS, G. Greenhouse warming: comparative analysis of nuclear and efficiency abatement strategies. **Energy Policy**, Vol. 16, No. 6, pp. 538-561, December 1988.

KEEPING, B., KATS, G. The efficiency renewable synergism. **Energy Policy**, Vol. 17, No. 6, pp. 538-561, December 1989.

KHAZZOOM, J DANIEL. Economic Implications of Mandated Efficiency Standards for Household Appliances, **Energy Journal**, Vol. 1, No. 4, pp. 21-39, 1980.

KHAZZOOM, J DANIEL. Energy Savings Resulting from the Adoption of More Efficient Appliances, **Energy Journal**, Vol.8, No. 4, pp. 85-89, 1987.

KHAZZOOM, J DANIEL. Energy Savings from More Efficient Appliances: A Rejoinder, **Energy Journal**, Vol. 10, No. 1, pp. 157-166, 1989.

KUHN, THOMAS S. **A Estrutura das Revoluções Científicas**. Tradução de Beatriz Vianna Boeira e Nelson Boeira. São Paulo: Perspectiva, 1975.

LEACH, GERALD et al. **A Low Energy Strategy for the UK**, London: IIED, 1979.

LOVINS, AMORY. Energy Savings Resulting from the Adoption of More Efficient Appliances: Another View, **Energy Journal**, Vol.9, No. 2, pp. 155-162, 1988.

MACHADO, GIOVANI, SCHAEFFER, ROBERTO, WORREL, ERNST. Energy and carbon embodied in the international trade of Brazil – an input-output approach, **Ecological Economics**, Vol. 39, No. 3, pp. 409-424, December 2001.

MARQUES, MILTON, HADDAD, JAMIL, MARTINS, ANDRÉ RAMON SILVA (coordenadores). **Conservação de Energia: Eficiência Energética de Instalações e Equipamentos**. Itajubá, MG: FUPAI, 2001.

MAZUMDAR, PAULINE M. H. **Species and specificity: an interpretation of the history of immunology**. Cambridge; New York, NY, USA : Cambridge University Press, 1995.

MIRSHAWKA, VICTOR. **Probabilidades e estatística para engenharia**. São Paulo: Nobel, 1979.

PATTERSON, MURRAY G. What is energy efficiency? Concepts, indicators and methodological issues, **Energy Policy**, Vol. 24, No. 5, pp. 377-390, 1996.

RIVERS, NIC., JACCARD, MARK. Useful models for simulating policies to induce technological change. **Energy Policy**, pp. 1-10 (no prelo). Disponível on line em 31 de Março de 2005.

ROOP, J. M. The trade effects on energy use in the US economy: an input-output analysis. Presented at **8<sup>th</sup> Ann. Int. Assoc. Energy Economists N. Am. Conf.**, Cambridge, Mass., 1986.

ROSENBERG, NATHAN. Technological change in the machine tool industry, 1840-1910. **The Journal of Economic History**, Vol. 23, No. 4, pp. 414-443, December 1963.

ROSENBERG, NATHAN. The effects of energy supply characteristics on technology and economic growth. In: ROSENBERG, NATHAN. **Inside the Black Box: technology and economics**. New York : Cambridge University Press, 1982.

ROSENBERG, NATHAN. The Role of Electricity in Industrial Development. **The Energy Journal**, Vol. 19, No. 2, p. 7 (18 pages), 1998.

ROY, JOYASHREE. The rebound effect: some empirical evidence from India, **Energy Policy**, Vol. 28, Nos. 6-7, June, pp. 433-438, 2000

SAUNDERS, HARRY. The Khazzoom-Brookes Postulate and Neoclassical Growth, **Energy Journal**, Vol. 13, No. 4, pp. 131-148, 1992.

SAUNDERS, HARRY D. Does predicted rebound depend on distinguishing between energy and energy services?, **Energy Policy**, Vol. 28, Nos. 6-7, June, pp. 497-500, 2000.

SCHAEFFER, ROBERTO, SÁ, ANDRÉ LEAL DE. The embodiment of carbon associated with Brazilian imports and exports. **Energy Conversion and Management**. Vol. 37, Nos. 6-8, pp. 955-960, 1996.

SCHMIDT, FRANK W., HENDERSON, ROBERT E., WOLGEMUTH, CARL H. **Introdução às Ciências Térmicas**. Tradução da 2ª edição americana por José Roberto Simões Moreira (coordenador). São Paulo: Editora Edgard Blucher Ltda., 1996.

SCHIPPER, LEE. On the rebound: the interaction of energy efficiency, energy use and economic activity. An introduction, **Energy Policy**, Vol. 28, Nos. 6-7, June, pp. 351-354, 2000.

SCHIPPER, LEE, GRUBB, MICHAEL. On the rebound? Feedback between energy intensities and energy use in IEA countries, **Energy Policy**, Vol. 28, Nos. 6-7, June, pp. 367-388, 2000.

SCHIPPER, LEE & STEVEN MEYERS. **Energy Efficiency and Human Activity: Past Trends, Future Prospects**, Cambridge University Press, 1992.

SCHURR, SAM. Energy Efficiency and Productive Efficiency: Some Thoughts Based on American Experience, **The Energy Journal**, Vol. 3, No. 3, pp. 3-14, 1982.

SCHURR, SAM. Energy Conservation and Productivity Growth - Can We Have Both, **Energy Policy**, Vol. 13, No. 2, pp. 126-132, 1985.

SCHURR, S. H. Energy use, technological change, and productive efficiency: an economic-historical interpretation. **Annual Review of Energy**, Vol. 9, pp. 409-425, 1984.

SMITH, VERNON L. Production. **International Encyclopedia of the Social Sciences**. New York: The Macmillan Company & The Free Press, Vol. 12, pp. 511-519, 1968.

SUTHERLAND, RONALD. The Economics of Energy Conservation Policy, **Energy Policy**, Vol. 24, No.4, pp. 361-370, 1996.

VAN WYLEN, GORDON J. SONNTAG, RICHARD E., BORGNAKKE, CLAUS. **Fundamentos da Termodinâmica**. Tradução da 6ª edição americana por Euryale de Jesus Zerbini. São Paulo: Editora Edgard Blucher, 2003.

WILLIAMS, ROBERT H., LARSON, ERIC D., ROSS, MARC H. Materials, affluence, and industrial energy use, **Annual Review of Energy**, No. 12, pp. 99-144, 1987.

WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT. **Our Common Future**. Oxford : Oxford University Press, 1987.

WYCKOFF, ANDREW W., ROOP, JOSEPH M. The embodiment of carbon in imports of manufactured products: Implications for international agreements on greenhouse gas emissions. **Energy Policy**, Vol. 22, No. 3, pp. 187-194, 1994.

## 9 APÊNDICE 1: DEFINIÇÕES UTILIZADAS NO TRABALHO EMPÍRICO DE SCHURR

As fontes primárias utilizadas por Schurr (1984) para a construção da Tabela 3.1 e da Tabela 3.2 podem ser encontradas na própria referência (Schurr, 1984). As definições aqui apresentadas também foram extraídas de Schurr (1984).

*Energia* é medida em BTUs de combustíveis minerais mais hidroeletricidade (mas excluindo madeira) consumidos em toda a economia.

*Produção* é medida em dólares constantes de PNB (1972) para as empresas privadas domésticas. Produção é definida como PNB menos balanço líquido do comércio exterior, a produção das instituições sem fins lucrativos e residenciais, e governo (exceto para empresas estatais).

Entrada de *Trabalho* é definida como horas de trabalho dispendidas por pessoas engajadas na economia privada doméstica.

Entrada de *Capital* é definida como estoque bruto de equipamento durável dos produtores e estruturas não-residenciais em dólares constantes (1972).

Entrada *Multifator* (capital+trabalho) é definida como a soma ponderada das entradas de capital e trabalho, usando como pesos a participação relativa no PNB para cada entrada, em termos de custo.

*Custos relativos de combustível e energia* são definidos como razão entre o índice de preços no mercado atacadista de combustível e energia e o índice de preços de todas as commodities no mercado atacadista.

*Intensidade energética* é definida como a razão entre energia total consumida e produção total (ambos de acordo com as definições acima).

*Multifator de produtividade* é definido como a razão entre a produção e a entrada multifator (ambos de acordo com as definições acima).

*Anos de ciclos de pico* são datados de acordo com o sistema de referência do National Bureau of Economic Research (NBER). Um ano de pico é identificado como o ano no qual o mês de pico NBER ocorre. Há raras exceções: por exemplo, 1944 foi

identificado como ano de pico associado com o mês de pico fevereiro de 1945, e 1979 foi identificado como ano de pico associado como o mês de pico janeiro de 1980.

Maiores detalhes sobre a operacionalização dos dados podem ser encontrados em Schurr (1984). As informações expostas neste apêndice, extraídas desta referência, visam somente facilitar a leitura das tabelas utilizadas.

## 10 APÊNDICE 2: TABELAS REFERENTES À APLICAÇÃO DA ANÁLISE EMPÍRICA PARA ENERGIA FINAL

As informações relativas a consumo de energia foram extraídas das bases de dados da OCDE. Os dados de consumo de energia estão expressos em milhares de toneladas equivalentes de petróleo (ktoe ou ktep). Observando-se as seguintes definições:

$dE/dt$  = variação percentual relativa

$E_{\text{atual}}$  = energia consumida no ano atual

$E_{\text{anterior}}$  = energia consumida no ano anterior

As variações percentuais relativas ao consumo foram calculadas pela expressão:

$$dE/dt = (E_{\text{atual}} - E_{\text{anterior}}) / E_{\text{anterior}}$$

Atribuiu-se valor 1 a  $dE/dt > 0$  e valor 0 a  $dE/dt < 0$ , na coluna Somatório de Sucessos. O número de ocorrências em que  $dE/dt > 0$  definiu, conforme teste detalhado na dissertação, a rejeição ou aceitação do postulado Khazzoom-Brookes. Os países estudados foram Alemanha, Austrália, Canadá, Dinamarca, Estados Unidos, Finlândia, França, Holanda, Itália, Japão, Noruega, Nova Zelândia, Reino Unido e Suécia (os mesmos estudados por Schipper e Grubb (2000) a partir da construção de indicadores Laspeyres). O período analisado (1972-2002) fornece um total de 30 ‘tentativas’. A chance de que se esteja errado ao rejeitar o postulado Khazzoom-Brookes é a probabilidade de que não ocorra o número de sucessos observados em 30 tentativas efetuadas, considerando que as ocorrências seguem uma distribuição binomial (ou seja, há 50% de chance de sucesso em cada nova tentativa).

Numa distribuição binomial, há apenas dois eventos possíveis: sucesso e fracasso. A probabilidade de sucesso é  $p$ . A probabilidade de fracasso é  $q = 1 - p$ . Estas probabilidades

mantêm-se constantes em cada nova tentativa. Suponha por exemplo que queiramos calcular a probabilidade de não obtermos nenhum sucesso após duas tentativas:

$$P(X = 0) = C_{2,0} * p^0 * q^{(2-0)}$$

Já a probabilidade de obtermos 1 único sucesso é:

$$P(X = 1) = C_{2,1} * p^1 * q^{(2-1)}$$

A probabilidade de obtermos até 1 sucesso é:

$$P(X \leq 1) = P(X = 0) + P(X = 1) = C_{2,0} * p^0 * q^{(2-0)} + C_{2,1} * p^1 * q^{(2-1)}$$

Por indução, é possível mostrar que a probabilidade de obter até x sucessos em n tentativas, considerando uma distribuição binomial com probabilidade de sucesso p e fracasso q, é:

$$P(X \leq x) = \sum_0^x (C_{n,x}) * (p^x) * (q^{n-x})$$

Para o experimento construído, as hipóteses H0 e H1 são as seguintes:

H0: os ganhos de eficiência energética *não* aceleram o crescimento no consumo de energia

H1: os ganhos de eficiência energética aceleram o crescimento no consumo de energia, o que nos leva a aceitar a validade do postulado Khazzoom-Brookes

A probabilidade de estarmos errados ao rejeitarmos a hipótese H0 é a probabilidade de que, considerando uma distribuição binomial com probabilidade de sucesso p, não observemos x ocorrências em que  $dE/dt > 0$ , conforme detalhado no corpo da dissertação.

Foi adotado como critério rejeitar a hipótese  $H_0$  se o erro tipo I (probabilidade de rejeitar  $H_0$  sendo esta verdadeira) é menor que 5 %. O erro tipo I pode ser calculado pela seguinte expressão:

$$\text{Erro tipo I } (\alpha = P(H_1 | H_0)) = 1 - P(X \leq x - 1)$$

Com  $x$  sendo o número de vezes em que se observou  $dE/dt > 0$ . Observando que o experimento foi realizado para 30 tentativas e que a probabilidade de sucesso é  $p = 50\%$ :

$$P(X \leq x) = \sum_0^x (C_{30,x}) * (0,5)^{30}$$

Seguem-se as tabelas com os dados de consumo de energia final, variações percentuais relativas no consumo ( $dE/dt$ ) e identificação dos anos em que estas variações foram positivas ( $dE/dt > 0$ ), juntamente com as conclusões relativas a cada um dos países estudados, considerando consumo de energia final.

Alemanha- Energia Final		Diferenças Relativas (dEt/dt)		Somatório de Sucessos
1972	232307,32			
1973	246639,81	1972-1973	6,17%	1
1974	237894,3	1973-1974	-3,55%	0
1975	231041,97	1974-1975	-2,88%	0
1976	242700,77	1975-1976	5,05%	1
1977	244473,5	1976-1977	0,73%	1
1978	254739,85	1977-1978	4,20%	1
1979	265582,85	1978-1979	4,26%	1
1980	253451,32	1979-1980	-4,57%	0
1981	243950,03	1980-1981	-3,75%	0
1982	234458,95	1981-1982	-3,89%	0
1983	237305,19	1982-1983	1,21%	1
1984	245523,13	1983-1984	3,46%	1
1985	253461,11	1984-1985	3,23%	1
1986	256181,86	1985-1986	1,07%	1
1987	257621,43	1986-1987	0,56%	1
1988	256334,3	1987-1988	-0,50%	0
1989	248950,43	1988-1989	-2,88%	0
1990	247275,75	1989-1990	-0,67%	0
1991	244363,17	1990-1991	-1,18%	0
1992	238738,69	1991-1992	-2,30%	0
1993	239430,31	1992-1993	0,29%	1
1994	236742,75	1993-1994	-1,12%	0
1995	240619,81	1994-1995	1,64%	1
1996	250771	1995-1996	4,22%	1
1997	248181,15	1996-1997	-1,03%	0
1998	247662,08	1997-1998	-0,21%	0
1999	243206,97	1998-1999	-1,80%	0
2000	242472,86	1999-2000	-0,30%	0
2001	246382,09	2000-2001	1,61%	1
2002	241044,66	2001-2002	-2,17%	0
				14

H0: os ganhos de eficiência energética *não* aceleram o crescimento no consumo de energia

H1: os ganhos de eficiência energética aceleram o crescimento no consumo de energia, o que nos leva a aceitar a validade do postulado Khazzoom-Brookes

$$\text{Erro tipo I } (\alpha = P(H1 \mid H_0)) = 1 - P(X \leq 13) = 1 - 0,29233 = 70,767 \%$$

Conclusão: aceitar H0.

Austrália - Energia Final		Diferenças Relativas (dEt/dt)		Somatório de Sucessos
1972	37035,62			
1973	39981,62	1972-1973	7,95%	1
1974	40616,66	1973-1974	1,59%	1
1975	41627,44	1974-1975	2,49%	1
1976	42184,18	1975-1976	1,34%	1
1977	44426,97	1976-1977	5,32%	1
1978	45092,24	1977-1978	1,50%	1
1979	46299,18	1978-1979	2,68%	1
1980	47521,75	1979-1980	2,64%	1
1981	47305,51	1980-1981	-0,46%	0
1982	47946,65	1981-1982	1,36%	1
1983	46276,33	1982-1983	-3,48%	0
1984	48144,25	1983-1984	4,04%	1
1985	50278,18	1984-1985	4,43%	1
1986	50425,34	1985-1986	0,29%	1
1987	51615,98	1986-1987	2,36%	1
1988	53958,95	1987-1988	4,54%	1
1989	56224,77	1988-1989	4,20%	1
1990	58069,52	1989-1990	3,28%	1
1991	57680,63	1990-1991	-0,67%	0
1992	58284,13	1991-1992	1,05%	1
1993	60525,85	1992-1993	3,85%	1
1994	61898,61	1993-1994	2,27%	1
1995	64171,74	1994-1995	3,67%	1
1996	66267,86	1995-1996	3,27%	1
1997	67736,75	1996-1997	2,22%	1
1998	69026,84	1997-1998	1,90%	1
1999	70083,99	1998-1999	1,53%	1
2000	71999,95	1999-2000	2,73%	1
2001	72926,58	2000-2001	1,29%	1
2002	70772,39	2001-2002	-2,95%	0
				26

H0: os ganhos de eficiência energética *não* aceleram o crescimento no consumo de energia

H1: os ganhos de eficiência energética aceleram o crescimento no consumo de energia, o que nos leva a aceitar a validade do postulado Khazzoom-Brookes

$$\text{Erro tipo I } (\alpha = P(H1 \mid H_0)) = 1 - P(X \leq 25) = 1 - 0,99997 = 0,00003 = 0,003 \%$$

Conclusão: rejeitar H0

Canadá - Energia Final		Diferenças Relativas (dEt/dt)		Somatório de Sucessos
1972	125343,14			
1973	132075,23	1972-1973	5,37%	1
1974	138854,13	1973-1974	5,13%	1
1975	132587,03	1974-1975	-4,51%	0
1976	139301,4	1975-1976	5,06%	1
1977	144535,97	1976-1977	3,76%	1
1978	147122,66	1977-1978	1,79%	1
1979	153925,72	1978-1979	4,62%	1
1980	155862,36	1979-1980	1,26%	1
1981	151215,26	1980-1981	-2,98%	0
1982	143040,95	1981-1982	-5,41%	0
1983	141284,55	1982-1983	-1,23%	0
1984	147003,85	1983-1984	4,05%	1
1985	151282,84	1984-1985	2,91%	1
1986	151587,47	1985-1986	0,20%	1
1987	154059,11	1986-1987	1,63%	1
1988	161116,03	1987-1988	4,58%	1
1989	164687,37	1988-1989	2,22%	1
1990	160794,58	1989-1990	-2,36%	0
1991	158689,36	1990-1990	-1,31%	0
1992	161688,69	1990-1991	1,89%	1
1993	165934,59	1992-1993	2,63%	1
1994	171448,2	1993-1994	3,32%	1
1995	175522,94	1994-1995	2,38%	1
1996	181947,59	1995-1996	3,66%	1
1997	184484,77	1996-1997	1,39%	1
1998	179507,39	1997-1998	-2,70%	0
1999	186489,62	1998-1999	3,89%	1
2000	190869,54	1999-2000	2,35%	1
2001	184364,52	2000-2001	-3,41%	0
2002	190528,91	2001-2002	3,34%	1
				22

H0: os ganhos de eficiência energética *não* aceleram o crescimento no consumo de energia

H1: os ganhos de eficiência energética aceleram o crescimento no consumo de energia, o que nos leva a aceitar a validade do postulado Khazzoom-Brookes

$$\text{Erro tipo I } (\alpha = P(H1 \mid H_0)) = 1 - P(X \leq 21) = 1 - 0,99194 = 0,00806 = 0,806 \%$$

Conclusão: rejeitar H0.

Dinamarca- Energia Final		Diferenças Relativas (dEt/dt)		Somatório de Sucessos
1972	15932,45			
1973	16257,31	1972-1973	2,04%	1
1974	14030,86	1973-1974	-13,70%	0
1975	14307	1974-1975	1,97%	1
1976	16172,53	1975-1976	13,04%	1
1977	16276,06	1976-1977	0,64%	1
1978	16409,68	1977-1978	0,82%	1
1979	16919,11	1978-1979	3,10%	1
1980	15454,09	1979-1980	-8,66%	0
1981	14190,86	1980-1981	-8,17%	0
1982	12953,31	1981-1982	-8,72%	0
1983	13327,36	1982-1983	2,89%	1
1984	13848,89	1983-1984	3,91%	1
1985	14911,12	1984-1985	7,67%	1
1986	15187,49	1985-1986	1,85%	1
1987	15257,14	1986-1987	0,46%	1
1988	14717,24	1987-1988	-3,54%	0
1989	14279,59	1988-1989	-2,97%	0
1990	13875,16	1989-1990	-2,83%	0
1991	14627,83	1990-1991	5,42%	1
1992	14439,29	1991-1992	-1,29%	0
1993	14913,33	1992-1993	3,28%	1
1994	14952,34	1993-1994	0,26%	1
1995	15263,61	1994-1995	2,08%	1
1996	15882,77	1995-1996	4,06%	1
1997	15534,24	1996-1997	-2,19%	0
1998	15472,84	1997-1998	-0,40%	0
1999	15439,46	1998-1999	-0,22%	0
2000	15065,44	1999-2000	-2,42%	0
2001	15439,08	2000-2001	2,48%	1
2002	15148,32	2001-2002	-1,88%	0
				17

H0: os ganhos de eficiência energética *não* aceleram o crescimento no consumo de energia

H1: os ganhos de eficiência energética aceleram o crescimento no consumo de energia, o que nos leva a aceitar a validade do postulado Khazzoom-Brookes

$$\text{Erro tipo I } (\alpha = P(H1 \mid H_0)) = 1 - P(X \leq 16) = 1 - 0,70767 = 0,29233 = 29,233 \%$$

Conclusão: aceitar H0.

EUA- Energia Final		Diferenças Relativas (dEt/dt)		Somatório de Sucessos
1972	1287911,55			
1973	1322890,66	1972-1973	2,72%	1
1974	1278838,24	1973-1974	-3,33%	0
1975	1235451,81	1974-1975	-3,39%	0
1976	1302586,91	1975-1976	5,43%	1
1977	1345403,5	1976-1977	3,29%	1
1978	1370259,95	1977-1978	1,85%	1
1979	1379157,65	1978-1979	0,65%	1
1980	1319836,66	1979-1980	-4,30%	0
1981	1296439,37	1980-1981	-1,77%	0
1982	1235982,43	1981-1982	-4,66%	0
1983	1221147,81	1982-1983	-1,20%	0
1984	1291037,03	1983-1984	5,72%	1
1985	1278110,5	1984-1985	-1,00%	0
1986	1280769,45	1985-1986	0,21%	1
1987	1324044,23	1986-1987	3,38%	1
1988	1381958,5	1987-1988	4,37%	1
1989	1339768,59	1988-1989	-3,05%	0
1990	1306778,97	1989-1990	-2,46%	0
1991	1308243,55	1990-1991	0,11%	1
1992	1315926,29	1991-1992	0,59%	1
1993	1340040,55	1992-1993	1,83%	1
1994	1372171,88	1993-1994	2,40%	1
1995	1394001,81	1994-1995	1,59%	1
1996	1438565,87	1995-1996	3,20%	1
1997	1457998,99	1996-1997	1,35%	1
1998	1456773,32	1997-1998	-0,08%	0
1999	1510628,11	1998-1999	3,70%	1
2000	1566535,25	1999-2000	3,70%	1
2001	1538945,27	2000-2001	-1,76%	0
2002	1557390,93	2001-2002	1,20%	1
				19

H0: os ganhos de eficiência energética *não* aceleram o crescimento no consumo de energia

H1: os ganhos de eficiência energética aceleram o crescimento no consumo de energia, o que nos leva a aceitar a validade do postulado Khazzoom-Brookes

$$\text{Erro tipo I } (\alpha = P(H1 \mid H_0)) = 1 - P(X \leq 18) = 1 - 0,89976 = 0,10024 = 10,024 \%$$

Conclusão: aceitar H0.

Finlândia- Energia Final		Diferenças Relativas (dEt/dt)		Somatório de Sucessos
1972	18042,52			
1973	19429,56	1972-1973	7,69%	1
1974	18449,47	1973-1974	-5,04%	0
1975	17655,2	1974-1975	-4,31%	0
1976	18343,34	1975-1976	3,90%	1
1977	18392,57	1976-1977	0,27%	1
1978	19109,59	1977-1978	3,90%	1
1979	19883,12	1978-1979	4,05%	1
1980	19641,6	1979-1980	-1,21%	0
1981	19502,5	1980-1981	-0,71%	0
1982	19193,48	1981-1982	-1,58%	0
1983	19516,81	1982-1983	1,68%	1
1984	19217,31	1983-1984	-1,53%	0
1985	19273,66	1984-1985	0,29%	1
1986	20190,51	1985-1986	4,76%	1
1987	21635,21	1986-1987	7,16%	1
1988	21722,86	1987-1988	0,41%	1
1989	22464,53	1988-1989	3,41%	1
1990	22721,8	1989-1990	1,15%	1
1991	22542,79	1990-1991	-0,79%	0
1992	22533,83	1991-1992	-0,04%	0
1993	22424,97	1992-1993	-0,48%	0
1994	23578,82	1993-1994	5,15%	1
1995	22733,42	1994-1995	-3,59%	0
1996	23156,35	1995-1996	1,86%	1
1997	23811,03	1996-1997	2,83%	1
1998	24730,65	1997-1998	3,86%	1
1999	24866,45	1998-1999	0,55%	1
2000	24758,92	1999-2000	-0,43%	0
2001	25276,05	2000-2001	2,09%	1
2002	26152,55	2001-2002	3,47%	1
				19

H0: os ganhos de eficiência energética *não* aceleram o crescimento no consumo de energia

H1: os ganhos de eficiência energética aceleram o crescimento no consumo de energia, o que nos leva a aceitar a validade do postulado Khazzoom-Brookes

$$\text{Erro tipo I } (\alpha = P(H1 \mid H_0)) = 1 - P(X \leq 18) = 1 - 0,89976 = 0,10024 = 10,024 \%$$

Conclusão: aceitar H0.

França- Energia Final		Diferenças Relativas (dEt/dt)		Somatório de Sucessos
1972	136066,39			
1973	145557,99	1972-1973	6,98%	1
1974	139305,23	1973-1974	-4,30%	0
1975	132512,83	1974-1975	-4,88%	0
1976	137028,34	1975-1976	3,41%	1
1977	137788,24	1976-1977	0,55%	1
1978	147008,14	1977-1978	6,69%	1
1979	150145,95	1978-1979	2,13%	1
1980	144565,98	1979-1980	-3,72%	0
1981	137456,09	1980-1981	-4,92%	0
1982	132568,25	1981-1982	-3,56%	0
1983	135268,44	1982-1983	2,04%	1
1984	137585,09	1983-1984	1,71%	1
1985	140317,07	1984-1985	1,99%	1
1986	142156,58	1985-1986	1,31%	1
1987	144739,74	1986-1987	1,82%	1
1988	143963,25	1987-1988	-0,54%	0
1989	146227,09	1988-1989	1,57%	1
1990	147120,75	1989-1990	0,61%	1
1991	157685,34	1990-1991	7,18%	1
1992	158776,56	1991-1992	0,69%	1
1993	156017,75	1992-1993	-1,74%	0
1994	154250,92	1993-1994	-1,13%	0
1995	157731,1	1994-1995	2,26%	1
1996	163956,69	1995-1996	3,95%	1
1997	162993,88	1996-1997	-0,59%	0
1998	167749,4	1997-1998	2,92%	1
1999	168564,47	1998-1999	0,49%	1
2000	168058,03	1999-2000	-0,30%	0
2001	174008,52	2000-2001	3,54%	1
2002	169649,38	2001-2002	-2,51%	0
				19

H0: os ganhos de eficiência energética *não* aceleram o crescimento no consumo de energia

H1: os ganhos de eficiência energética aceleram o crescimento no consumo de energia, o que nos leva a aceitar a validade do postulado Khazzoom-Brookes

$$\text{Erro tipo I } (\alpha = P(H1 \mid H_0)) = 1 - P(X \leq 18) = 1 - 0,89976 = 0,10024 = 10,024 \%$$

Conclusão: aceitar H0.

Holanda- Energia Final		Diferenças Relativas (dEt/dt)		Somatório de Sucessos
1972	45552,95			
1973	48848,96	1972-1973	7,24%	1
1974	47290,15	1973-1974	-3,19%	0
1975	46931,32	1974-1975	-0,76%	0
1976	52499,21	1975-1976	11,86%	1
1977	51006,93	1976-1977	-2,84%	0
1978	52716,33	1977-1978	3,35%	1
1979	55003,71	1978-1979	4,34%	1
1980	51050,16	1979-1980	-7,19%	0
1981	47920,34	1980-1981	-6,13%	0
1982	44676,67	1981-1982	-6,77%	0
1983	46524,27	1982-1983	4,14%	1
1984	48209,62	1983-1984	3,62%	1
1985	49512,95	1984-1985	2,70%	1
1986	50444,89	1985-1986	1,88%	1
1987	51877,01	1986-1987	2,84%	1
1988	50320,16	1987-1988	-3,00%	0
1989	50199,95	1988-1989	-0,24%	0
1990	51173,79	1989-1990	1,94%	1
1991	55114,89	1990-1991	7,70%	1
1992	54078,71	1991-1992	-1,88%	0
1993	54404,27	1992-1993	0,60%	1
1994	54336,49	1993-1994	-0,12%	0
1995	55186,21	1994-1995	1,56%	1
1996	58041,75	1995-1996	5,17%	1
1997	56656,68	1996-1997	-2,39%	0
1998	57030,13	1997-1998	0,66%	1
1999	57017,68	1998-1999	-0,02%	0
2000	59514,65	1999-2000	4,38%	1
2001	60331,83	2000-2001	1,37%	1
2002	59998,61	2001-2002	-0,55%	0
				17

H0: os ganhos de eficiência energética *não* aceleram o crescimento no consumo de energia

H1: os ganhos de eficiência energética aceleram o crescimento no consumo de energia, o que nos leva a aceitar a validade do postulado Khazzoom-Brookes

$$\text{Erro tipo I } (\alpha = P(H1 \mid H_0)) = 1 - P(X \leq 16) = 1 - 0,70767 = 0,29233 = 29,233 \%$$

Conclusão: aceitar H0.

Itália- Energia Final		Diferenças Relativas (dEt/dt)	Somatório de Sucessos	
1972	93705,09			
1973	98746,69	1972-1973	5,38%	1
1974	99086,85	1973-1974	0,34%	1
1975	94715,61	1974-1975	-4,41%	0
1976	101773,63	1975-1976	7,45%	1
1977	99892,73	1976-1977	-1,85%	0
1978	101423,72	1977-1978	1,53%	1
1979	106790,37	1978-1979	5,29%	1
1980	104576,38	1979-1980	-2,07%	0
1981	101136,27	1980-1981	-3,29%	0
1982	98863,84	1981-1982	-2,25%	0
1983	99169,22	1982-1983	0,31%	1
1984	102914,37	1983-1984	3,78%	1
1985	103068,31	1984-1985	0,15%	1
1986	104157,96	1985-1986	1,06%	1
1987	109487,92	1986-1987	5,12%	1
1988	112517,34	1987-1988	2,77%	1
1989	116449,15	1988-1989	3,49%	1
1990	117637,17	1989-1990	1,02%	1
1991	120309,78	1990-1991	2,27%	1
1992	120094,98	1991-1992	-0,18%	0
1993	119895,08	1992-1993	-0,17%	0
1994	118290,16	1993-1994	-1,34%	0
1995	123316,46	1994-1995	4,25%	1
1996	124402,77	1995-1996	0,88%	1
1997	125733,84	1996-1997	1,07%	1
1998	128992,51	1997-1998	2,59%	1
1999	131889,55	1998-1999	2,25%	1
2000	131234,69	1999-2000	-0,50%	0
2001	134206,47	2000-2001	2,26%	1
2002	133545,43	2001-2002	-0,49%	0
				20

H0: os ganhos de eficiência energética *não* aceleram o crescimento no consumo de energia

H1: os ganhos de eficiência energética aceleram o crescimento no consumo de energia, o que nos leva a aceitar a validade do postulado Khazzoom-Brookes

$$\text{Erro tipo I } (\alpha = P(H1 \mid H_0)) = 1 - P(X \leq 19) = 1 - 0,95063 = 0,04937 = 4,937 \%$$

Conclusão: rejeitar H0.

Japão - Energia Final		Diferenças Relativas (dEt/dt)		Somatório de Sucessos
1972	212600,35			
1973	234408,65	1972-1973	10,26%	1
1974	229708,29	1973-1974	-2,01%	0
1975	219203,87	1974-1975	-4,57%	0
1976	231734,63	1975-1976	5,72%	1
1977	234903,49	1976-1977	1,37%	1
1978	240432,11	1977-1978	2,35%	1
1979	248475,18	1978-1979	3,35%	1
1980	233015,08	1979-1980	-6,22%	0
1981	227333,11	1980-1981	-2,44%	0
1982	227063,75	1981-1982	-0,12%	0
1983	231453,8	1982-1983	1,93%	1
1984	245379,66	1983-1984	6,02%	1
1985	245436,28	1984-1985	0,02%	1
1986	249392,67	1985-1986	1,61%	1
1987	256705,39	1986-1987	2,93%	1
1988	272057,83	1987-1988	5,98%	1
1989	282505,73	1988-1989	3,84%	1
1990	292141,98	1989-1990	3,41%	1
1991	297240,36	1990-1990	1,75%	1
1992	305019,56	1990-1991	2,62%	1
1993	304552,62	1992-1993	-0,15%	0
1994	320194,95	1993-1994	5,14%	1
1995	327712,72	1994-1995	2,35%	1
1996	340718,05	1995-1996	3,97%	1
1997	347601,1	1996-1997	2,02%	1
1998	340387,79	1997-1998	-2,08%	0
1999	350726,93	1998-1999	3,04%	1
2000	355614,46	1999-2000	1,39%	1
2001	350850,18	2000-2001	-1,34%	0
2002	358665,65	2001-2002	2,23%	1
				22

H0: os ganhos de eficiência energética *não* aceleram o crescimento no consumo de energia

H1: os ganhos de eficiência energética aceleram o crescimento no consumo de energia, o que nos leva a aceitar a validade do postulado Khazzoom-Brookes

$$\text{Erro tipo I } (\alpha = P(H1 \mid H_0)) = 1 - P(X \leq 21) = 1 - 0,99194 = 0,00806 = 0,806 \%$$

Conclusão: rejeitar H0.

Noruega- Energia Final		Diferenças Relativas (dEt/dt)		Somatório de Sucessos
1972	13211,75			
1973	13729,42	1972-1973	3,92%	1
1974	13544,66	1973-1974	-1,35%	0
1975	13642,11	1974-1975	0,72%	1
1976	14669,39	1975-1976	7,53%	1
1977	14954,03	1976-1977	1,94%	1
1978	15510,09	1977-1978	3,72%	1
1979	16846,55	1978-1979	8,62%	1
1980	16338,62	1979-1980	-3,02%	0
1981	16125,25	1980-1981	-1,31%	0
1982	15705,84	1981-1982	-2,60%	0
1983	16084,97	1982-1983	2,41%	1
1984	17150,27	1983-1984	6,62%	1
1985	17745,4	1984-1985	3,47%	1
1986	17908,66	1985-1986	0,92%	1
1987	18459,18	1986-1987	3,07%	1
1988	18213,65	1987-1988	-1,33%	0
1989	17945,84	1988-1989	-1,47%	0
1990	18043,96	1989-1990	0,55%	1
1991	17781,95	1990-1991	-1,45%	0
1992	17600,64	1991-1992	-1,02%	0
1993	18072,76	1992-1993	2,68%	1
1994	18559,68	1993-1994	2,69%	1
1995	19113,56	1994-1995	2,98%	1
1996	19543	1995-1996	2,25%	1
1997	19473,84	1996-1997	-0,35%	0
1998	20155,98	1997-1998	3,50%	1
1999	20455,02	1998-1999	1,48%	1
2000	20310,05	1999-2000	-0,71%	0
2001	21176,1	2000-2001	4,26%	1
2002	20614,02	2001-2002	-2,65%	0
				19

H0: os ganhos de eficiência energética *não* aceleram o crescimento no consumo de energia

H1: os ganhos de eficiência energética aceleram o crescimento no consumo de energia, o que nos leva a aceitar a validade do postulado Khazzoom-Brookes

$$\text{Erro tipo I } (\alpha = P(H1 \mid H_0)) = 1 - P(X \leq 18) = 1 - 0,89976 = 0,10024 = 10,024 \%$$

Conclusão: aceitar H0.

Nova Zelândia- Energia Final		Diferenças Relativas (dEt/dt)		Somatório de Sucessos
1972	5906,86			
1973	6053,9	1972-1973	2,49%	1
1974	6614,54	1973-1974	9,26%	1
1975	6713,6	1974-1975	1,50%	1
1976	6932,4	1975-1976	3,26%	1
1977	7043,76	1976-1977	1,61%	1
1978	6947,61	1977-1978	-1,37%	0
1979	6850,5	1978-1979	-1,40%	0
1980	7107,83	1979-1980	3,76%	1
1981	7039,61	1980-1981	-0,96%	0
1982	7241,8	1981-1982	2,87%	1
1983	7416,67	1982-1983	2,41%	1
1984	8159,27	1983-1984	10,01%	1
1985	8226,05	1984-1985	0,82%	1
1986	8391,03	1985-1986	2,01%	1
1987	8729,11	1986-1987	4,03%	1
1988	9223,5	1987-1988	5,66%	1
1989	9437,06	1988-1989	2,32%	1
1990	9982,11	1989-1990	5,78%	1
1991	10097,57	1990-1991	1,16%	1
1992	10385,85	1991-1992	2,85%	1
1993	10680,58	1992-1993	2,84%	1
1994	11326,44	1993-1994	6,05%	1
1995	11843,87	1994-1995	4,57%	1
1996	12290,62	1995-1996	3,77%	1
1997	12553,19	1996-1997	2,14%	1
1998	12695,22	1997-1998	1,13%	1
1999	13467,03	1998-1999	6,08%	1
2000	13880,04	1999-2000	3,07%	1
2001	13788,21	2000-2001	-0,66%	0
2002	14659,6	2001-2002	6,32%	1

26

H0: os ganhos de eficiência energética *não* aceleram o crescimento no consumo de energia

H1: os ganhos de eficiência energética aceleram o crescimento no consumo de energia, o que nos leva a aceitar a validade do postulado Khazzoom-Brookes

$$\text{Erro tipo I } (\alpha = P(H1 \mid H_0)) = 1 - P(X \leq 25) = 1 - 0,99997 = 0,00003 = 0,003 \%$$

Conclusão: rejeitar H0.

Reino Unido- Energia Final		Diferenças Relativas (dEt/dt)		Somatório de Sucessos
1972	139513,5			
1973	147131,21	1972-1973	5,46%	1
1974	141690,42	1973-1974	-3,70%	0
1975	136720,19	1974-1975	-3,51%	0
1976	138597,44	1975-1976	1,37%	1
1977	141668,49	1976-1977	2,22%	1
1978	141596,62	1977-1978	-0,05%	0
1979	147956,88	1978-1979	4,49%	1
1980	135206,96	1979-1980	-8,62%	0
1981	132511,91	1980-1981	-1,99%	0
1982	131589,28	1981-1982	-0,70%	0
1983	131384,06	1982-1983	-0,16%	0
1984	131575,87	1983-1984	0,15%	1
1985	137471,95	1984-1985	4,48%	1
1986	141732	1985-1986	3,10%	1
1987	143494,57	1986-1987	1,24%	1
1988	146031,38	1987-1988	1,77%	1
1989	144673,68	1988-1989	-0,93%	0
1990	145374,35	1989-1990	0,48%	1
1991	150647,07	1990-1991	3,63%	1
1992	149224,3	1991-1992	-0,94%	0
1993	151752,31	1992-1993	1,69%	1
1994	152386,34	1993-1994	0,42%	1
1995	152221,82	1994-1995	-0,11%	0
1996	159957,15	1995-1996	5,08%	1
1997	156651,53	1996-1997	-2,07%	0
1998	158042,17	1997-1998	0,89%	1
1999	161506,1	1998-1999	2,19%	1
2000	160886,01	1999-2000	-0,38%	0
2001	161672,53	2000-2001	0,49%	1
2002	158307,76	2001-2002	-2,08%	0

17

H0: os ganhos de eficiência energética *não* aceleram o crescimento no consumo de energia

H1: os ganhos de eficiência energética aceleram o crescimento no consumo de energia, o que nos leva a aceitar a validade do postulado Khazzoom-Brookes

$$\text{Erro tipo I } (\alpha = P(H1 \mid H_0)) = 1 - P(X \leq 16) = 1 - 1 - 0,70767 = 0,29233 = 29,233 \%$$

Conclusão: aceitar H0.

## 11 APÊNDICE 3: TABELAS REFERENTES À APLICAÇÃO DA ANÁLISE EMPÍRICA PARA ENERGIA PRIMÁRIA

As informações relativas a consumo de energia foram extraídas das bases de dados da OCDE. Os dados de consumo de energia estão expressos em milhares de toneladas equivalentes de petróleo (ktoe ou ktep). Observando-se as seguintes definições:

$dE/dt$  = variação percentual relativa

$E_{\text{atual}}$  = energia consumida no ano atual

$E_{\text{anterior}}$  = energia consumida no ano anterior

As variações percentuais relativas ao consumo foram calculadas pela expressão:

$$dE/dt = (E_{\text{atual}} - E_{\text{anterior}}) / E_{\text{anterior}}$$

Atribuiu-se valor 1 a  $dE/dt > 0$  e valor 0 a  $dE/dt < 0$ , na coluna Somatório de Sucessos. O número de ocorrências em que  $dE/dt > 0$  definiu, conforme teste detalhado na dissertação, a rejeição ou aceitação do postulado Khazzoom-Brookes. Os países estudados foram Alemanha, Austrália, Canadá, Dinamarca, Estados Unidos, Finlândia, França, Holanda, Itália, Japão, Noruega, Nova Zelândia, Reino Unido e Suécia (os mesmos estudados por Schipper e Grubb (2000) a partir da construção de indicadores Laspeyres). O período analisado (1972-2002) fornece um total de 30 ‘tentativas’. A chance de que se esteja errado ao rejeitar o postulado Khazzoom-Brookes é a probabilidade de que não ocorra o número de sucessos observados em 30 tentativas efetuadas, considerando que as ocorrências seguem uma distribuição binomial (ou seja, há 50% de chance de sucesso em cada nova tentativa).

Numa distribuição binomial, há apenas dois eventos possíveis: sucesso e fracasso. A probabilidade de sucesso é  $p$ . A probabilidade de fracasso é  $q = 1 - p$ . Estas probabilidades

mantêm-se constantes em cada nova tentativa. Suponha por exemplo que queiramos calcular a probabilidade de não obtermos nenhum sucesso após duas tentativas:

$$P(X = 0) = C_{2,0} * p^0 * q^{(2-0)}$$

Já a probabilidade de obtermos 1 único sucesso é:

$$P(X = 1) = C_{2,1} * p^1 * q^{(2-1)}$$

A probabilidade de obtermos até 1 sucesso é:

$$P(X \leq 1) = P(X = 0) + P(X = 1) = C_{2,0} * p^0 * q^{(2-0)} + C_{2,1} * p^1 * q^{(2-1)}$$

Por indução, é possível mostrar que a probabilidade de obter até x sucessos em n tentativas, considerando uma distribuição binomial com probabilidade de sucesso p e fracasso q, é:

$$P(X \leq x) = \sum_0^x (C_{n,x}) * (p^x) * (q^{n-x})$$

Para o experimento construído, as hipóteses H0 e H1 são as seguintes:

H0: os ganhos de eficiência energética *não* aceleram o crescimento no consumo de energia

H1: os ganhos de eficiência energética aceleram o crescimento no consumo de energia, o que nos leva a aceitar a validade do postulado Khazzoom-Brookes

A probabilidade de estarmos errados ao rejeitarmos a hipótese H0 é a probabilidade de que, considerando uma distribuição binomial com probabilidade de sucesso p, não observemos x ocorrências em que  $dE/dt > 0$ , conforme detalhado no corpo da dissertação.

Foi adotado como critério rejeitar a hipótese  $H_0$  se o erro tipo I (probabilidade de rejeitar  $H_0$  sendo esta verdadeira) é menor que 5 %. O erro tipo I pode ser calculado pela seguinte expressão:

$$\text{Erro tipo I } (\alpha = P(H_1 \mid H_0)) = 1 - P(X \leq x - 1)$$

Com  $x$  sendo o número de vezes em que se observou  $dE/dt > 0$ . Observando que o experimento foi realizado para 30 tentativas e que a probabilidade de sucesso é  $p = 50\%$ :

$$P(X \leq x) = \sum_0^x (C_{30,x}) * (0,5)^{30}$$

Seguem-se as tabelas com os dados de consumo de energia primária, variações percentuais relativas no consumo ( $dE/dt$ ) e identificação dos anos em que estas variações foram positivas ( $dE/dt > 0$ ), juntamente com as conclusões relativas a cada um dos países estudados, considerando consumo de energia primária.

Alemanha- Energia Primária		Diferenças Relativas (dEt/dt)		Somatório de Sucessos
1972	319158,8			
1973	337882,66	1972-1973	5,87%	1
1974	331638,37	1973-1974	-1,85%	0
1975	316652,93	1974-1975	-4,52%	0
1976	341333,91	1975-1976	7,79%	1
1977	342285,87	1976-1977	0,28%	1
1978	353780,25	1977-1978	3,36%	1
1979	369590,25	1978-1979	4,47%	1
1980	360385,2	1979-1980	-2,49%	0
1981	348200,33	1980-1981	-3,38%	0
1982	336646,2	1981-1982	-3,32%	0
1983	336699,58	1982-1983	0,02%	1
1984	349620,44	1983-1984	3,84%	1
1985	360979,73	1984-1985	3,25%	1
1986	360765,24	1985-1986	-0,06%	0
1987	363748,61	1986-1987	0,83%	1
1988	366294,76	1987-1988	0,70%	1
1989	360355,03	1988-1989	-1,62%	0
1990	356221,02	1989-1990	-1,15%	0
1991	349221,88	1990-1991	-1,96%	0
1992	343025,77	1991-1992	-1,77%	0
1993	339936,04	1992-1993	-0,90%	0
1994	338680,43	1993-1994	-0,37%	0
1995	342387,5	1994-1995	1,09%	1
1996	353810,01	1995-1996	3,34%	1
1997	351161,95	1996-1997	-0,75%	0
1998	349205,94	1997-1998	-0,56%	0
1999	341714,63	1998-1999	-2,15%	0
2000	343550,04	1999-2000	0,54%	1
2001	353368,18	2000-2001	2,86%	1
2002	346351,52	2001-2002	-1,99%	0
				14

H0: os ganhos de eficiência energética *não* aceleram o crescimento no consumo de energia

H1: os ganhos de eficiência energética aceleram o crescimento no consumo de energia, o que nos leva a aceitar a validade do postulado Khazzoom-Brookes

$$\text{Erro tipo I } (\alpha = P(H1 \mid H_0)) = 1 - P(X \leq 13) = 1 - 0,29233 = 70,767 \%$$

Conclusão: aceitar H0.

Austrália - Energia Primária		Diferenças Relativas (dEt/dt)		Somatório de Sucessos
1972	53767,68			
1973	57619,27	1972-1973	7,16%	1
1974	59522,14	1973-1974	3,30%	1
1975	61020,1	1974-1975	2,52%	1
1976	62469,82	1975-1976	2,38%	1
1977	66934,44	1976-1977	7,15%	1
1978	67205,23	1977-1978	0,40%	1
1979	68694,37	1978-1979	2,22%	1
1980	70371,67	1979-1980	2,44%	1
1981	70805,11	1980-1981	0,62%	1
1982	73952,65	1981-1982	4,45%	1
1983	70926,11	1982-1983	-4,09%	0
1984	73112,56	1983-1984	3,08%	1
1985	73911,89	1984-1985	1,09%	1
1986	74996,13	1985-1986	1,47%	1
1987	78512,56	1986-1987	4,69%	1
1988	79889,95	1987-1988	1,75%	1
1989	85258,72	1988-1989	6,72%	1
1990	87536,22	1989-1990	2,67%	1
1991	86717,32	1990-1991	-0,94%	0
1992	88038,32	1991-1992	1,52%	1
1993	92722,07	1992-1993	5,32%	1
1994	92932,38	1993-1994	0,23%	1
1995	94376,57	1994-1995	1,55%	1
1996	100938,56	1995-1996	6,95%	1
1997	102248,31	1996-1997	1,30%	1
1998	103900,58	1997-1998	1,62%	1
1999	107501,67	1998-1999	3,47%	1
2000	109781,62	1999-2000	2,12%	1
2001	108346,91	2000-2001	-1,31%	0
2002	112712,43	2001-2002	4,03%	1

27

H0: os ganhos de eficiência energética *não* aceleram o crescimento no consumo de energia

H1: os ganhos de eficiência energética aceleram o crescimento no consumo de energia, o que nos leva a aceitar a validade do postulado Khazzoom-Brookes

Erro tipo I ( $\alpha = P(H1 \mid H_0) = 1 - P(X \leq 26) = 1 - 1 = 0,00000 = 0,000\%$ )

O erro tipo I para a Austrália é  $4,2 \cdot 10^{-6}$

Conclusão: rejeitar H0.

Canadá - Energia Primária		Diferenças Relativas (dEt/dt)		Somatório de Sucessos
1972	152958,82			
1973	159840,95	1972-1973	4,50%	1
1974	162255,03	1973-1974	1,51%	1
1975	166585,52	1974-1975	2,67%	1
1976	171720,48	1975-1976	3,08%	1
1977	176979,6	1976-1977	3,06%	1
1978	181783,33	1977-1978	2,71%	1
1979	190759,95	1978-1979	4,94%	1
1980	192999,85	1979-1980	1,17%	1
1981	188129,49	1980-1981	-2,52%	0
1982	181270,62	1981-1982	-3,65%	0
1983	179850,65	1982-1983	-0,78%	0
1984	189159,32	1983-1984	5,18%	1
1985	193364,02	1984-1985	2,22%	1
1986	196727,22	1985-1986	1,74%	1
1987	203338,29	1986-1987	3,36%	1
1988	211932,65	1987-1988	4,23%	1
1989	218038,18	1988-1989	2,88%	1
1990	209088,86	1989-1990	-4,10%	0
1991	208801,6	1990-1991	-0,14%	0
1992	213917,65	1991-1992	2,45%	1
1993	220872,79	1992-1993	3,25%	1
1994	228594,35	1993-1994	3,50%	1
1995	231742,33	1994-1995	1,38%	1
1996	237200,63	1995-1996	2,36%	1
1997	239696,19	1996-1997	1,05%	1
1998	237472,7	1997-1998	-0,93%	0
1999	244384,42	1998-1999	2,91%	1
2000	250905,9	1999-2000	2,67%	1
2001	248172,09	2000-2001	-1,09%	0
2002	250034,63	2001-2002	0,75%	1
				23

H0: os ganhos de eficiência energética *não* aceleram o crescimento no consumo de energia

H1: os ganhos de eficiência energética aceleram o crescimento no consumo de energia, o que nos leva a aceitar a validade do postulado Khazzoom-Brookes

$$\text{Erro tipo I } (\alpha = P(H1 \mid H_0)) = 1 - P(X \leq 22) = 1 - 0,99739 = 0,00261 = 0,261 \%$$

Conclusão: rejeitar H0.

Dinamarca- Energia Primária		Diferenças Relativas (dEt/dt)		Somatório de Sucessos
1972	20091,63			
1973	19834,45	1972-1973	-1,28%	0
1974	18146,04	1973-1974	-8,51%	0
1975	18093,64	1974-1975	-0,29%	0
1976	19629,94	1975-1976	8,49%	1
1977	20155,93	1976-1977	2,68%	1
1978	20602,85	1977-1978	2,22%	1
1979	21293,76	1978-1979	3,35%	1
1980	19782,67	1979-1980	-7,10%	0
1981	17893,87	1980-1981	-9,55%	0
1982	18104,45	1981-1982	1,18%	1
1983	17099,81	1982-1983	-5,55%	0
1984	17739,68	1983-1984	3,74%	1
1985	19892,9	1984-1985	12,14%	1
1986	20172,43	1985-1986	1,41%	1
1987	20234,22	1986-1987	0,31%	1
1988	19374,08	1987-1988	-4,25%	0
1989	17750,61	1988-1989	-8,38%	0
1990	17580,8	1989-1990	-0,96%	0
1991	19759,05	1990-1991	12,39%	1
1992	18933,11	1991-1992	-4,18%	0
1993	19473,27	1992-1993	2,85%	1
1994	20238,19	1993-1994	3,93%	1
1995	20051,48	1994-1995	-0,92%	0
1996	22611,84	1995-1996	12,77%	1
1997	21038,36	1996-1997	-6,96%	0
1998	20787,36	1997-1998	-1,19%	0
1999	19996,4	1998-1999	-3,81%	0
2000	19413,84	1999-2000	-2,91%	0
2001	20013,26	2000-2001	3,09%	1
2002	19749,04	2001-2002	-1,32%	0
				14

H0: os ganhos de eficiência energética *não* aceleram o crescimento no consumo de energia

H1: os ganhos de eficiência energética aceleram o crescimento no consumo de energia, o que nos leva a aceitar a validade do postulado Khazzoom-Brookes

$$\text{Erro tipo I } (\alpha = P(H1 \mid H_0)) = 1 - P(X \leq 13) = 1 - 0,29233 = 0,70767 = 70,767 \%$$

Conclusão: aceitar H0.

EUA- Energia Primária		Diferenças Relativas (dEt/dt)		Somatório de Sucessos
1972	1672983,27			
1973	1736447,42	1972-1973	3,79%	1
1974	1697792	1973-1974	-2,23%	0
1975	1660545,01	1974-1975	-2,19%	0
1976	1773488,56	1975-1976	6,80%	1
1977	1833685,38	1976-1977	3,39%	1
1978	1885161,01	1977-1978	2,81%	1
1979	1881204,79	1978-1979	-0,21%	0
1980	1811648,09	1979-1980	-3,70%	0
1981	1761646,48	1980-1981	-2,76%	0
1982	1688123,66	1981-1982	-4,17%	0
1983	1689860,98	1982-1983	0,10%	1
1984	1762570,04	1983-1984	4,30%	1
1985	1781406,28	1984-1985	1,07%	1
1986	1782548,34	1985-1986	0,06%	1
1987	1858726,18	1986-1987	4,27%	1
1988	1931874,19	1987-1988	3,94%	1
1989	1960391,36	1988-1989	1,48%	1
1990	1927637,89	1989-1990	-1,67%	0
1991	1943381,89	1990-1991	0,82%	1
1992	1981778,6	1991-1992	1,98%	1
1993	2021286,26	1992-1993	1,99%	1
1994	2062271,5	1993-1994	2,03%	1
1995	2088516,61	1994-1995	1,27%	1
1996	2140876,08	1995-1996	2,51%	1
1997	2163829,87	1996-1997	1,07%	1
1998	2181971,36	1997-1998	0,84%	1
1999	2242324,82	1998-1999	2,77%	1
2000	2302621,78	1999-2000	2,69%	1
2001	2253899,54	2000-2001	-2,12%	0
2002	2290409,73	2001-2002	1,62%	1
				22

H0: os ganhos de eficiência energética *não* aceleram o crescimento no consumo de energia

H1: os ganhos de eficiência energética aceleram o crescimento no consumo de energia, o que nos leva a aceitar a validade do postulado Khazzoom-Brookes

$$\text{Erro tipo I } (\alpha = P(H1 \mid H_0)) = 1 - P(X \leq 21) = 1 - 0,99194 = 0,00806 = 0,806 \%$$

Conclusão: rejeitar H0.

Finlândia- Energia Primária		Diferenças Relativas (dEt/dt)	Somatório de Sucessos	
1972	19722,12			
1973	21346,14	1972-1973	8,23%	1
1974	20869,73	1973-1974	-2,23%	0
1975	20050,02	1974-1975	-3,93%	0
1976	21441,33	1975-1976	6,94%	1
1977	21764,43	1976-1977	1,51%	1
1978	22881,22	1977-1978	5,13%	1
1979	24416,56	1978-1979	6,71%	1
1980	25412,76	1979-1980	4,08%	1
1981	24410,73	1980-1981	-3,94%	0
1982	23843,56	1981-1982	-2,32%	0
1983	24086,45	1982-1983	1,02%	1
1984	24602,65	1983-1984	2,14%	1
1985	26503,75	1984-1985	7,73%	1
1986	27613,09	1985-1986	4,19%	1
1987	30142,58	1986-1987	9,16%	1
1988	28371,3	1987-1988	-5,88%	0
1989	29301,33	1988-1989	3,28%	1
1990	29170,74	1989-1990	-0,45%	0
1991	29582,24	1990-1991	1,41%	1
1992	27826,64	1991-1992	-5,93%	0
1993	29139,25	1992-1993	4,72%	1
1994	31081,96	1993-1994	6,67%	1
1995	29631,79	1994-1995	-4,67%	0
1996	32129,27	1995-1996	8,43%	1
1997	33060,63	1996-1997	2,90%	1
1998	33454,63	1997-1998	1,19%	1
1999	33350,11	1998-1999	-0,31%	0
2000	32993,2	1999-2000	-1,07%	0
2001	33864,15	2000-2001	2,64%	1
2002	35622,21	2001-2002	5,19%	1
20				

H0: os ganhos de eficiência energética *não* aceleram o crescimento no consumo de energia

H1: os ganhos de eficiência energética aceleram o crescimento no consumo de energia, o que nos leva a aceitar a validade do postulado Khazzoom-Brookes

$$\text{Erro tipo I } (\alpha = P(H1 \mid H_0)) = 1 - P(X \leq 19) = 1 - 0,95063 = 0,04937 = 4,937 \%$$

Conclusão: rejeitar H0.

França- Energia Primária		Diferenças Relativas (dEt/dt)		Somatório de Sucessos
1972	171496,37			
1973	184650,25	1972-1973	7,67%	1
1974	178697,26	1973-1974	-3,22%	0
1975	169109,74	1974-1975	-5,37%	0
1976	180119,9	1975-1976	6,51%	1
1977	176874,53	1976-1977	-1,80%	0
1978	186138,04	1977-1978	5,24%	1
1979	193894,03	1978-1979	4,17%	1
1980	193567,24	1979-1980	-0,17%	0
1981	189202,56	1980-1981	-2,25%	0
1982	184695,53	1981-1982	-2,38%	0
1983	189555,07	1982-1983	2,63%	1
1984	196334,15	1983-1984	3,58%	1
1985	206113,7	1984-1985	4,98%	1
1986	209547,03	1985-1986	1,67%	1
1987	214923,79	1986-1987	2,57%	1
1988	214231,51	1987-1988	-0,32%	0
1989	223186,86	1988-1989	4,18%	1
1990	227275,7	1989-1990	1,83%	1
1991	240155,49	1990-1991	5,67%	1
1992	236293,6	1991-1992	-1,61%	0
1993	240466,74	1992-1993	1,77%	1
1994	231405,88	1993-1994	-3,77%	0
1995	240784,69	1994-1995	4,05%	1
1996	254205,95	1995-1996	5,57%	1
1997	246787,48	1996-1997	-2,92%	0
1998	254825,03	1997-1998	3,26%	1
1999	255110,46	1998-1999	0,11%	1
2000	257572,84	1999-2000	0,97%	1
2001	266369,69	2000-2001	3,42%	1
2002	265880,57	2001-2002	-0,18%	0
				19

H0: os ganhos de eficiência energética *não* aceleram o crescimento no consumo de energia

H1: os ganhos de eficiência energética aceleram o crescimento no consumo de energia, o que nos leva a aceitar a validade do postulado Khazzoom-Brookes

$$\text{Erro tipo I } (\alpha = P(H1 \mid H_0)) = 1 - P(X \leq 18) = 1 - 0,89976 = 0,10024 = 10,024 \%$$

Conclusão: aceitar H0.

Holanda- Energia Primária		Diferenças Relativas (dEt/dt)		Somatório de Sucessos
1972	58807,3			
1973	62443,34	1972-1973	6,18%	1
1974	61452,09	1973-1974	-1,59%	0
1975	59528,23	1974-1975	-3,13%	0
1976	65601,54	1975-1976	10,20%	1
1977	63657,02	1976-1977	-2,96%	0
1978	65447,89	1977-1978	2,81%	1
1979	68934,65	1978-1979	5,33%	1
1980	64984,49	1979-1980	-5,73%	0
1981	61518,73	1980-1981	-5,33%	0
1982	54864,43	1981-1982	-10,82%	0
1983	57270,4	1982-1983	4,39%	1
1984	60509,57	1983-1984	5,66%	1
1985	61533,39	1984-1985	1,69%	1
1986	63800,01	1985-1986	3,68%	1
1987	65263,39	1986-1987	2,29%	1
1988	64718,79	1987-1988	-0,83%	0
1989	65158,71	1988-1989	0,68%	1
1990	66491,47	1989-1990	2,05%	1
1991	70331,51	1990-1991	5,78%	1
1992	69602,17	1991-1992	-1,04%	0
1993	70283,48	1992-1993	0,98%	1
1994	70788,1	1993-1994	0,72%	1
1995	72148,27	1994-1995	1,92%	1
1996	75211,84	1995-1996	4,25%	1
1997	73954,42	1996-1997	-1,67%	0
1998	74290,91	1997-1998	0,45%	1
1999	73509,4	1998-1999	-1,05%	0
2000	75484,62	1999-2000	2,69%	1
2001	77275,39	2000-2001	2,37%	1
2002	77923,47	2001-2002	0,84%	1
				20

H0: os ganhos de eficiência energética *não* aceleram o crescimento no consumo de energia

H1: os ganhos de eficiência energética aceleram o crescimento no consumo de energia, o que nos leva a aceitar a validade do postulado Khazzoom-Brookes

$$\text{Erro tipo I } (\alpha = P(H1 \mid H_0)) = 1 - P(X \leq 19) = 1 - 0,95063 = 0,04937 = 4,937 \%$$

Conclusão: rejeitar H0.

Itália- Energia Primária		Diferenças Relativas (dEt/dt)	Somatório de Sucessos	
1972	120838,47			
1973	128930,39	1972-1973	6,70%	1
1974	131061,28	1973-1974	1,65%	1
1975	124241,76	1974-1975	-5,20%	0
1976	134355,68	1975-1976	8,14%	1
1977	131757,92	1976-1977	-1,93%	0
1978	135175,87	1977-1978	2,59%	1
1979	141106,13	1978-1979	4,39%	1
1980	139010,74	1979-1980	-1,48%	0
1981	135937,54	1980-1981	-2,21%	0
1982	132126,42	1981-1982	-2,80%	0
1983	131750,38	1982-1983	-0,28%	0
1984	134485,31	1983-1984	2,08%	1
1985	136164,79	1984-1985	1,25%	1
1986	138303,87	1985-1986	1,57%	1
1987	141992,2	1986-1987	2,67%	1
1988	145452,56	1987-1988	2,44%	1
1989	151620,63	1988-1989	4,24%	1
1990	152552,59	1989-1990	0,61%	1
1991	156831,17	1990-1991	2,80%	1
1992	156436,53	1991-1992	-0,25%	0
1993	154612,75	1992-1993	-1,17%	0
1994	152808,25	1993-1994	-1,17%	0
1995	160884,54	1994-1995	5,29%	1
1996	160404,45	1995-1996	-0,30%	0
1997	162777,42	1996-1997	1,48%	1
1998	167404,77	1997-1998	2,84%	1
1999	170540,94	1998-1999	1,87%	1
2000	171729,74	1999-2000	0,70%	1
2001	172597,96	2000-2001	0,51%	1
2002	172719,77	2001-2002	0,07%	1
				20

H0: os ganhos de eficiência energética *não* aceleram o crescimento no consumo de energia

H1: os ganhos de eficiência energética aceleram o crescimento no consumo de energia, o que nos leva a aceitar a validade do postulado Khazzoom-Brookes

$$\text{Erro tipo I } (\alpha = P(H1 \mid H_0)) = 1 - P(X \leq 19) = 1 - 0,95063 = 0,04937 = 4,937 \%$$

Conclusão: rejeitar H0.

Japão - Energia Primária		Diferenças Relativas (dEt/dt)		Somatório de Sucessos
1972	288113,5			
1973	323540,86	1972-1973	12,30%	1
1974	324967,98	1973-1974	0,44%	1
1975	308179,02	1974-1975	-5,17%	0
1976	327151,56	1975-1976	6,16%	1
1977	332816,99	1976-1977	1,73%	1
1978	335399,32	1977-1978	0,78%	1
1979	354573,6	1978-1979	5,72%	1
1980	346449,05	1979-1980	-2,29%	0
1981	337546,96	1980-1981	-2,57%	0
1982	338098,24	1981-1982	0,16%	1
1983	338497,13	1982-1983	0,12%	1
1984	364101,93	1983-1984	7,56%	1
1985	364815,43	1984-1985	0,20%	1
1986	369267,3	1985-1986	1,22%	1
1987	374010,8	1986-1987	1,28%	1
1988	400306,52	1987-1988	7,03%	1
1989	415762,55	1988-1989	3,86%	1
1990	445915,8	1989-1990	7,25%	1
1991	451478,84	1990-1991	1,25%	1
1992	461087,78	1991-1992	2,13%	1
1993	463662,57	1992-1993	0,56%	1
1994	490261,66	1993-1994	5,74%	1
1995	500061,3	1994-1995	2,00%	1
1996	513284,6	1995-1996	2,64%	1
1997	518918,48	1996-1997	1,10%	1
1998	513614,85	1997-1998	-1,02%	0
1999	516404,69	1998-1999	0,54%	1
2000	521631,61	1999-2000	1,01%	1
2001	517012,91	2000-2001	-0,89%	0
2002	516927,16	2001-2002	-0,02%	0
				24

H0: os ganhos de eficiência energética *não* aceleram o crescimento no consumo de energia

H1: os ganhos de eficiência energética aceleram o crescimento no consumo de energia, o que nos leva a aceitar a validade do postulado Khazzoom-Brookes

$$\text{Erro tipo I } (\alpha = P(H1 \mid H_0)) = 1 - P(X \leq 23) = 1 - 0,99928 = -0,00072 = 0,072 \%$$

Conclusão: rejeitar H0.

Noruega- Energia Primária		Diferenças Relativas (dEt/dt)		Somatório de Sucessos
1972	13620,28			
1973	14133,39	1972-1973	3,77%	1
1974	14634,02	1973-1974	3,54%	1
1975	14502,56	1974-1975	-0,90%	0
1976	14857,25	1975-1976	2,45%	1
1977	16196,25	1976-1977	9,01%	1
1978	16709,73	1977-1978	3,17%	1
1979	17970,22	1978-1979	7,54%	1
1980	18487,91	1979-1980	2,88%	1
1981	18652,84	1980-1981	0,89%	1
1982	18441,09	1981-1982	-1,14%	0
1983	17831,41	1982-1983	-3,31%	0
1984	18605,95	1983-1984	4,34%	1
1985	19679,65	1984-1985	5,77%	1
1986	20362,33	1985-1986	3,47%	1
1987	21346,59	1986-1987	4,83%	1
1988	21668,31	1987-1988	1,51%	1
1989	20776,87	1988-1989	-4,11%	0
1990	21581,52	1989-1990	3,87%	1
1991	21491,98	1990-1991	-0,41%	0
1992	22187,62	1991-1992	3,24%	1
1993	22551,34	1992-1993	1,64%	1
1994	23954,53	1993-1994	6,22%	1
1995	23509,01	1994-1995	-1,86%	0
1996	23863,32	1995-1996	1,51%	1
1997	23215,01	1996-1997	-2,72%	0
1998	24593,47	1997-1998	5,94%	1
1999	25541,44	1998-1999	3,85%	1
2000	26842,91	1999-2000	5,10%	1
2001	25792,48	2000-2001	-3,91%	0
2002	26448,38	2001-2002	2,54%	1
	26515,29			22

H0: os ganhos de eficiência energética *não* aceleram o crescimento no consumo de energia

H1: os ganhos de eficiência energética aceleram o crescimento no consumo de energia, o que nos leva a aceitar a validade do postulado Khazzoom-Brookes

$$\text{Erro tipo I } (\alpha = P(H1 \mid H_0)) = 1 - P(X \leq 21) = 1 - 0,99194 = 0,00806 = 0,806 \%$$

Conclusão: aceitar H0.

Nova Zelândia- Energia Primária		Diferenças Relativas (dEt/dt)		Somatório de Sucessos
1972	7960,58			
1973	8269,5	1972-1973	3,88%	1
1974	9139,31	1973-1974	10,52%	1
1975	8926,35	1974-1975	-2,33%	0
1976	9502,14	1975-1976	6,45%	1
1977	9936,76	1976-1977	4,57%	1
1978	9659,03	1977-1978	-2,79%	0
1979	9048,08	1978-1979	-6,33%	0
1980	9212,22	1979-1980	1,81%	1
1981	9121,37	1980-1981	-0,99%	0
1982	9721,84	1981-1982	6,58%	1
1983	10051,48	1982-1983	3,39%	1
1984	10765,6	1983-1984	7,10%	1
1985	11497,05	1984-1985	6,79%	1
1986	11593,88	1985-1986	0,84%	1
1987	11766,65	1986-1987	1,49%	1
1988	12296,89	1987-1988	4,51%	1
1989	13289,15	1988-1989	8,07%	1
1990	13913,53	1989-1990	4,70%	1
1991	14212,14	1990-1991	2,15%	1
1992	14817,57	1991-1992	4,26%	1
1993	15119,12	1992-1993	2,04%	1
1994	15537,03	1993-1994	2,76%	1
1995	16040,74	1994-1995	3,24%	1
1996	16909,48	1995-1996	5,42%	1
1997	17548,05	1996-1997	3,78%	1
1998	17194,41	1997-1998	-2,02%	0
1999	17888,18	1998-1999	4,03%	1
2000	17927,43	1999-2000	0,22%	1
2001	18092,79	2000-2001	0,92%	1
2002	18012,62	2001-2002	-0,44%	0
				24

H0: os ganhos de eficiência energética *não* aceleram o crescimento no consumo de energia

H1: os ganhos de eficiência energética aceleram o crescimento no consumo de energia, o que nos leva a aceitar a validade do postulado Khazzoom-Brookes

$$\text{Erro tipo I } (\alpha = P(H1 \mid H_0)) = 1 - P(X \leq 23) = 1 - 0,99928 = 0,00072 = 0,072 \%$$

Conclusão: rejeitar H0.

Reino Unido- Energia Primária		Diferenças Relativas (dEt/dt)		Somatório de Sucessos
1972	212746,07			
1973	220720,03	1972-1973	3,75%	1
1974	212283,6	1973-1974	-3,82%	0
1975	201800,75	1974-1975	-4,94%	0
1976	205775,47	1975-1976	1,97%	1
1977	210228,01	1976-1977	2,16%	1
1978	209345,02	1977-1978	-0,42%	0
1979	219980,54	1978-1979	5,08%	1
1980	201284,45	1979-1980	-8,50%	0
1981	194186,42	1980-1981	-3,53%	0
1982	193345,44	1981-1982	-0,43%	0
1983	193023,8	1982-1983	-0,17%	0
1984	192864,01	1983-1984	-0,08%	0
1985	203902,12	1984-1985	5,72%	1
1986	207335,99	1985-1986	1,68%	1
1987	209246,34	1986-1987	0,92%	1
1988	211231,6	1987-1988	0,95%	1
1989	211019,79	1988-1989	-0,10%	0
1990	212175,55	1989-1990	0,55%	1
1991	218741,55	1990-1991	3,09%	1
1992	218430,84	1991-1992	-0,14%	0
1993	220857,96	1992-1993	1,11%	1
1994	227602,12	1993-1994	3,05%	1
1995	223179,28	1994-1995	-1,94%	0
1996	233167,51	1995-1996	4,48%	1
1997	227188,99	1996-1997	-2,56%	0
1998	230274,4	1997-1998	1,36%	1
1999	231747,9	1998-1999	0,64%	1
2000	231133,23	1999-2000	-0,27%	0
2001	234406,31	2000-2001	1,42%	1
2002	226508,24	2001-2002	-3,37%	0
				16

H0: os ganhos de eficiência energética *não* aceleram o crescimento no consumo de energia

H1: os ganhos de eficiência energética aceleram o crescimento no consumo de energia, o que nos leva a aceitar a validade do postulado Khazzoom-Brookes

$$\text{Erro tipo I } (\alpha = P(H1 \mid H_0)) = 1 - P(X \leq 15) = 1 - 0,57223 = 0,42777 = 42,777 \%$$

Conclusão: aceitar H0.

Suécia- Energia Primária		Diferenças Relativas (dEt/dt)		Somatório de Sucessos
1972	37227,74			
1973	39323,53	1972-1973	5,63%	1
1974	37229,12	1973-1974	-5,33%	0
1975	39488,07	1974-1975	6,07%	1
1976	42855,94	1975-1976	8,53%	1
1977	42208	1976-1977	-1,51%	0
1978	41088,73	1977-1978	-2,65%	0
1979	42902,27	1978-1979	4,41%	1
1980	39910,91	1979-1980	-6,97%	0
1981	41938,67	1980-1981	5,08%	1
1982	40277,1	1981-1982	-3,96%	0
1983	40683,58	1982-1983	1,01%	1
1984	43010,33	1983-1984	5,72%	1
1985	46706,51	1984-1985	8,59%	1
1986	48603,17	1985-1986	4,06%	1
1987	47782,9	1986-1987	-1,69%	0
1988	48904,84	1987-1988	2,35%	1
1989	46918,53	1988-1989	-4,06%	0
1990	46657,86	1989-1990	-0,56%	0
1991	48185,68	1990-1991	3,27%	1
1992	46016,17	1991-1992	-4,50%	0
1993	46142,51	1992-1993	0,27%	1
1994	49416,1	1993-1994	7,09%	1
1995	50003,84	1994-1995	1,19%	1
1996	51096,51	1995-1996	2,19%	1
1997	49753,81	1996-1997	-2,63%	0
1998	50732,46	1997-1998	1,97%	1
1999	50423,67	1998-1999	-0,61%	0
2000	47499,31	1999-2000	-5,80%	0
2001	51192,18	2000-2001	7,77%	1
2002	51030,8	2001-2002	-0,32%	0
				17

H0: os ganhos de eficiência energética *não* aceleram o crescimento no consumo de energia

H1: os ganhos de eficiência energética aceleram o crescimento no consumo de energia, o que nos leva a aceitar a validade do postulado Khazzoom-Brookes

$$\text{Erro tipo I } (\alpha = P(H1 \mid H_0)) = 1 - P(X \leq 16) = 1 - 0,70767 = 0,29233 = 29,233 \%$$

Conclusão: aceitar H0.

## **12 APÊNDICE 4: TABELAS REFERENTES À APLICAÇÃO DA ANÁLISE EMPÍRICA PARA O BRASIL: CRITÉRIOS DA ENERGIA FINAL E PRIMÁRIA**

Neste apêndice são apresentadas as tabelas utilizadas para análise empírica do Brasil a partir do modelo utilizado na dissertação. Os dados de consumo de energia final e primária foram extraídos da base de dados da OCDE. Maiores detalhes sobre a forma de utilização do teste de hipóteses podem ser encontrados nos Apêndices 2 e 3.

Brasil - Energia Final		Diferenças Relativas (dEt/dt)		Somatório de Sucessos
1972	67199,5			
1973	72980,67	1972-1973	8,60%	1
1974	77455,03	1973-1974	6,13%	1
1975	80051,4	1974-1975	3,35%	1
1976	84647,24	1975-1976	5,74%	1
1977	86791,1	1976-1977	2,53%	1
1978	90827,35	1977-1978	4,65%	1
1979	95863,99	1978-1979	5,55%	1
1980	96486,62	1979-1980	0,65%	1
1981	92920,63	1980-1981	-3,70%	0
1982	94089,09	1981-1982	1,26%	1
1983	94582,46	1982-1983	0,52%	1
1984	98197,29	1983-1984	3,82%	1
1985	102916,46	1984-1985	4,81%	1
1986	108625,59	1985-1986	5,55%	1
1987	112289,95	1986-1987	3,37%	1
1988	113606,9	1987-1988	1,17%	1
1989	115430,37	1988-1989	1,61%	1
1990	112774,32	1989-1990	-2,30%	0
1991	114145,3	1990-1991	1,22%	1
1992	115743,06	1991-1992	1,40%	1
1993	119113,5	1992-1993	2,91%	1
1994	125572,36	1993-1994	5,42%	1
1995	131006,51	1994-1995	4,33%	1
1996	137759,29	1995-1996	5,15%	1
1997	145436,33	1996-1997	5,57%	1
1998	150629,37	1997-1998	3,57%	1
1999	154217,56	1998-1999	2,38%	1
2000	156569,29	1999-2000	1,52%	1
2001	156254,04	2000-2001	-0,20%	0
2002	159934,07	2001-2002	2,36%	1

27

H0: os ganhos de eficiência energética *não* aceleram o crescimento no consumo de energia

H1: os ganhos de eficiência energética aceleram o crescimento no consumo de energia, o que nos leva a aceitar a validade do postulado Khazzoom-Brookes

$$\text{Erro tipo I } (\alpha = P(H1 \mid H_0)) = 1 - P(X \leq 26) = 4,21 \cdot 10^{-6}$$

Conclusão: rejeitar H0 para o critério de energia final.

Brasil - Energia Primária		Diferenças Relativas (dEt/dt)		Somatório de Sucessos
1972	74965,97			
1973	82043,8	1972-1973	9,44%	1
1974	86490,7	1973-1974	5,42%	1
1975	91006,01	1974-1975	5,22%	1
1976	95634,78	1975-1976	5,09%	1
1977	98583,36	1976-1977	3,08%	1
1978	103930,64	1977-1978	5,42%	1
1979	109715,09	1978-1979	5,57%	1
1980	111890,07	1979-1980	1,98%	1
1981	106801,94	1980-1981	-4,55%	0
1982	107635,37	1981-1982	0,78%	1
1983	109776,96	1982-1983	1,99%	1
1984	116048,46	1983-1984	5,71%	1
1985	122875,9	1984-1985	5,88%	1
1986	129640,08	1985-1986	5,50%	1
1987	133472,3	1986-1987	2,96%	1
1988	135940,44	1987-1988	1,85%	1
1989	138295,66	1988-1989	1,73%	1
1990	133530,62	1989-1990	-3,45%	0
1991	135401,58	1990-1991	1,40%	1
1992	137282,17	1991-1992	1,39%	1
1993	141360,16	1992-1993	2,97%	1
1994	148650,41	1993-1994	5,16%	1
1995	154522,3	1994-1995	3,95%	1
1996	162856,14	1995-1996	5,39%	1
1997	171204,3	1996-1997	5,13%	1
1998	176905,35	1997-1998	3,33%	1
1999	182301,71	1998-1999	3,05%	1
2000	185627,68	1999-2000	1,82%	1
2001	186723,61	2000-2001	0,59%	1
2002	190664,04	2001-2002	2,11%	1
				28

H0: os ganhos de eficiência energética *não* aceleram o crescimento no consumo de energia

H1: os ganhos de eficiência energética aceleram o crescimento no consumo de energia, o que nos leva a aceitar a validade do postulado Khazzoom-Brookes

$$\text{Erro tipo I } (\alpha = P(H1 \mid H_0)) = 1 - P(X \leq 27) = 4,34 \cdot 10^{-7}$$

Conclusão: rejeitar H0 para o critério de energia primária.