

ISSN 1984-5588

**Secretaria do Planejamento, Governança e Gestão**  
**Fundação de Economia e Estatística Siegfried Emanuel Heuser**

## **Textos Para Discussão FEE**

**Texto n.º 155**

**Um ensaio sobre energia útil para o Brasil e o Rio Grande do  
Sul — 1984-2014**

**Jaques Alberto Bensussan**

**Porto Alegre, setembro de 2017**



## SECRETARIA DE PLANEJAMENTO, GOVERNANÇA E GESTÃO



**Fundação de  
Economia e  
Estatística**

**DIRETORIA**

**Presidente:** José Reovaldo Oltramari

**Diretor Técnico:** Martinho Roberto Lazzari

### **CENTROS**

**Estudos Econômicos e Sociais:** Vanclei Zanin

**Pesquisa de Emprego e Desemprego:** Rafael Bassegio Caumo

**Indicadores Econômicos e Sociais:** Juarez Meneghetti

**Informática:** Valter Helmuth Goldberg Junior

**Informação e Comunicação:** Susana Kerschner

**Recursos:** Graziela Brandini de Castro

## **TEXTOS PARA DISCUSSÃO**

Publicação cujo objetivo é divulgar resultados de estudos direta ou indiretamente desenvolvidos pela FEE, ou de interesse da instituição, os quais, por sua relevância, levam informações para profissionais especializados e estabelecem um espaço para sugestões. Todas as contribuições recebidas passam, necessariamente, por avaliação de admissibilidade e por análise por pares. As opiniões emitidas nesta publicação são de exclusiva e inteira responsabilidade do (s) autor (es), não exprimindo, necessariamente, o ponto de vista da Fundação de Economia e Estatística.

É permitida a reprodução deste texto e dos dados nele contidos, desde que citada a fonte.

Reproduções para fins comerciais são proibidas.

<http://www.fee.rs.gov.br/textos-para-discussao>

# Um ensaio sobre energia útil para o Brasil e o Rio Grande do Sul — 1984-2014\*

Jaques Alberto Bensussan\*\*

Pesquisador em Economia da FEE

## Resumo

O presente estudo parte do significado de diversos conceitos que envolvem a energia útil e de outros, tais como: rendimentos, relação insumo-produto, potencial de economia de energia, progresso tecnológico, estrutura da energia útil, entre outros. Em adição, foram desenvolvidos os modelos de análise que possibilitaram os cálculos das variáveis contidas nos próprios conceitos, para o Brasil e para o Rio Grande do Sul, para os anos 1984, 1994 e 2004 — resultantes da pesquisa do Ministério de Minas e Energia (MME) com a Fundação Para o Desenvolvimento Tecnológico da Engenharia (FDTE) — ampliados, neste estudo, para os anos 2010 e de 2014. Os resultados e conclusões buscarão explicar as diferenças e semelhanças dos dois espaços considerados, Brasil e Rio Grande do Sul, em relação à estrutura de suas matrizes energéticas, com rendimentos mais elevados para o Brasil. Por fim, introduz-se o Balanço de Energia Útil dos Estados Unidos para 2015, comparando-o com o do Brasil e o do Rio Grande do Sul, ambos para 2014, mostrando o porquê das diferenças, decorrentes, sobretudo, da grande dependência dos Estados Unidos do carvão e do gás natural para a geração de eletricidade.

## Palavras-chave

**Energia útil; progresso tecnológico; potencial de economia de energia**

## Abstract

This study considers the meaning of various concepts involving useful energy and others, such as yields, input-output ratio, energy saving potential, technological progress, useful energy structure, among others. Moreover, the analysis models were developed to allow the calculation of the variables contained in the concepts themselves, for Brazil and the State of Rio Grande do Sul, for the years 1984, 1994 and 2004 — obtained from the joint research of the Ministry of Mines and Energy (MME) and the Foundation for the Technological Development of Engineering (FDTE) — and expanded for 2010 and 2014. The results and the conclusions seek to explain the differences and the similarities between the two spaces considered, Brazil and Rio Grande do Sul, in relation to the structure of their energy matrix, and the higher yields in Brazil. Finally, the Useful Energy Balance for the United States, for 2015, is introduced and compared with those of Brazil and Rio Grande do Sul, both for 2014, showing the reasons for the differences, which are mainly related to the great dependence of the U.S. on coal and natural gas to generate electricity.

## Keywords

**Useful Energy; Technological Progress; Energy Saving Potential**

## Classificação JEL: O13, P18, Q41, Q42, Q48

---

\* Agradecimentos aos colaboradores: Gilberto José Capeletto e Gustavo Humberto Zanchi de Moura.  
Agradecimentos históricos: João Carlos Felix, Antonio Augusto Grillo Elesbão, Sérgio Dias e Regina Telli.  
Revisora de Língua Portuguesa: Tatiana Zismann.

\*\* E-mail: jaques@fee.tche.br

*“Muitas pessoas dizem que é o intelecto que faz um grande cientista. Estão erradas: é o caráter.”  
Einstein*

## Introdução

A importância do estudo da energia útil não se resume ao fato, tão somente, de ela poder prestar o mesmo serviço com uma quantidade demandada menor de insumos energéticos, o que preserva reservas energéticas, aumentando sua vida útil, diminuindo impactos ambientais, o que melhora a qualidade de vida, ou a contenção dos gases do efeito estufa, que se reflete na saúde ou nas mudanças climáticas, tema controverso, ou por que é na passagem da demanda final para a energia útil que se concentram o grosso das perdas energéticas.

Diante de tamanhos desafios, é justamente neste momento que a pesquisa científica e tecnológica deve avançar, depois de um longo período de inércia quanto à inovação, no sentido de quebrar paradigmas de uma era em que apenas se aumentam os rendimentos das tecnologias vigentes, que pode representar uma ajuda, mas não é suficiente.

É preciso ir além da tendência, limitada pelos rendimentos de referência<sup>1</sup>, pois é mais recentemente que se discute a questão da sustentabilidade, contexto em que se fala em veículo elétrico para substituir o de gasolina e o de diesel, mas essa eletricidade não pode ser gerada a partir da queima de fósseis e sim da energia solar, eólica, geotermia e outras renováveis o que está a implicar em intensas pesquisas, cujos resultados serão, por certo, o limiar de uma nova era, mais saudável, marcada pela configuração de uma oferta mais atomizada, a preços competitivos, dentro da ideia da destruição criadora<sup>2</sup> do capital da velha era. O novo capital, proporcionará um ciclo ascendente de grandes proporções. Não se trata apenas da inovação do produto ou do seu processo, é isso, mas, neste caso, poderá ser muito mais, poderá significar o fim da era-petróleo e o limiar de uma nova era. É uma revolução.

## Algo sobre a demanda final

A energia primária<sup>3</sup>, às vezes é consumida diretamente em nível de demanda final<sup>4</sup>, como a lenha. Na maioria dos casos, é processada<sup>5</sup>, inclusive em até mais de uma vez, para ser consumida no fluxo denomi-

---

<sup>1</sup> Rendimento de referência, que seria o limite para o qual tenderiam os rendimentos de eficiência energética observados, contemplando o estado da arte.

<sup>2</sup> Destruição criadora, termo cunhado por Joseph Schumpeter, em **Capitalismo, Socialismo e Democracia** (1942) é "o processo de destruição criadora". Escreveu Schumpeter em letras maiúsculas: "[...] é o fato essencial do capitalismo", com o seu protagonista central do empresário inovador.

<sup>3</sup> Conforme definição do balanço energético do Rio grande do Sul, energia primária são energéticos providos pela natureza na sua forma direta, como petróleo, gás natural, carvão mineral, resíduos vegetais e animais, energia eólica, energia solar, etc.

<sup>4</sup> Energia final, demanda final ou consumo final caracteriza o consumo dos diversos setores de atividades socioeconômicas, abarcando-os, e que são: o consumo final do setor energético, o consumo final residencial, o consumo final comercial, o consumo final público, o consumo final agropecuário, o consumo em transportes total (que abarca o rodoviário, ferroviário, aéreo e hidroviário), o consumo final industrial total (especificados em diversos ramos da indústria) e o consumo não identificado.

<sup>5</sup> O processamento agrupa os centros de transformação, em que se processa energia primária ou secundária, originando seus derivados para o consumo final. Dividem-se em dois grupos: os centros de transformação, que incluem as refinarias de petróleo, plantas de gás natural, usinas de gaseificação, coquearias, ciclo do combustível nuclear, centrais elétricas de serviço público e autopro-

nado, demanda final (energia final), como o petróleo, que se transforma em seus derivados para usos variados, como a gasolina ou a energia hidráulica, que se transforma em eletricidade. Para uma visão detalhada, ver o capítulo Metodologia e Conceituação de qualquer Balanço Energético do Brasil ou do Rio Grande do Sul.

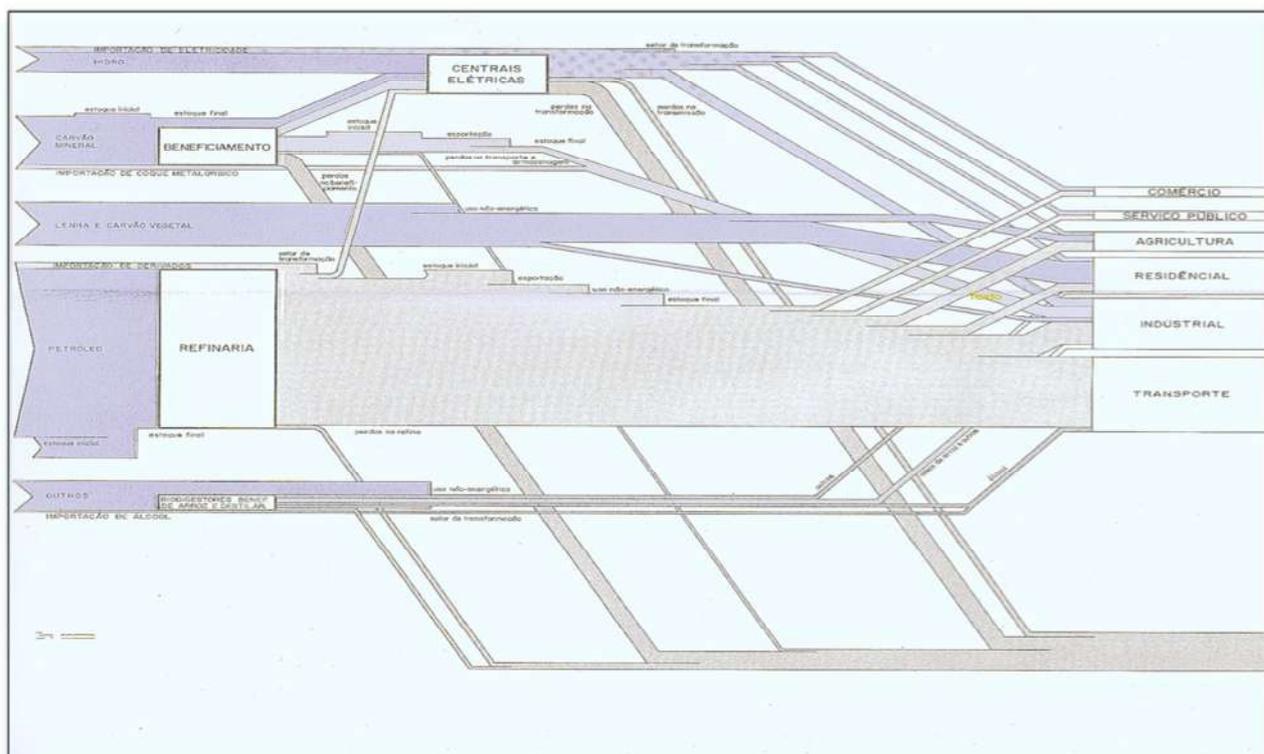
Considerando-se uma economia qualquer, genericamente, pode-se dizer: energia final equivale à energia primária menos as perdas de transformação e as de transporte e armazenagem.

A energia final, nos balanços energéticos, contabiliza os setores de atividade, como, por exemplo, alguns ramos da indústria ou a especificação do transporte em rodoviário, ferroviário, hidroviário, aeroviário, e assim por diante. Ver nota 3.

Dessa forma, os balanços energéticos consolidados, como o Balanço Energético Nacional (BEN), ou o Balanço Energético do Estado do Rio Grande do Sul (BERS), percorrem este trajeto: energia primária à demanda final, conforme Figura 1, em que se toma como exemplo o Balanço Energético do Rio Grande do Sul de 1980, em função de sua expressão didática. Entre outras informações, cabe destacar os seis retângulos, à direita, cuja soma, medida em unidades de energia como o tEP<sup>6</sup> ou o joule<sup>7</sup>, passam a significar a energia final, que pode ter outras denominações: demanda final ou consumo final de energia.

Figura 1

Balanço energético da oferta primária à demanda final, em escala, no Rio Grande do Sul —1980



NOTA: Concebido pelo engenheiro Florêncio Ávila Jr., que desenhou o fluxograma em escala, e Jaques Alberto Bensussan.

dutoras, carvoarias e destilarias; e outras transformações, que incluem outros energéticos (efluentes) da indústria química, quando do processamento da nafta, e outros não energéticos do petróleo.

<sup>6</sup> Um tEP significa tonelada de equivalente de petróleo e equivale a 10.200.000 kcal.

<sup>7</sup> Um joule equivale a 0,23884 Cal.

## Algo sobre a energia útil

As formas de uso são investigadas nos Balanços de Energia Útil (BEUs). No caso brasileiro, o BEU-BR, as formas de uso são: força motriz, aquecimento direto, calor de processo, refrigeração (esta última introduzida em 2005), iluminação, eletroquímica e outros. No caso do Rio Grande do Sul, o BEU-RS (1979-82), as formas são: mecânica, térmica e luminosa, a partir de seus energéticos<sup>8</sup>. À época, foi elaborado um fluxograma que se tornou um marco, visualizando-se todos os fluxos, energético por energético, de toda a energia do Rio Grande do Sul para 1980, desde os requerimentos, passando pela demanda final até chegar à energia útil (Figura 2).

Aí surge o primeiro problema: como se dá a distribuição no tempo ( $t$ ), em nível de energia final de um determinado energético ( $i$ ), em uma atividade qualquer ( $j$ ), em suas formas de uso final ( $f$ ), como: força motriz, aquecimento direto, etc.? A experiência e o conhecimento das atividades, a sondagem, a pesquisa direta e a revisão de literatura podem ajudar. Isso acabará por gerar a energia final, por energético, por atividade e por forma de uso final ( $EF_{ijft}$ ). Trata-se de um refinamento da energia final, que abre as portas para a confecção do Balanço de Energia Útil.

O segundo problema é saber acerca da eficiência de cada energético  $i$ , em um setor de atividade qualquer  $j$ , na forma  $f$ , no tempo  $t$ , para permitir a passagem da  $EF_{ijft}$  para a energia útil por energético, por atividade, por forma para o ano  $t$ , - ( $EU_{ijft}$ ). Para tal, a experiência e o conhecimento até a revisão de literatura, antes mencionados, são necessários.

A equipe técnica do Balanço de Energia Útil do Brasil tem uma riquíssima experiência e conhecimento, como se pode observar no relato que segue e que revela uma determinação extraordinária do grupo, coordenado pelo Ministério de Minas e Energia (MME).

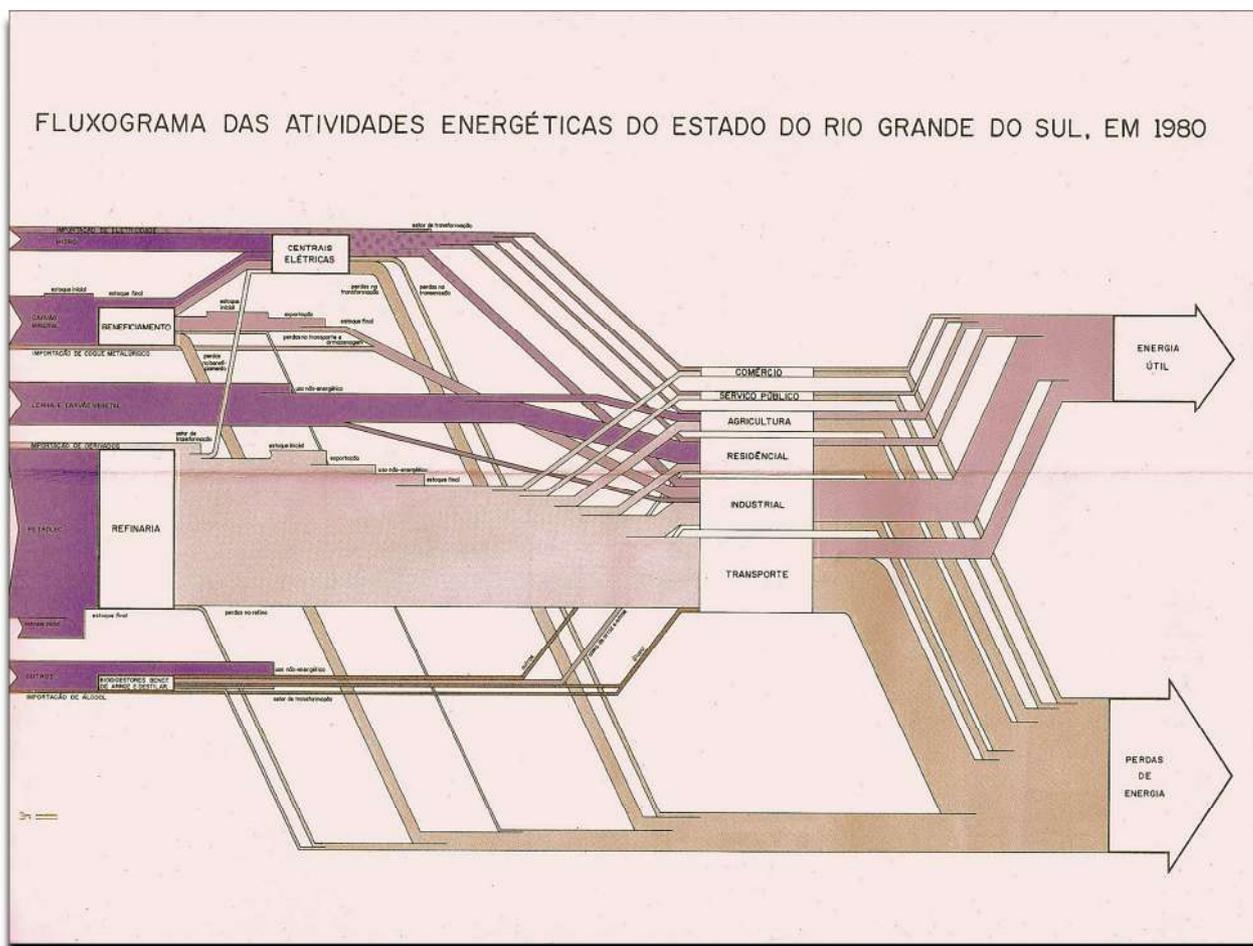
Foram feitas cinco aplicações do BEU-BR, três da versão compacta do modelo (referentes aos anos de 1984, 1994 e 2004) e duas da versão ampliada, onde alguns setores intensivos em energia foram desdobrados, para que fosse possível fazer uma análise mais detalhada de seus segmentos. Nesse caso, as aplicações referem-se aos anos de 1993 e 2004.

---

<sup>8</sup> São eles: diesel, óleo combustível, gasolina automotiva, gasolina de aviação, gás liquefeito de petróleo (GLP), querosene, querosene de aviação, gás de petróleo, coque de petróleo, coque metalúrgico, carvão-vapor (CV-20, CV-35, CV-40, CV-47, CV-52), lenha, outros produtos agrícolas, biogás, álcool, carvão vegetal, lixívia, bagaço de cana e eletricidade.

Figura 2

Balanço energético: da oferta primária à energia útil



NOTA: Concebido pelo engenheiro Florêncio Ávila Jr., que desenhou o fluxograma em escala, e Jaques Alberto Bensussan.

Esse esforço inicial, bem-sucedido, que começou em 1983 e foi implementado por um projeto desenvolvido pela Fundação para o Desenvolvimento Tecnológico da Engenharia (FDTE), coordenado pelo MME e apoiado pela Financiadora Nacional de Estudos e Projetos (FINEP), que se encerra no BEU-BR, resultando na ampliação da utilidade do Balanço Energético Nacional, agregando informações sobre o que acontece após a entrega da energia final. Esse trabalho permitiu que se tivesse uma visão global do uso dado à energia no Brasil e da eficiência média das principais formas de utilização nos diversos setores de atividades.

Em 1994, o MME patrocinou um novo projeto, visando à atualização do programa e dos parâmetros técnicos do BEU-BR, em que foi introduzido o Modelo para Avaliação do Potencial de Economia de Energia (MAPEE), que permitia que se fizesse uma estimativa do potencial de economia de energia nos diferentes setores da economia, mediante a introdução do conceito de rendimento de referência, que seria o limite para o qual tenderiam os rendimentos de eficiência energética observados. Contemplando o estado da arte, aplica-se a cada energético em particular e é dirigido a cada atividade em que se insere, segundo sua forma de uso e em certo tempo.

O estudo de atualização permitia, também, que se fizesse uma análise comparativa da evolução do desempenho energético do País no período 1984-94, considerando tanto as mudanças tecnológicas — associadas às variações dos coeficientes de destinação de energia final e de eficiência energética — como as mudanças socioeconômicas — associadas à evolução do crescimento dos diferentes segmentos da economia. O estudo permitia, ainda, que esses efeitos pudessem ser avaliados isoladamente.

A versão 2005, ampliada e relativa ao ano de 2004 do BEU-BR, ao colocar um terceiro ponto na curva ao longo de 20 anos, o fez de modo não linear, pois foram contempladas profundas mudanças ocorridas no País, como a estabilização monetária, a privatização do setor energético, a globalização da economia, o racionamento de energia elétrica, permitindo dar uma ideia do alcance das mudanças, dos padrões de consumo energético e de seus reflexos sobre a sociedade.

Em função disso, algumas das fontes de informações usadas nas versões anteriores desse estudo deixaram de existir ao longo desses anos, o que levou a equipe do BEU-BR a adotar uma estratégia adaptativa para o levantamento de informações, principalmente por meio da *internet*.

Destaca-se, ainda, que a manutenção da integridade conceitual do Balanço Energético Nacional e a introdução de aprimoramentos metodológicos e de conteúdo nessa publicação também auxiliaram bastante na obtenção das informações necessárias.

Além da revisão e modernização do programa do BEU-BR e da atualização dos coeficientes de destinação da energia final e de eficiência energética, a versão 2005 do BEU-BR introduziu o uso final da refrigeração, que não era contemplado nas versões anteriores do modelo.

Os coeficientes de destinação de energia valem-se de numerosos estudos realizados recentemente em diversas universidades e centros de pesquisa e em uma pesquisa específica dirigida às empresas que prestam informações para a elaboração do Balanço Energético Nacional. O trabalho foi complementado, ainda, com a atividade de compatibilização com os coeficientes utilizados nas edições anteriores do BEU.

Com relação aos rendimentos energéticos correntes e de referência utilizados para fazer a aplicação do modelo, a maior parte dos coeficientes foi estimada por meio de levantamentos de informações apresentadas por fabricantes de equipamentos, estudos de empresas industriais de setores intensivos em energia e de institutos de pesquisa. Uma importante contribuição para a estimação desses coeficientes veio do Programa Nacional de Etiquetagem de Equipamentos, que é disponibilizada no *site* do Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (Inmetro). Foi necessário, também, realizar um trabalho de compatibilização com os coeficientes adotados em versões anteriores do estudo.

O Modelo BEU/MAPEE foi desenvolvido para ser aplicado conjuntamente com o Balanço Energético Nacional. Em termos conceituais, porém, esse modelo pode, também, ser aplicado aos Balanços Energéticos Estaduais. No entanto, segundo a equipe do BEU-BR, os Coeficientes de Destinação dos Usos Finais e os Coeficientes de Eficiência Energética apurados em âmbito nacional podem mostrar algumas inadequações quando aplicados no âmbito dos balanços estaduais. Essas inadequações manifestam-se como uma perda de aderência do modelo. Excetuando alguns casos muito específicos, não se espera que essa perda de aderência assumira um vulto muito significativo para a maior parte dos estados brasileiros.

A experiência do Rio Grande do Sul em energia útil refere-se ao período de 1979 a 1982, já comentada, que, não obstante o grande feito para a época, reconhece a escola que a equipe do BEU-BR formou, para

que seus ensinamentos pudessem se difundir e contemplar todos os estados brasileiros, especialmente o Rio Grande do Sul (RS).

No caso do RS, o BEU-RS partiria da energia final (demanda final), portanto ele a incorporaria, e, mediante os coeficientes de distribuição, segundo as formas de uso, ter-se-ia a determinação da energia final por energético, por atividade e por forma de uso. Daí aplicar-se-iam os rendimentos correspondentes para a determinação da energia útil, segundo o energético, a atividade e a forma de uso.

Trata-se de um trabalho de reconstituição, de recuperação do passado. Para poder fazê-lo rodar, deve ser percorrido o trajeto exibido na Figura 2. Deve-se também aprontá-lo com alguns meses de defasagem no ano em curso em relação ao ano anterior, que lhe serve de base estatística.

O balanço energético do Estado do Rio Grande do Sul, que, a partir da série 2005-07, compatibilizou-se com o Balanço Energético Nacional — que se vale da versão da Organização Latino-americana de Desenvolvimento de Energia (OLADE) — recuperou<sup>9</sup> toda a série histórica anterior (1979-2004), não devendo, contudo, para ganhar expressividade, limitar-se a uma única forma de apresentação.

A partir dos anos 80, foram desenvolvidos os trabalhos acadêmicos, pesquisas, artigos e seminários que, direta ou indiretamente, brotaram da experiência desenvolvida na Comissão Estadual de Energia (Cenergs) e no ambiente que a época proporcionava.

A partir disso, foram feitas sondagens nos Balanços Energia Útil do Brasil, via *internet*, diretamente de figuras dispostas em Excel, permitindo um acesso amplo e raro, o que mostra o elevado espírito de trabalho da equipe do BEN.

Por outro lado, os Balanços de Energia Útil do RS relativos ao período 1979-82, publicados à época, foram totalmente redesenhados para uma planilha eletrônica, aproveitando a experiência de então, que foi incrementada com relações que já apareciam nos BEUs-BR, para torná-los comparáveis, ganhando, inclusive, um formato bem amigável.

A estratégia era, não só a de retomar o Balanço Energético nos moldes da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), mas, principalmente, avançar prospectivamente.

Informalmente, o autor colaborou com a equipe do Balanço Energético do Rio Grande do Sul junto à Companhia Estadual de Energia Elétrica (CEEE), e o trabalho restringiu-se tão somente à confecção do Balanço Energético, como será visto na próxima seção.

Em 2012, enquanto assistente do Presidente da CEEE, o engenheiro Sérgio Dias, que deu carta branca para fazer um estudo prospectivo do planejamento energético para o Brasil e o Rio Grande do Sul no período de 2015-40<sup>10</sup>, trabalho que, devido à sua complexidade, ainda não foi possível concluir — mas está em curso —, pois surgiram algumas dificuldades de como se avaliar as tecnologias do futuro, que estão sendo gestadas em laboratório ou em testes, e os efeitos que essas tecnologias teriam ao deslocarem as vigentes, mesmo com seus aprimoramentos. Neste estudo, além de projetar toda a matriz energética para 2040, com

---

<sup>9</sup> Essa recuperação foi feita com grande esforço, que resultou no melhor para a época. Hoje, graças ao desenvolvimento de programas computacionais, tornou-se possível avançar — e muito — na compatibilização de toda a série, o que poderá ser dado a público em uma das edições futuras do Balanço Energético do Rio Grande do Sul ou em uma edição própria.

<sup>10</sup> Infelizmente, após a saída do Presidente Sérgio Dias, o trabalho foi totalmente desprezado. Mesmo assim, continua-se avançando.

módulos de cinco em cinco anos, confeccionou-se a matriz ambiental de energia<sup>11</sup> a partir das respectivas matrizes energéticas, também com módulos de cinco em cinco anos, para cada um dos cenários do estudo, quais sejam: o cenário de tecnologia tendencial, o cenário de tecnologia moderada e o cenário de tecnologia avançada.

Em virtude dessas dificuldades tecnológicas, recorreu-se aos estudos dos Balanços de Energia Útil produzidos pelo MME e FDTE para 1984, 1994 e 2004, referidos anteriormente, organizados de uma forma original, procedendo-se, conforme conceitos e definições que circulam no meio energético, a cálculos guardados em diversas figuras, que revelassem os valores numéricos referentes aos conceitos e definições, como o cálculo da energia útil, o potencial de economia de energia, as relações de insumo e produto-base para apurar os rendimentos e o progresso tecnológico, entre outros.

## Esticando o tempo

A FDTE fez as pesquisas para os balanços de Energia Útil do Brasil para 1984, 1994 e 2004. Esperava-se uma atualização para 2014 ao se contatar a EPE, na pessoa de Carla da Costa Lopes Achão, analista de Pesquisa Energética da EPE, que, gentilmente, informou a respeito da postergação da atualização.<sup>12</sup>

Mesmo assim, o tempo já havia sido esticado para 2010 e 2014, para acompanhar os últimos balanços de energia disponíveis. Para isso, teve-se que assumir avanços nos rendimentos tecnológicos, por energético, por forma e atividade, que passaram a se situar a meio caminho entre os rendimentos observados em 2004 e os rendimentos de referência do mesmo ano e que representavam o estado da arte, admitindo-se ainda que, em 2014, os rendimentos observados seriam iguallados aos de referência.

É claro que se a pesquisa tivesse sido feita e disponibilizada para 2014, aumentaria o grau de precisão das relações estudadas

## Recortando o espaço

As informações das pesquisas referentes aos anos<sup>13</sup> 1984, 1994 e 2004 para o Brasil, quanto aos rendimentos e rendimentos de referência, assim como os coeficientes de destinação, foram assumidas para o Rio Grande do Sul. Claro que isso foi acoplado aos balanços energéticos do Rio Grande do Sul para 1984,

<sup>11</sup> O balanço ambiental de energia parte dos balanços de energia propriamente ditos, conforme os fluxos de atividade encerrados no próprio balanço e multiplicados pelos respectivos coeficientes de impacto ambiental fornecidos pelo Intergovernamental Panel on Climate Change (IPCC) para cada um dos poluentes a seguir: CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, CO, N<sub>2</sub>O, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> e Ceq. (carbono equivalente), de acordo com *IPCC Fifth Assessment Report (AR5)* aprovado na 31.ª Sessão em Bali, de 26 a 29 de outubro de 2009. Esses balanços ambientais de energia estão prontos para toda série dos balanços energéticos nacionais de 1970 a 2014 para o Brasil, e dos balanços que compõem a série de 1979 a 2014 para o Rio Grande do Sul. Todavia, eles ainda não foram publicados. Além disso, os balanços ambientais de energia são calculados, simultaneamente com os as matrizes energéticas prospectivas, 2015-40 para cada cenário referido e de acordo com o atual estágio do trabalho. À medida que o impasse tecnológico avançar, a matriz energética e o balanço ambiental de energia avançam no mesmo compasso de tempo.

<sup>12</sup> A última edição do BEU foi divulgada em 2004.

<sup>13</sup> A pesquisa original BEU, MAPE e FDTE baseia-se nos arquivos compactos, que são: *BEUv2005ano1984.xls*, *BEUv2005ano1994.xls* e *BEUv2005ano2004.xls*, apresentando os coeficientes de destinação, como, também, os coeficientes de eficiência energética e com os dados de consumo de energia final referentes, respectivamente, aos anos de 1984, 1994 e 2004. Os resultados dessas aplicações foram usados no estudo comparativo.

1994 e 2004, bem como o tempo que foi igualmente esticado para 2010 e 2014, à imagem e semelhança do que se fez com o Brasil. É possível que a transferência das variáveis mencionadas, do Brasil para o Rio Grande do Sul, gere um pouco de atrito, certa perda de aderência, que se acredita não ser significativa. De qualquer modo, este ensaio permite que se chegue a resultados coerentes, como será visto ao longo do trabalho.

## Materiais e métodos

Trata dos modelos de análise construídos a partir das fontes consideradas, dos conceitos básicos, da definição nominal e operacional das variáveis de cada um dos diversos modelos apresentados sob a forma tabular e que encerram, em cada uma das planilhas, célula por célula, toda uma arquitetura matemática pertinente.

## Entrando na “teia de aranha”

Agora é preciso um pouco de paciência e concentração. Busca-se explicar e definir alguns modelos e suas variáveis, incluindo seus índices.

Começamos pelos índices associados aos **energéticos, atividades, formas e tempo**.

**Energético (i):** gás natural, carvão-vapor, carvão metalúrgico, lenha, bagaço de cana, outros: energia eólica e outros produtos agrícolas (biogás, lixívia), diesel, óleo combustível, gasolina, gás liquefeito de petróleo (GLP), querosene, gás, coque, lenha, bagaço de cana, eletricidade, carvão vegetal, outros secundários do petróleo, alcatrão e total. **(i) = 20;**

**Atividade (j)<sup>14</sup>:** setor energético, residencial, comercial, público, agropecuário, rodoviário, ferroviário, aeroviário, hidroviário, cimento, siderúrgico, ferro-liga e aço, mineração e pelotização, não ferrosos e outros metalúrgicos, química, alimentos e bebidas, têxtil, papel e celulose, cerâmica, e outros, **(j) = 20;**

**Forma (f):** força motriz, calor de processo, aquecimento direto, refrigeração, iluminação eletroquímica, outros e total, **(f) = 8;**

**Tempo (t)<sup>15</sup>:** 1984, 1994, 2004, 2010 e 2014, **(t) = 5.**

Por definição, demanda final<sub>ijft</sub> = *input* de energia útil<sub>ijft</sub>, para cada *i, j, f, t*.

São diversas as planilhas que compõem os modelos de análise e que vão fazer parte do método. São cerca de 14 Mb zipados no Excel 2016. Cada planilha tem a sua variável de destaque, que ocupa todas as suas células, além disso, as planilhas são encadeadas, umas às outras. Seria impossível mostrar com palavras escritas ou fórmulas matemáticas toda a complexidade do método. Entretanto, talvez, uma exposição oral do método pudesse deixar uma impressão mais esclarecedora. É importante dizer que para operaciona-

<sup>14</sup> Além desses setores, a FDTE e o MME destacaram os setores intensivos em energia, a saber: mineração, pelotização, alumínio, outros metalúrgicos, açúcar e alimentos e bebidas exceto açúcar.

<sup>15</sup> Os anos de 1984, 1994 e 2004 referem-se à pesquisa feita pela FDTE e pelo MME. Enquanto os anos de 2010 e 2014 foram introduzidos pelo autor para compor esse ensaio. Nota-se que a EPE foi criada em 15 de março de 2004, ligada ao MME.

lização de uma massa enorme de dados, com suas respectivas formulações matemáticas e seus encadeamentos, teve-se que recorrer à programação na linguagem em Apple Script for Excel, semelhante ao Visual Basic for Excel, sem o que seria impossível ousar.

## Alguns passos selecionados

Cada tópico selecionado representa uma planilha, que estão encadeadas, como dito antes, e é esse encadeamento que será explicado, a partir do método que interage com os conceitos, o que será feito através de modelos tabulares — extraídos da respectiva planilha e seguindo sempre o mesmo padrão — e descritivos, enquanto a formulação matemática ficará em nota de rodapé, selecionada para uma célula qualquer, que será copiada para todas as células de cada figura pertencente à planilha, o que dará fluidez à leitura. O único requisito para o leitor é conhecer a linguagem do Excel para acompanhar o que está sendo tratado.

Para **descrever o método**, exibir-se-á, ao longo da exposição em **materiais e métodos**, tão somente a atividade de **alimentos e bebidas** para o ano de 1984, **para alguns energéticos**, que são: **gás natural, carvão-vapor, carvão metalúrgico, lenha e bagaço de cana**. Tal corte é para tornar mais leve a explanação metodológica, ao mesmo tempo que não invalida a sua generalização, permitindo, assim, a compreensão de cada planilha em sua completude, que inclui todos os energéticos considerados em cada uma de suas atividades e formas para os anos de 1984, 1994, 2004, 2010 e 2014, tanto para o Brasil como para o Rio Grande do Sul.

A **metodologia**, inicialmente expressa sob a forma descritiva e tabular, acompanhada por fórmulas em Excel, colocadas em pés de página, causou certa distância entre o texto e leitor. Após algumas sugestões, resolveu-se por colocar as respectivas formulações matemáticas, inseridas em seus modelos, juntamente com a definição de suas variáveis. Mesmo assim foi pedido, em outra rodada, que se exemplificasse numericamente, e assim foi feito, aproveitando as fórmulas do Excel nos pés de página, associando-as às respectivas figuras. Por fim, a exemplificação numérica pode apresentar algumas diferenças decorrentes dos arredondamentos.

Ainda é preciso dizer que as figuras são, na verdade, tabelas e gráficos, em que os números selecionados repousam sobre um fundo de cores, incluindo seus matizes, que expressam a grandeza relativa desses mesmos números, de belo efeito estético, porém mais distantes da percepção. Para contornar o problema, sem perder o efeito referido, utilizou-se um recurso do Excel, sob a forma de uma figura de barra, que passou a expressar a grandeza relativa de cada número selecionado em sua coluna, proporcionando uma linguagem comunicativa e interessante.

## O que são os coeficientes de destinação?<sup>16</sup>

Os coeficientes de destinação mostram, conforme a pesquisa feita pela FDTE para 1984, 1994 e 2004, como a demanda final de um energético qualquer em uma dada atividade, em um ano qualquer, distribui-se, percentualmente ou em decimais, em suas formas, a saber: força motriz, calor de processo, aquecimento direto, refrigeração, iluminação, eletroquímica e outras. A soma das formas será sempre 1: (100%), por energético e dentro de cada atividade, conforme Figura 3. Em linguagem matemática, pode-se escrever:

$$\sum_{f=1}^{f=7} CD_{ijft} = 1, \text{ para cada } i, j, t. \quad (1)$$

Em que:

$CD_{ijft}$  = coeficientes de destinação ou distribuição do energético  $i$ , para a atividade  $j$ , na forma  $f$  e no tempo  $t$ , em decimais.<sup>17</sup>

Figura 3

Coeficientes de distribuição, em decimais, por forma de uso, para alimentos e bebidas e para alguns energéticos selecionados no Brasil — 1984

Formas de Uso/Energéticos para o	Gás Natural	Carvão Vapor	Carvão Metalúrgico	Lenha	Bagajo de Cana
Total das Atividades					
Força Motriz					
Calor de Processo		0,863		0,861	1,000
Aquecimento Direto		0,137		0,139	
Refrigeração					
Iluminação					
Eletroquímica					
Outros					
Total		1,000		1,000	1,000
Demanda Final		148		2.062	5.363

Fonte: Elaboração Original de Jaques Alberto Bensussan, a partir dos Balanços de Energia Útil do Brasil de 1984, 1994 e 2004 - MME/FTDE, BEN - MME de 2015-2014 e BERS - CEEE de 2015-2014

## Como calcular o *input* de energia útil?<sup>18</sup>

Repare que a última linha da Figura 3 mostra a demanda final por energético, valores fornecidos pelos balanços energéticos, que deverão ser multiplicados pelos coeficientes de distribuição entre as formas, que se encontram nas respectivas colunas, resultando no *input* de energia útil, como segue na mesma sequência

<sup>16</sup> Fórmula para cada célula da planilha, variando as coordenadas, conforme linhas e colunas:

=Coef. de Destinação!D184. Dados originais fornecidos pela pesquisa do MME e da FDTE. D184 = 0,863 para o carvão-vapor na atividade alimentos e bebidas na forma calor de processo, para 1984.

<sup>17</sup> Neste caso, a forma  $f$  exclui o total, passando de oito para sete. Ver a seção **Entrando na "teia de aranha"**.

<sup>18</sup> Fórmula para cada célula da planilha, variando as coordenadas, conforme linhas e colunas:

=+Coef. de Destinação!D184\*Coef. de Destinação!D\$191. De outro modo,  $0,863*148*1.000tEP=128*1.000tEP$  para carvão-vapor na atividade alimentos e bebidas na forma calor de processo para 1984, conforme Figura 4.

do exemplo, conforme Figura 4, que mostra o *input* de energia útil para os mesmos energéticos selecionados para alimentos e bebidas no Brasil, em 1984.

Deve-se reparar que os resultados das operações em **soma** fecham com a demanda final do respectivo energético, para a mesma atividade, alimentos e bebidas e para o mesmo ano de 1984. Ótimo, a operação foi realizada com sucesso. Alternativamente, pode-se escrever:

$$IEU_{ijft} = DF_{ijft} * CD_{ijft} \quad (2)$$

$$\sum_{f=1}^{f=7} IEU_{ijft} = DF_{ijft} \quad (3),$$

para cada  $i, j, t$ .

Em que:

$IEU_{ijft}$  = input de energia útil para  $i, j, f, t$ , expressa em tEP;

$DF_{ijft}$  = demanda final  $i, j, t$  (antes da distribuição em  $f$ ), expressa em tEP;

$CD_{ijft}$  = coeficientes de destinação ou distribuição do energético  $i$ , para a atividade  $j$ , na forma  $f$  e no tempo  $t$ , em decimais.

Figura 4

*Input* de energia útil, em 1.000 tEP, por forma de uso, para alimentos e bebidas e para alguns energéticos selecionados no Brasil — 1984

Formas de Uso/Energéticos para o Total das Atividades	Gás Natural	Carvão Vapor	Carvão Metalúrgico	Lenha	Bagaço de Cana
Força Motriz					
Calor de Processo		128		1.775	5.363
Aquecimento Direto		20		287	
Refrigeração					
Iluminação					
Eletroquímica					
Outros					
Total		148		2.062	5.363
Demanda Final (Input de Energia Útil)		148		2.062	5.363

Fonte: Elaboração Original de Jaques Alberto Bensussan, a partir dos Balanços de Energia Útil do Brasil de 1984, 1994 e 2004 -MME/FDTE, BEN - MME de 2015-2014 e BERS - CEEE de 2015-2014

## O que são rendimentos, e o que são rendimentos de referência?<sup>19</sup>

Seguindo o mesmo exemplo, os rendimentos são a relação adimensional entre o que é utilizado para determinado fim e a energia requerida para esse mesmo fim. Ou, em outras palavras, a relação do que sai de energia de um processo para ser aproveitada e o que entra nesse mesmo processo. Os limites teóricos seriam entre zero e um. Claro que é impossível chegar a 1, mas serve como ideia de aproximação para alguns rendimentos, conforme Figura 5. Os dados foram fornecidos pela pesquisa do MME e da FDTE.

<sup>19</sup> Fórmula para cada célula da planilha, variando as coordenadas, conforme linhas e colunas: =Coef. de Rendimentos!D184. Dados originais fornecidos pela pesquisa de MME e FDTE. No caso, D184=0,650 para o carvão-vapor na atividade alimentos e bebidas na forma calor de processo para 1984. Atividade alimentos e bebidas para o ano de 1984, conforme Figura 5.

E os rendimentos de referência? Bem, eles são disponibilizados conforme o estado da arte para um determinado ano, para um energético qualquer, por atividade e por forma de uso. A FDTE e a EPE adotaram o ano de 2004, que será utilizado para determinar o potencial de economia de energia, como será visto mais adiante.

Mesmo assim, dando sequência, apresentam-se os rendimentos de referência, como seguem. Repara-se que os rendimentos da Figura 6 são mais elevados, como se esperava, em relação aos rendimentos de 2004 da Figura 7, o que é coerente. Os dados foram fornecidos pela pesquisa do MME e FDTE.

Figura 5

Rendimentos, por forma de uso, em decimais, para alimentos e bebidas e para alguns energéticos selecionados, no Brasil — 1984

Formas de Uso/Energéticos para o	Gás Natural	Carvão Vapor	Carvão Metalúrgico	Lenha	Bagaço de Cana
Total das Atividades					
Força Motriz	0,250				
Calor de Processo	0,850	0,650		0,650	0,650
Aquecimento Direto	0,450	0,225		0,450	0,450
Refrigeração	0,610				
Iluminação					
Eletroquímica					
Outros					

Fonte: Elaboração Original de Jaques Alberto Bensussan, a partir dos Balanços de Energia Útil do Brasil de 1984, 1994 e 2004 -MME/FTDE, BEN - MME de 2015-2014 e BERS - CEEE de 2015-2014

Figura 6

Rendimentos de referência, em decimais, por forma de uso, para alimentos e bebidas e para alguns energéticos selecionados no Brasil — 2004

Formas de Uso/Energéticos para o	Gás Natural	Carvão Vapor	Carvão Metalúrgico	Lenha	Bagaço de Cana
Total das Atividades					
Força Motriz	0,340				
Calor de Processo	0,890	0,800		0,800	0,800
Aquecimento Direto	0,540	0,275		0,540	0,540
Refrigeração	0,740				
Iluminação					
Eletroquímica					
Outros					

Fonte: Elaboração Original de Jaques Alberto Bensussan, a partir dos Balanços de Energia Útil do Brasil de 1984, 1994 e 2004 -MME/FTDE, BEN - MME de 2015-2014 e BERS - CEEE de 2015-2014

Figura 7

Rendimentos, em decimais, por forma de uso, para alimentos e bebidas e para alguns energéticos selecionados no Brasil — 2004

Formas de Uso/Energéticos para o	Gás Natural	Carvão Vapor	Carvão Metalúrgico	Lenha	Bagaço de Cana
Total das Atividades					
Força Motriz	0,330				
Calor de Processo	0,880	0,770		0,770	0,770
Aquecimento Direto	0,520	0,260		0,520	0,520
Refrigeração	0,710				
Iluminação					
Eletroquímica					
Outros					

Fonte: Elaboração Original de Jaques Alberto Bensussan, a partir dos Balanços de Energia Útil do Brasil de 1984, 1994 e 2004 -MME/FTDE, BEN - MME de 2015-2014 e BERS - CEEE de 2015-2014

## Como calcular a energia útil?<sup>20</sup>

Bem, já estão dispostos todos os elementos para o cálculo da energia útil. É só multiplicar o *input* de energia útil pelo seu respectivo rendimento, célula por célula, isto é, combinando as Figuras 4 e 5 para darmos a sequência, conforme, pode ser visto na Figura 8. Matematicamente, pode-se escrever.

$$EU_{ijt} = IEU_{ijt} * REU_{ijt} \quad (4)$$

$$EU_{ijt} = \sum_{f=1}^{f=7} IEU_{ijt} \quad (5)$$

para cada  $i, j, t$ .

Em que:

$EU_{ijt}$  = energia útil para  $i, j, f, t$ , em tEP;

$IEU_{ijt}$  = *input* de energia útil para  $i, j, f, t$ , em tEP;

$REU_{ijt}$  = rendimentos correntes da passagem do *input* de energia útil para a energia útil para  $i, j, f, t$ , em decimas;

$EU_{ijt}$  = energia útil em  $i, j, t$ , agregando todas as formas em tEP.

<sup>20</sup> Fórmula para cada célula da planilha, variando as coordenadas, conforme linhas e colunas:  
 =+'Input Energia Útil'!D184\*'Coef. de Rendimentos'!D184. De outro modo,  $128 * 1.000 \text{ tEP} * 0,65 = 83 * 1.000 \text{ tEP}$ , que é a energia útil do carvão-vapor na forma calor de processo da atividade alimentos e bebidas para 1984, conforme Figura 8.

<sup>21</sup> Fórmula para cada célula da planilha, variando as coordenadas, conforme linhas e colunas:  
 =+'Input de Energia Útil'!D184/'Input de Energia Útil'!\$U\$250\*100. De outra maneira,  $128 * 1.000 \text{ tEP} / 102.929 * 1.000 \text{ tEP} * 100 = 0,124$ , que é a relação numérica da variável proposta para o carvão-vapor na forma calor de processo da atividade alimentos e bebidas para o ano de 1984, conforme Figura 9.

Figura 8

Energia útil, em 1.000 tEP, por forma de uso, para alimentos e bebidas e para alguns energéticos selecionados no Brasil — 1984

Formas de Uso/Energéticos para o	Gás Natural	Carvão Vapor	Carvão Metalúrgico	Lenha	Bagaço de Cana
Total das Atividades					
Força Motriz					
Calor de Processo		83		1.154	3.486
Aquecimento Direto		5		129	
Refrigeração					
Iluminação					
Eletroquímica					
Outros					
Total		88		1.283	3.486
Energia Útil		88		1.283	3.486

Fonte: Elaboração Original de Jaques Alberto Bensussan, a partir dos Balanços de Energia Útil do Brasil de 1984, 1994 e 2004 -MME/FTDE, BEN - MME de 2015-2014 e BERS - CEEE de 2015-2014

## O que é a estrutura do *input* da energia útil?<sup>21</sup>

A estrutura do *input* da energia útil é calculada, dividindo-se, célula por célula, do respectivo *input* de energia útil — vale dizer — para cada energético, um por um, em sua respectiva forma de uso e atividade no tempo  $t$  pelo *input* de energia útil total para o mesmo tempo  $t$ . O resultado é ilustrado na Figura 9. Alternativamente, pode-se escrever:

$$EIEU_{ijt} = IEU_{ijt} / IEUT_t \quad (6)$$

Em que:

$EIEU_{ijt}$  = estrutura do *input* da energia útil para  $i, j, f, t$ , em decimais;

$IEU_{ijt}$  = *input* de energia útil, para  $i, j, f, t$ , em tEP;

$IEUT_t$  = *input* de energia útil total de toda a matriz energética no tempo  $t$ , expresso em tEP.

Figura 9

Estrutura do *input* de energia de útil, em decimais, por forma de uso, para alimentos e bebidas e para alguns energéticos selecionados no Brasil — 1984

Formas de Uso/Energéticos para o Total das Atividades	Gás Natural	Carvão Vapor	Carvão Metalúrgico	Lenha	Bagaço de Cana
Força Motriz					
Calor de Processo		0,124		1,725	5,211
Aquecimento Direto		0,020		0,278	
Refrigeração					
Iluminação					
Eletroquímica					
Outros					
Total		0,144		2,003	5,211
Demanda Final (Input de Energia Útil), em 1.000 tEP		148		2.062	5.363

Fonte: Elaboração Original de Jaques Alberto Bensussan, a partir dos Balanços de Energia Útil do Brasil de 1984, 1994 e 2004 -MME/FTDE, BEN - MME de 2015-2014 e BERS - CEEE de 2015-2014

## O que é a estrutura da energia útil?<sup>22</sup>

A estrutura da energia útil é calculada, dividindo-se, célula por célula, da respectiva energia útil, — vale dizer — para cada energético, um por um, em sua respectiva forma de uso e atividade no tempo  $t$ , pela energia útil total em  $t$ . O resultado é ilustrado na Figura 10. De outro modo, pode-se escrever.

$$EEU_{ijt} = EU_{ijt} / EUT_t \quad (7)$$

Em que:

$EEU_{ijt}$  = estrutura da energia útil para  $i, j, f, t$ , em decimais;

$EU_{ijt}$  = energia útil, para  $i, j, f, t$ , expresso em tEP;

$EUT_t$  = energia útil total de toda a matriz energética no tempo  $t$ , em tEP.

<sup>22</sup> Fórmula para cada célula da planilha, variando as coordenadas, conforme linhas e colunas:

=+'Energia de Útil'!D184/'Energia Útil'!\$U\$250\*100. De outra maneira,  $83 \cdot 1.000 \text{ tEP} / 48.241 \cdot 1.000 \text{ tEP} \cdot 100 = 0,172$ , que é a relação numérica da variável proposta para o carvão-vapor na forma calor de processo da atividade alimentos e bebidas para o ano de 1984, conforme Figura 10.

Figura 10

Estrutura da energia útil, em decimais, por forma de uso, para alimentos e bebidas e para alguns energéticos selecionados no Brasil — 1984

Formas de Uso/Energéticos para o Total das Atividades	Gás Natural	Carvão Vapor	Carvão Metalúrgi	Lenha	Bagaço de Cana
Força Motriz					
Calor de Processo		0,172		2,392	7,226
Aquecimento Direto		0,009		0,267	
Refrigeração					
Iluminação					
Eletroquímica					
Outros					
<b>Total</b>		<b>0,181</b>		<b>2,659</b>	<b>7,226</b>

Fonte: Elaboração Original de Jaques Alberto Bensussan, a partir dos Balanços de Energia Útil do Brasil de 1984, 1994 e 2004 -MME/FTDE, BEN - MME de 2015-2014 e BERS - CEEE de 2015-2014

## O que é a estrutura da energia útil referente ao *input* de energia útil total?<sup>23</sup>

A relação mostrada na Figura 11 diz quanto de uma célula produz de energia útil no tempo  $t$ , em relação ao *input* de energia útil total para esse mesmo tempo  $t$ . Em outras palavras, mostra quanto cada energético, em sua respectiva forma e atividade, gera de energia útil, em termos do *input* de energia útil total — leia-se, alternativamente, energia final total. Em forma matemática, tem-se:

$$EEU(IEUT)_{ijft} = EU_{ijft} / IEUT_t \quad (8)$$

Em que:

$EEU(IEUT)_{ijft}$  = estrutura da energia útil para  $i, j, f, t$ , referente ao *input* de energia útil total da matriz energética, em decimais;

$EU_{ijft}$  = energia útil, para  $i, j, f, t$ , em tEP;

$IEUT_t$  = *input* de energia útil total de toda a matriz energética no tempo  $t$ , em tEP.

<sup>23</sup> =+ 'Energia de Útil' / 'Input de Energia Útil' \* 100. De outra maneira,  $83 * 1.000 \text{ tEP} / 102.929 * 1.000 \text{ tEP} * 100 = 0,081$ , que é a relação numérica da variável proposta para o carvão-vapor na forma calor de processo da atividade alimentos e bebidas para o ano de 1984, conforme Figura 11.

Figura 11

Estrutura da energia útil medida em termos do *input* de energia útil total, em decimais, por forma de uso, para alimentos e bebidas e para alguns energéticos selecionados no Brasil — 1984

Formas de Uso/Energéticos para o Total das Atividades	Gás Natural	Carvão Vapor	Carvão Metalúrgico	Lenha	Bagaço de Cana
Força Motriz					
Calor de Processo		0,081		1,121	3,387
Aquecimento Direto		0,004		0,125	
Refrigeração					
Iluminação					
Eletroquímica					
Outros					
<b>Total</b>		<b>0,085</b>		<b>1,246</b>	<b>3,387</b>

Fonte: Elaboração Original de Jaques Alberto Bensussan, a partir dos Balanços de Energia Útil do Brasil de 1984, 1994 e 2004 -MME/FTDE, BEN - MME de 2015-2014 e BERS - CEEE de 2015-2014

## A relação insumo-produto da energia<sup>24</sup>

A relação insumo-produto de energia no tempo  $t$  mostra quanto de energia, por energético, forma e atividade, é necessário para gerar sua utilidade, por energético, forma e atividade. A razão adimensional é maior do que um. Entretanto, com o progresso tecnológico, a razão diminui sem alcançar a unidade.

$$RIPE_{ijft} = IEU_{ijft}/EU_{ijft} \quad (9)$$

Em que:

$RIPE_{ijft}$  = relação insumo/produto de energia em  $i, j, f, t$ , em decimais;

$IEU_{ijft}$  = *input* de energia útil para  $i, j, f, t$ , em tEP;

$EU_{ijft}$  = energia útil, em  $i, j, f, t$ , em tEP.

<sup>24</sup> Fórmula para cada célula da planilha, variando as coordenadas, conforme linhas e colunas:  
 =SE(+Energia Útil!D184=0;0; 'Input Energia Útil!D184/Energia Útil!D184). Numericamente, pode-se dizer:  
 128\*1.000tEP/83\*1.000tEP=1,540, que é a relação numérica da variável proposta para o carvão-vapor na forma calor de processo da atividade alimentos e bebidas para o ano de 1984, conforme Figura 12.

Figura 12

Relação insumo-produto, em frações decimais, por forma de uso, para alimentos e bebidas e alguns energéticos selecionados no Brasil — 1984

Formas de Uso/Energéticos para o Total das Atividades	Gás Natural	Carvão Vapor	Carvão Metalúrgico	Lenha	Bagaço de Cana
Força Motriz					
Calor de Processo		1,540		1,540	1,540
Aquecimento Direto		4,440		2,220	
Refrigeração					
Iluminação					
Eletroquímica					
Outros					
<b>Total</b>		<b>1,690</b>		<b>1,610</b>	<b>1,540</b>

Fonte: Elaboração Original de Jaques Alberto Bensussan, a partir dos Balanços de Energia Útil do Brasil de 1984, 1994 e 2004 - MME/FTDE, BEN - MME de 2015-2014 e BERS - CEEE de 2015-2014

## Rendimentos: a relação produto-insumo de energia<sup>25</sup>

A relação produto-insumo de energia no tempo  $t$  mostra o rendimento entre a energia útil e o *input* de energia útil necessário para a consecução do processo, por energético, forma e atividade. A razão adimensional é menor do que um. Entretanto, com o progresso tecnológico, a razão aumenta sem alcançar a unidade. Essa relação abre as portas para o estudo do progresso tecnológico. Ver Figura 13.

O leitor poderá perguntar-se se os rendimentos não poderiam ser apropriados diretamente da Figura 5, que trata do tema. A resposta é sim. Poderia. Entretanto, os gráficos originais de rendimentos não fornecem os rendimentos agregados por energético e, nem tampouco, os agregados por forma e atividade no tempo  $t$ . Por essa razão, este estudo vale-se da relação produto-insumo de energia útil para medir o progresso tecnológico, como será visto na próxima seção. Para tal, introduz-se a Figura 14.

$$RPIE_{ijft} = EU_{ijft} / IEU_{ijft} \quad (10)$$

Em que:

$RPIE_{ijft}$  = relação produto/insumo de energia em  $i, j, f, t$ , em decimais;

$EU_{ijft}$  = energia útil para  $i, j, f, t$ , em tEP;

$IEU_{ijft}$  = *input* de energia útil para  $i, j, f, t$ , em tEP.

<sup>25</sup> Fórmula para cada célula da planilha, variando as coordenadas, conforme linhas e colunas: =SE(+Input Energia Útil!D184=0;0;Energia Útil!D184/Input Energia Útil!D184). Numericamente, pode-se dizer:  $83 * 1.000 \text{ tEP} / 128 * 1.000 \text{ tEP} = 0,650$ , que é a relação numérica da variável proposta para o carvão-vapor na forma calor de processo da atividade alimentos e bebidas para o ano de 1984, conforme Figura 13.

Figura 13

Relação produto-insumo, em frações decimais, por forma de uso, para alimentos e bebidas e alguns energéticos selecionados no Brasil — 1984

Formas de Uso/Energéticos para o	Gás Natural	Carvão Vapor	Carvão Metalúrgico	Lenha	Bagaço de Cana
Total das Atividades					
Força Motriz					
Calor de Processo		0,650		0,650	0,650
Aquecimento Direto		0,230		0,450	
Refrigeração					
Iluminação					
Eletroquímica					
Outros					
Total		0,590		0,620	0,650

Fonte: Elaboração Original de Jaques Alberto Bensussan, a partir dos Balanços de Energia Útil do Brasil de 1984, 1994 e 2004 -MME/FTDE, BEN - MME de 2015-2014 e BERS - CEEE de 2015-2014

Figura 14

Relação produto-insumo, em frações decimais, por forma de uso, para alimentos e bebidas e para alguns energéticos selecionados no Brasil — 2004

Formas de Uso/Energéticos para o	Gás Natural	Carvão Vapor	Carvão Metalúrgico	Lenha	Bagaço de Cana
Total das Atividades					
Força Motriz					
Calor de Processo	0,880	0,770		0,770	0,770
Aquecimento Direto	0,520	0,260		0,520	0,520
Refrigeração					
Iluminação					
Eletroquímica					
Outros					
Total	0,730	0,704		0,713	0,765

Fonte: Elaboração Original de Jaques Alberto Bensussan, a partir dos Balanços de Energia Útil do Brasil de 1984, 1994 e 2004 -MME/FTDE, BEN - MME de 2015-2014 e BERS - CEEE de 2015-2014

## O progresso tecnológico da energia medido no tempo<sup>26 27</sup>

Para o cálculo do progresso tecnológico, são necessários dois pontos no tempo. Para isso, utilizam-se as Figuras 13 e 14, medidas em 1984 e 2004, respectivamente, que dizem respeito às relações produto/insumo.

A proposição exposta a seguir diz que com o progresso tecnológico em marcha aumenta a energia útil por unidade de insumo, *input* de energia útil, o que é lógico. Alternativamente, pode-se construir um modelo em que o progresso tecnológico em marcha, agora com sinal negativo, diminui o *input* de energia útil por unidade de energia útil, conforme Figura 16. Matematizando, tem-se:

$$PTecIEU_{ijft} = (((EU_{ijf2004}/IEU_{ijf2004}) / (EU_{ijf1984}/IEU_{ijf1984}))^{(1/(n-1))} - 1) * 100 \quad (11)$$

Sendo  $t = 2004$  e  $t = 1984$ , pela ordem, resultando um período para  $n = 21$  termos. Em que:

$PTecIEU_{ijft}$  = progresso tecnológico, com base no *input* de energia útil, para  $i, j, f, t$ , em percentagem ao ano;

$EU_{ijf2004}/IEU_{ijf2004}$  = relação produto/insumo de energia para  $i, j, f, t=2004$ , em decimais;

$EU_{ijf1984}/IEU_{ijf1984}$  = relação produto/insumo de energia para  $i, j, f, t=1984$ , em decimais.

<sup>26</sup> Fórmula para cada célula da planilha, variando as coordenadas, conforme linhas e colunas:

=+SE("Produto-Insumo de Energia Útil"!C184=0;0; SE("Produto-Insumo de Energia Útil"!AV184=0;0;("Produto-Insumo de Energia Útil"!AV184/"Produto-Insumo de Energia Útil"!D184)^(0,05)-1)\*100). De outro modo,  $((0,77/0,65)^{(1/20)}-1)*100 = 0,851$  % a.a., é a relação numérica da variável proposta para o carvão-vapor na forma calor de processo da atividade alimentos e bebidas para o ano de 1984, conforme Figura 15.

<sup>27</sup> Fórmula para cada célula da planilha, variando as coordenadas, conforme linhas e colunas:

=+SE("Input-Output de Energia Útil"!D184=0;0;SE("Input-Output de Energia Útil"!AV184=0;0;("Input-Output de Energia Útil"!AV184/"Input-Output de Energia Útil"!D184)^(0,05)-1)\*100). De outro modo,  $((1,30/1,54)^{(1/20)}-1)*100 = -0,844$  % a.a., que é a relação numérica da variável proposta para o carvão-vapor na forma calor de processo da atividade alimentos e bebidas para o ano de 1984, conforme Figura 16.

Figura 15

Progresso tecnológico, por unidade de *input* de energia útil, em percentagem ao ano, por forma de uso, para alimentos e bebidas e para alguns energéticos selecionados no Brasil — 1984-2004

Formas de Uso/Energéticos para o Total das Atividades	Gás Natural	Carvão Vapor	Carvão Metalúrgico	Lenha	Bagaço de Cana
Força Motriz					
Calor de Processo		0,851		0,851	0,851
Aquecimento Direto		0,726		0,726	
Refrigeração					
Iluminação					
Eletroquímica					
Outros					
<b>Total</b>		<b>0,874</b>		<b>0,684</b>	<b>0,817</b>

Fonte: Elaboração Original de Jaques Alberto Bensussan, a partir dos Balanços de Energia Útil do Brasil de 1984, 1994 e 2004 -MME/FTDE, BEN - MME de 2015-2014 e BERS - CEEE de 2015-2014

Alternativamente, o progresso tecnológico pode ser medido, tomando-se como base a energia útil, como foi dito no início da seção, segundo parágrafo. Pode-se observar que o sinal se inverte, obedecendo a lógica da proposição. Abaixo a proposição matemática:

$$PTecEU_{ijt} = \left( \left( \frac{IEU_{ijf2004}/EU_{ijf2004}}{IEU_{ijf1984}/EU_{ijf1984}} \right)^{\frac{1}{(n-1)} - 1} \right) * 100 \quad (12)$$

Sendo  $t = 2004$  e  $t = 1984$ , pela ordem, resultando o período para  $n = 21$  Em que:

$PTecEU_{ijt}$  = progresso tecnológico, tomando-se como base a energia útil, para  $i, j, f, t$ , em percentagem ao ano.

$IEU_{ijf2004}/EU_{ijf2004}$  = relação insumo/produto de energia para  $i, j, f, t = 2004$ , em decimais.

$IEU_{ijf1984}/EU_{ijf1984}$  = relação insumo/produto de energia para  $i, j, f, t = 1984$ , em decimais.<sup>28</sup>

<sup>28</sup> Ver Equação (9) para dirimir quaisquer dúvidas.

Figura 16

Progresso tecnológico, por unidade de energia útil, em percentagem ao ano, por forma de uso, para alimentos e bebidas e para alguns energéticos selecionados no Brasil — 1984-2004

Formas de Uso/Energéticos para o Total das Atividades	Gás Natural	Carvão Vapor	Carvão Metalúrgico	Lenha	Bagaço de Cana
Força Motriz					
Calor de Processo		-0,844		-0,844	-0,844
Aquecimento Direto		-0,720		-0,720	
Refrigeração					
Iluminação					
Eletroquímica					
Outros					
Total		-0,867		-0,679	-0,810

Fonte: Elaboração Original de Jaques Alberto Bensussan, a partir dos Balanços de Energia Útil do Brasil de 1984, 1994 e 2004 -MME/FTDE, BEN - MME de 2015-2014 e BERS - CEEE de 2015-2014

As Figuras 15 e 16 só trocam o sinal, uma vez que a fração é invertida. As figuras correspondentes às Figuras 13 e 14 não serão apresentados para o cálculo alternativo do progresso tecnológico, conforme resultados constantes na Figura 16, uma vez que a lógica é a mesma, só há uma inversão da fração.

## O que é o potencial de economia de energia?<sup>29 30</sup>

O **potencial unitário de economia de energia**, cuja fórmula está na nota de rodapé 25, em que o numerador se refere aos rendimentos correntes de cada célula, e o seu denominador aos rendimentos de referência de 2004, que representam o estado da arte, resultando na economia de energia por uma unidade de *input* de energia útil.

$$PUEcE_{ijft} = (1 - REU_{ijft} / RR_{ijft}) \quad (13)$$

Em que:

$PUEcE_{ijft}$  = potencial unitário de economia de energia para  $i, j, f, t$ , em decimais.

$REU_{ijft}$  = rendimentos correntes da passagem do *input* de energia útil para a energia útil para  $i, j, f, t$  em decimais. No caso,  $t = 1984$ .

$RR_{ijft}$  = rendimentos de referência, representando o estado da arte de 2004, mostrando a relação da passagem do *input* de energia para a energia útil, para  $i, j, f, t$ , em decimais. No caso,  $t = 2004$ .

<sup>29</sup> Refere-se ao potencial unitário de economia de energia em relação aos rendimentos de referência de 2004, representado por sua fórmula para cada célula da planilha, variando as coordenadas, conforme linhas e colunas:  $=SE('Coef. de Rendimentos'!DJ184=0;0;1-'Coef. de Rendimentos'!D184/'Coef. de Rendimentos'!DJ184)$ . De outro modo,  $(1 - 0,65/0,82) = 0,207$ , que é a relação numérica da variável proposta para o carvão-vapor na forma calor de processo da atividade alimentos e bebidas para o ano de 1984, conforme Figura 17.

<sup>30</sup> Refere-se ao potencial economia de energia em relação aos rendimentos de referência de 2004, representado por sua fórmula para cada célula da planilha, variando as coordenadas, conforme linhas e colunas:  $+ 'Potencial Unitário Ec. Energ.'!D184 * 'Input Energia Útil'!D184$ . De outro modo,  $0,207 * 128 * 1.000tEP = 26 * 1.000tEP$ , que é a relação numérica da variável proposta para o carvão-vapor na forma calor de processo da atividade alimentos e bebidas para o ano de 1984, conforme Figura 18.

Passa-se agora para a definição operacional do potencial de economia de energia, que é nada mais nada menos do que o potencial unitário de economia de energia de uma célula qualquer multiplicado pelo *input* de energia útil da célula correspondente, resultando no potencial de economia de energia, em um ano qualquer a ser verificado em nível da demanda final, leia-se *input* de energia útil. Sob a forma matemática, tem-se.

$$PEcE_{ijft} = IEU_{ijft} (1 - REU_{ijft} / RR_{ijft}) \text{ ou } PEcE_{ijft} = IEU_{ijft} * PUEcE_{ijft} \tag{14}$$

Em que:

$PEcE_{ijft}$  = potencial de economia de energia para  $i, j, f, t$ , em tEP.

$IEU_{ijft}$  = *input* de energia útil para  $i, j, f, t$ , em tEP.

$REU_{ijft}$  = rendimentos correntes da passagem do *input* de energia útil para a energia útil em  $i, j, f, t$ , em decimais.

$RR_{ijft}$  = rendimentos de referência, representando o estado da arte de 2004, mostrando a relação da passagem do *input* de energia para a energia útil, para  $i, j, f, t$ , expressos em decimais. No caso,  $t = 2004$ .

$PUEcE_{ijft}$  = potencial unitário de economia de energia para  $i, j, f, t$ , em decimais.

Figura 17

Potencial unitário de economia de energia, em decimais, por forma de uso, para alimentos e bebidas e para alguns energéticos selecionados no Brasil — 1984

Formas de Uso/Energéticos para o	Gás Natural	Carvão Vapor	Carvão Metalúrgico	Lenha	Bagaga de Cana
Total das Atividades					
Força Motriz	0,286				
Calor de Processo	0,056	0,207		0,207	0,207
Aquecimento Direto	0,182	0,182		0,182	0,182
Refrigeração	0,208				
Iluminação					
Eletroquímica					
Outros					

Fonte: Elaboração Original de Jaques Alberto Bensussan, a partir dos Balanços de Energia Útil do Brasil de 1984, 1994 e 2004 -MME/FTDE, BEN - MME de 2015-2014 e BERS - CEEE de 2015-2014

Figura 18

Potencial de economia de energia, em 1.000 tEP, por forma de uso, para alimentos e bebidas e para alguns energéticos selecionados no Brasil — 1984

Formas de Uso/Energéticos para o	Gás Natural	Carvão Vapor	Carvão Metalúrgico	Lenha	Bagaço de Cana
Total das Atividades					
Força Motriz					
Calor de Processo		26		368	1.112
Aquecimento Direto		4		52	
Refrigeração					
Iluminação					
Eletroquímica					
Outros					
Total		26		420	1.112

Fonte: Elaboração Original de Jaques Alberto Bensussan, a partir dos Balanços de Energia Útil do Brasil de 1984, 1994 e 2004 -MME/FTDE, BEN - MME de 2015-2014 e BERS - CEEE de 2015-2014

## Uma matriz de elasticidades<sup>31</sup>

Como se está tratando de conceitos e medições que transitam entre a demanda final, o *input* de energia útil e a energia útil, imaginou-se a confecção de uma matriz que expressasse as elasticidades entre as duas variáveis, energético por energético, em cada uma de suas formas e atividades, incluindo seus agregados. A Figura 19 expressa as elasticidades da energia útil em relação à demanda final e ao *input* de energia útil, o que é uma alternativa, para fins preditivos, à energia útil medida em termos do *input* de energia útil total.

$$ELAST (EU / IEU)_{ijft = (2004-1984)} = TXCRESEU_{ijft = (2004-1984)} / TXCRESCIEU_{ijft = (2004-1984)} \quad (15)$$

Em que:

$ELAST (EU / IEU)_{ijft = (2004-1984)}$  = elasticidade da energia útil em relação ao *input* de energia útil para  $i, j, f, t$ , que se expressa em números adimensionais para qualquer combinação entre dois anos no tempo entre 1984, 1994, 2004, 2010 e 2014. No caso da Figura 19, o período é de 2004 a 1984.

$TXCRESEU_{ijft = (2004-1984)}$  = taxa de crescimento da energia útil para  $i, j, f, t$ , para  $t = 2004$  e para  $t = 1984$ , do que resulta  $n = 21$  termos em percentagem ao ano.

$TXCRESCIEU_{ijft = (2004-1984)}$  = taxa de crescimento do *input* energia útil para  $i, j, f, t$ , para  $t = 2004$  e para  $t = 1984$ , do que resulta  $n = 21$  termos em percentagem ao ano.

<sup>31</sup> Fórmula para cada célula da planilha, variando as coordenadas, conforme linhas e colunas:  $=+SE("Tx.Cresc.Demanda Final"!D184=0;0;Tx.Cresc.EnergaiÚtil!D184/Tx.Cresc.Demanda Final!D184)$ . De outro modo,  $(-4,64)\% a.a / (-5,45)\% a.a = 0,852$ , que é a relação numérica da variável proposta para o carvão-vapor na forma calor de processo da atividade alimentos e bebidas para o ano de 1984, conforme Figura 19.

Figura 19

Elasticidades da energia útil em relação à demanda final por forma de uso, para alimentos e bebidas e para alguns energéticos selecionados no Brasil, em unidades adimensionais — 1984-2004

Formas de Uso/Energéticos para o	Gás Natural	Carvão Vapor	Carvão Metalúrgico	Lenha	Bagaço de Cana
Total das Atividades					
Força Motriz					
Calor de Processo		0,852		0,350	1,205
Aquecimento Direto		0,882		1,428	
Refrigeração					
Iluminação					
Eletroquímica					
Outros					
Total		0,850		0,100	1,192

Fonte: Elaboração Original de Jaques Alberto Bensussan, a partir dos Balanços de Energia Útil do Brasil de 1984, 1994 e 2004 -MME/FTDE, BEN - MME de 2015-2014 e BERS - CEEE de 2015-2014

## Resultados e conclusões

Alguns tópicos serão abordados relativamente aos agregados de todas as atividades ou de todos os energéticos, tomados em conjunto ou para cada energético em particular, para todas as atividades agregadas por energético e por forma para o Brasil e para o Rio Grande do Sul, comparativamente, conforme o tempo esticado em seus recortes espaciais, isto é, para 1884,1994, 2004, 2010 e 2014.

Os resultados e conclusões destacarão alguns conceitos importantes, como rendimentos médios, progresso tecnológico, potencial de economia de energia, estrutura da energia útil e elasticidades. Dito isso, “mãos à obra”.

Os rendimentos médios expressos por meio de figuras tridimensionais mostram os rendimentos médios totais da energia — todos os energéticos tomados em conjunto<sup>32</sup> — para o Brasil e para o Rio Grande do Sul, considerando os anos de 1984, 1994, 2004, 2010 e 2014, resultantes de dois vetores: energia útil e demanda final.

O que os modelos dizem é que o Brasil é mais eficiente do que o Rio Grande do Sul para todos os anos mencionados em sua matriz energética. Mas como isso é possível, se os rendimentos no tempo<sup>33</sup> para as formas<sup>34</sup> de energia útil, para cada atividade<sup>35</sup>, bem como suas destinações, isto é, os endereços dados à demanda final de uma atividade qualquer para as diversas formas elencadas é a mesma para o Brasil e para o Rio Grande do Sul?

A resposta não é tão fácil, porém, ela decorre do fato de que a estrutura da matriz energética do Rio Grande do Sul é diferente da brasileira, a qual privilegia os rendimentos mais elevados de uma forma em relação a outra dentro de uma mesma atividade, e também por usar energéticos de rendimentos mais eleva-

<sup>32</sup> **Energético (i)**: gás natural, carvão-vapor, carvão metalúrgico, lenha, bagaço de cana, outros: energia eólica e outros produtos agrícolas (biogás, lixívia), diesel, óleo combustível, gasolina, GLP, querosene, gás, coque, lenha, bagaço de cana, eletricidade, carvão vegetal, outros secundários do petróleo, alcatrão e total; (i) =20.

<sup>33</sup> **Tempo (t)**: 1984, 1994, 2004, 2010 e 2014; (t) = 5.

<sup>34</sup> **Forma (f)**: força motriz, calor de processo, aquecimento direto, refrigeração, iluminação eletroquímica, outros e total; (f)=8.

<sup>35</sup> **Atividade (j)**: setor energético, residencial, comercial, público, agropecuário, rodoviário, ferroviário, aeroviário, hidroviário, cimento, siderúrgico, ferro liga e aço, mineração e politização, não ferrosos e outros metalúrgicos, química, alimentos e bebidas, têxtil, papel e celulose, cerâmica, outros; (j) = 20.

dos para a mesma forma de uma mesma atividade qualquer. Para elucidar, no Brasil, a participação do gás natural, dos produtos de cana e outros primários é muito maior que desses mesmos energéticos no Rio Grande do Sul, e isso pesa para as diferenças entre os rendimentos encontrados tanto no Brasil quanto no Rio Grande do Sul, que ainda mantém certo peso para o carvão, com rendimentos mais baixos, comparativamente, no mesmo propósito.

Ainda, dentro da mesma ideia, se se fizer um mergulho nas formas de energia e considerando-se o ano de 2014, em referência ao agregado de todos os energéticos e atividades, para fins de esclarecimento, o que destoa, entre todas as formas, é a relativa ao aquecimento direto, em que os rendimentos do Brasil, 0,63, superam, em muito, os do Rio Grande do Sul, 0,49. As demais formas são muito parecidas e, quanto aos setores, dentro da mesma forma considerada, os que mais diferem são: química e cerâmica ao se comparar o Rio Grande do Sul com o Brasil. Veja a Figura 20 abaixo.

De qualquer maneira, são 30 anos de história que mostram a desvantagem da matriz de energia útil gaúcha em relação à brasileira, o que fica muito claro ao se ler o eixo horizontal das figuras, que mostra que o rendimento médio do Rio Grande do Sul em 2014 é equivalente ao brasileiro de 1994. São 20 anos de defasagem.

Se se prestar a atenção nas Figuras 20, 21, 22 e 23, dá-se mais um passo para entender essa diferença de rendimentos. A Figura 20 mostra os rendimentos médios para todas as atividades, por forma, para o Brasil e Rio Grande do Sul, mostrando que a diferença se agudiza na forma de aquecimento direto: 63% para o Brasil e 49% para o Rio Grande do Sul, como já dito.

Ao se combinar a Figura 20 com a Figura 21 — que se refere à estrutura da demanda final, tanto para o Brasil como para o Rio Grande do Sul —, o peso da estrutura da demanda final está na força motriz, com rendimentos beirando os 50% e com participação de cerca de 56% para o RS contra 46% para o Brasil. Essa diferença de 10 pontos percentuais é compensada pelas formas de calor de processo, com rendimentos de 83% e 80%, e aquecimento direto com rendimentos de 63% e 49%, para o Brasil e Rio Grande do Sul, respectivamente, e é aí que se verifica a diferença de rendimentos médios totais entre o Brasil e o Rio Grande do Sul.

A Figura 22 conta a mesma história, sob o ponto de vista da estrutura da energia útil, em que as diferenças estruturais aumentam um pouco mais em relação à figura anterior, justamente pelas diferenças de rendimentos em favor do Brasil. Enquanto a Figura 23 confirma as anteriores ao estruturar a energia útil, por forma, medida em termos da demanda final total.

Figura 20

Rendimentos médios totais, por forma, em percentual, para o Brasil e o Rio Grande do Sul — 2014

Formas de Uso/Total das Atividades	RS - Rendimentos Médios	BR - Rendimentos Médios
Força Motriz	0,47	0,49
Calor de Processo	0,80	0,83
Aquecimento Direto	0,49	0,63
Refrigeração	0,74	0,75
Iluminação	0,24	0,25
Eletroquímica	0,61	0,63
Outros	0,99	0,99
Total	0,53	0,60

Fonte: Elaboração Original de Jaques Alberto Bensussan, a partir dos Balanços de Energia Útil do Brasil de 1984, 1994 e 2004 -MME/FTDE, BEN - MME de 2015-2014 e BERS - CEEE

Figura 21

Estrutura da demanda final, por forma e em percentual, para o Brasil e o Rio Grande do Sul — 2014

Formas de Uso/Total das Atividades	RS - Estrutura da Demanda Final	BR - Estrutura da Demanda Final
Força Motriz	55,81	46,46
Calor de Processo	14,03	22,52
Aquecimento Direto	20,97	23,19
Refrigeração	4,16	3,29
Iluminação	4,13	3,48
Eletroquímica	0,33	0,61
Outros	0,57	0,45
Total	100,00	100,00

Fonte: Elaboração Original de Jaques Alberto Bensussan, a partir dos Balanços de Energia Útil do Brasil de 1984, 1994 e 2004 -MME/FTDE, BEN - MME de 2015-2014 e BERS - CEEE de 2015-2014

As Figuras 24 e 26, tridimensionais, para o Brasil e o Rio Grande do Sul, respectivamente, para os anos de 1984, 1994, 2004, 2010 e 2014, mostram as relações entre os rendimentos médios, demanda final e energia útil, em que a superfície de resposta confirma o que as Figuras 25 e 27 comunicam. E mais, as Figuras 25 e 27 foram construídas especialmente para a confecção das Figuras 24 e 26 respectivamente.

Figura 22

Estrutura da energia útil, por forma e em percentual, para o Brasil e o Rio Grande do Sul — 2014

Formas de Uso/Total das Atividades	RS - Estrutura da Energia Útil	BR - Estrutura da Energia Útil
Força Motriz	49,90	37,99
Calor de Processo	21,33	30,91
Aquecimento Direto	19,57	24,23
Refrigeração	5,85	4,06
Iluminação	1,91	1,44
Eletroquímica	0,38	0,63
Outros	1,06	0,74
<b>Total</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>

Fonte: Elaboração Original de Jaques Alberto Bensussan, a partir dos Balanços de Energia Útil do Brasil de 1984, 1994 e 2004 -MME/FTDE, BEN - MME de 2015-2014 e BERS - CEEE

Figura 23

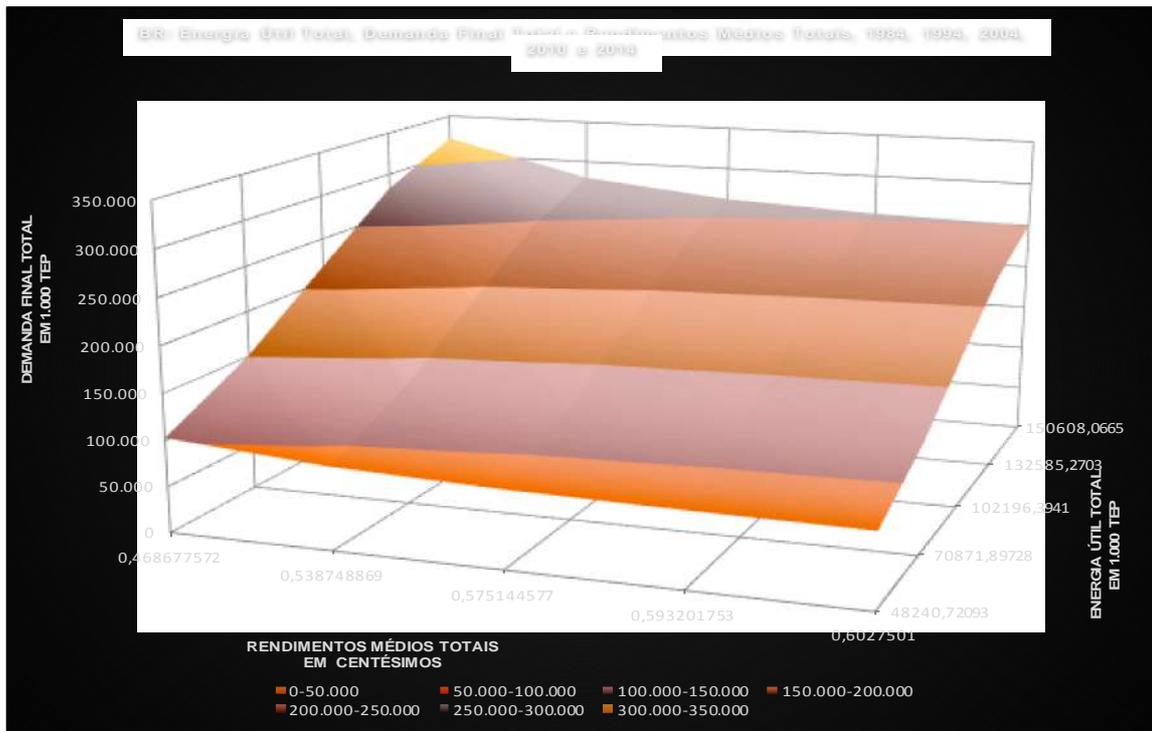
Energia útil, em termos da demanda final, por forma e em percentual, para o Brasil e o Rio Grande do Sul — 2014

Formas de Uso/Total das Atividades	RS - Energia Útil / Demanda Final	BR - Energia Útil / Demanda Final
Força Motriz	26,358	22,898
Calor de Processo	11,268	18,629
Aquecimento Direto	10,335	14,607
Refrigeração	3,093	2,45
Iluminação	1,007	0,866
Eletroquímica	0,202	0,382
Outros	0,561	0,444
<b>Total</b>	<b>52,823</b>	<b>60,276</b>

Fonte: Elaboração Original de Jaques Alberto Bensussan, a partir dos Balanços de Energia Útil do Brasil de 1984, 1994 e 2004 -MME/FTDE, BEN - MME de 2015-2014 e BERS - CEEE de 2015-2014

Figura 24

Energia útil total, demanda final total e rendimentos médios no Brasil — 1984-2014



NOTA: Elaborada a partir dos Balanços Energéticos Úteis do Brasil e do Rio Grande do Sul de 1984, 1994 e 2004.

Figura 25

Energia útil total, demanda final total e rendimentos médios totais no Brasil — 1984, 1994, 2004, 2010 e 2014

Anos	1984	1994	2004	2010	2014	Energia Útil/Demanda Final Útil
RS - Rendimentos Médios para o Total das Atividades	48.245	70.873	102.198	132.588	150.610	
0,47	102.929	151.217	218.053	282.892	321.347	
0,54	89.542	131.549	189.692	246.098	279.552	
0,58	83.876	123.224	177.688	230.525	261.861	
0,59	81.323	119.474	172.279	223.508	253.890	
0,60	80.034	117.581	169.550	219.967	249.868	

Fonte: Elaboração Original de Jaques Alberto Bensussan, a partir dos Balanços de Energia Útil do Brasil de 1984, 1994 e 2004 - MME/FTDE, BEN - MME de 2010-2014 e BERS - CEEE de 2010-2014



Ao se passar a Figura 28, referente ao Rio Grande do Sul e ao Brasil, mostra-se que o progresso tecnológico intensifica-se nas formas de Iluminação, seja pela evolução tecnológica envolvendo as lâmpadas ou pelo advento da tecnologia *inverter* na refrigeração. Fica clara a relação entre rendimentos, por forma, por energético ou para o agregado, e a importância do progresso tecnológico para a configuração das relações entre a demanda final e a energia útil.

Figura 28

Progresso tecnológico agregado, por forma, em percentual ao ano, para o Brasil e o Rio Grande do Sul — 1984-1984

Formas de Uso/Total das Atividades	RS -	BR -
	Progresso	Progresso
	1984-2004	1984-2004
Força Motriz	0,81	0,76
Calor de Processo	0,65	0,55
Aquecimento Direto	1,22	1,28
Refrigeração	1,5	1,41
Iluminação	3,71	3,8
Eletroquímica	0,93	1,01
Outros		
Total	0,89	0,84

Fonte: Elaboração Original de Jaques Alberto Bensussan, a partir dos Balanços de Energia Útil do Brasil de 1984, 1994 e 2004 - MME/FTDE, BEN - MME de 2015-2014 e BERS - CEEE

As Figuras 29 e 30, para o Brasil, e as Figuras 31 e 32, para o Rio Grande do Sul, referem-se a 2004 e 2010 e sintetizam o potencial de economia de energia, por energético, o que vale dizer: se a demanda final, baseada nos rendimentos correntes, fosse calculada pelos rendimentos de referência, que representam o estado da arte em 2004, como fez a própria EPE, mostrando um potencial de aproximadamente 8% a 4% para o Brasil e de 9% a 4,5% para o Rio Grande do Sul, respectivamente, para os anos de 2004 e 2010<sup>36</sup>. Entre os energéticos com maior potencial de economia de energia, destacam-se a gasolina, o GLP, o querosene, a lenha, os produtos de cana e a eletricidade.

A FDTE fez as pesquisas para os Balanços de Energia Útil do Brasil para 1984, 1994 e 2004. Esperava-se uma atualização para 2014. Entrou-se em contato com a EPE, e Carla da Costa Lopes Achão, analista de pesquisa energética da EPE, afirmou que a atualização foi prejudicada por severas restrições orçamentárias, que perduram em 2017 e não apresentam perspectivas de realização.

Com a nova pesquisa, haveria alterações nos rendimentos correntes e nos de referência, que deveriam representar o novo estado da arte. Além disso, mudanças estruturais da economia e da energia poderão

<sup>36</sup> Os rendimentos correntes para 2010 foram construídos em um ponto médio entre os rendimentos correntes de 2004 e seus rendimentos de referência para o mesmo ano.

alterar os coeficientes de distribuição, o que imprime um caráter dinâmico ao planejamento e uma atenção permanente. Tudo isso, no entanto, está em compasso de espera.

Figura 29

Potencial de economia de energia, por energético, em 1.000 tEP e em percentagem para o Brasil — 2004

Fluxos de Energia	Demanda Final em 1.000 tEP	Potencial de Economia de Energia em 1.000 tEP	Potencial de Economia de Energia (%)
GÁS NATURAL	11.448	499	4,4
Carvão Vapor	2.839	151	5,3
CARVÃO METALÚRGICO			
LENHA	15.752	1.260	8,0
PRODUTOS DA CANA	20.273	1.234	6,1
OUTRAS FONTES PRIMÁRIAS	4.018	245	6,1
ÓLEO DIESEL	32.879	1.523	4,6
ÓLEO COMBUSTIVEL	6.513	424	6,5
GASOLINA	13.607	2.715	20,0
GLP	7.182	1.154	16,1
QUEROSENE	2.369	235	9,9
Gás de Cidade e Coqueria	1.342	62	4,7
COQUE DE CARVÃO MINERAL	6.817	347	5,1
ELETRICIDADE	30.955	3.072	9,9
CARVÃO VEGETAL	6.353	362	5,7
ÁLCOOL ANIDRO E HIDRATADO	6.445	184	2,9
OUTRAS SEC. DE PETRÓLEO	8.848	629	7,1
ALCATRÃO	50	4	7,3
<b>TOTAL</b>	<b>177.688</b>	<b>14.101</b>	<b>7,9</b>

Fonte: Elaboração Original de Jaques Alberto Bensussan a partir de Dados Brutos dos Balanços de Energia Útil, MME/EPE/FDTE

Figura 30

Potencial de economia de energia, por energético, em 1.000 tEP e em percentagem, para o Brasil — 2010

Fluxos de Energia	Demanda Final em 1.000 tEP	Potencial de Economia de Energia em 1.000 tEP	Potencial de Economia de Energia (%)
GÁS NATURAL	15.435	8	2,3
Carvão Vapor	3.237	14	2,5
CARVÃO METALÚRGICO			3,5
LENHA	17.052	65	4,0
PRODUTOS DA CANA	30.066	0	3,0
OUTRAS FONTES PRIMÁRIAS	6.043	21	3,0
ÓLEO DIESEL	41.498	56	2,4
ÓLEO COMBUSTIVEL	4.939	3	3,4
GASOLINA	17.578	152	10,0
GLP	7.701	40	8,1
QUEROSENE	3.195	7	5,0
Gás de Cidade e Coqueria	1.434	0	2,4
COQUE DE CARVÃO MINERAL	7.516	0	2,6
ELETRICIDADE	39.964	114	5,0
CARVÃO VEGETAL	4.648	1	2,9
ÁLCOOL ANIDRO E HIDRATADO	12.041	8	1,4
OUTRAS SEC. DE PETRÓLEO	11.065	10	3,6
ALCATRÃO	95		3,6
<b>TOTAL</b>	<b>223.508</b>	<b>498</b>	<b>3,9</b>

Fonte: Elaboração Original de Jaques Alberto Bensussan a partir de Dados Brutos dos Balanços de Energia Útil, MME/EPE/FDTE

Figura 31

Potencial de economia de energia, por energético, em 1.000 tEP e em percentagem, para o Rio Grande do Sul — 2004

Fluxos de Energia	Demanda Final em 1.000 tEP	Potencial de Economia de Energia em 1.000 tEP	Potencial de Economia de Energia (%)
GÁS NATURAL	311	14	4,4
Carvão Vapor	241	15	6,4
CARVÃO METALÚRGICO			
LENHA	1.253	91	7,2
PRODUTOS DA CANA	0	0	0,0
OUTRAS FONTES PRIMÁRIAS	501	23	4,7
ÓLEO DIESEL	2.207	99	4,5
ÓLEO COMBUSTIVEL	285	13	4,5
GASOLINA	1.076	215	20,0
GLP	359	60	16,7
QUEROSENE	97	9	9,6
Gás de Cidade e Coqueria			
COQUE DE CARVÃO MINERAL			
ELETRICIDADE	1.890	202	10,7
CARVÃO VEGETAL	33	3	8,6
ÁLCOOL ANIDRO E HIDRATADO	98	3	2,9
OUTRAS SEC. DE PETRÓLEO	57	4	7,6
ALCATRÃO			
TOTAL	8.408	751	8,9

Fonte: Fonte: Elaboração Original de Jaques Alberto Bensussan a partir de Dados Brutos dos Balanços de Energia Útil, MME/EPE/FDTE

Figura 32

Potencial de economia de energia, por energético, em 1.000 tEP e em porcentagem, para o Rio Grande do Sul — 2010

Fluxos de Energia	Demanda Final em 1.000 tEP	Potencial de Economia de Energia em 1.000 tEP	Potencial de Economia de Energia (%)
GÁS NATURAL	398	8	1,9
Carvão Vapor	443	14	3,2
CARVÃO METALÚRGICO			
LENHA	1.740	65	3,7
PRODUTOS DA CANA	9	0	3,0
OUTRAS FONTES PRIMÁRIAS	590	21	3,6
ÓLEO DIESEL	2.500	56	2,3
ÓLEO COMBUSTIVEL	122	3	2,2
GASOLINA	1.522	152	10,0
GLP	507	40	7,9
QUEROSENE	136	7	4,9
Gás de Cidade e Coqueria			
COQUE DE CARVÃO MINERAL			
ELETRICIDADE	2.232	114	5,1
CARVÃO VEGETAL	26	1	4,3
ÁLCOOL ANIDRO E HIDRATADO	550	8	1,4
OUTRAS SEC. DE PETRÓLEO	209	10	4,9
ALCATRÃO			
TOTAL	10.986	498	4,5

Fonte: Elaboração Original de Jaques Alberto Bensussan a partir de Dados Brutos dos Balanços de Energia Útil, MME/EPE/FDTE

As Figuras 33 e 34, a seguir, exibem a estrutura da energia útil em termos da demanda final total, por forma, e considerando a agregação de todas as atividades, tanto para o Brasil como para o Rio Grande do Sul, referentes ao ano de 2014. É verdade que estão disponíveis, essas informações, para cada uma das atividades, gerando uma verdadeira matriz de coeficientes da relação mencionada, que, se for multiplicada pelo vetor da demanda final total, poderá gerar outra matriz completa da energia útil. A importância disso está na possibilidade de confecção das matrizes de energia útil a partir de seus respectivos Balanços Energéticos no tempo passado, presente e em uma dimensão prospectiva. Nesse caso, a própria matriz de coeficientes da relação energia útil medida em termos da demanda final total poderia, ela mesma, sofrer alterações, quer pela entrada de novos energéticos, quer pelo progresso tecnológico ou por mudanças estruturais da economia e da energia.

Fixando a atenção na Figura 33, referente ao Brasil de 2014, verifica-se o destaque para: bagaço de cana na forma de calor de processo; óleo diesel, gasolina e querosene na forma de força motriz; GLP em aquecimento direto; e eletricidade que permeia todas as formas, em especial, a força motriz.

Observa-se o rendimento médio total de 60,3%, com destaque à força motriz, calor de processo e aquecimento direto, com, aproximadamente, 23%, 19% e 15 %, respectivamente, da geração de energia útil em termos da demanda final total.

Agora, fixando-se a atenção na Figura 34, referente ao Rio Grande do Sul de 2014, verifica-se o destaque para: lenha na forma de aquecimento direto; óleo diesel, gasolina e querosene na forma de força motriz; GLP em aquecimento direto; e eletricidade, que permeia todas as formas, em especial, a força motriz.

Observa-se o rendimento médio total de 52,8%, com destaque à força motriz, calor de processo e aquecimento direto, com, aproximadamente, 26%, 11% e 10 %, respectivamente, da geração de energia útil em termos da demanda final total.

As diferenças estruturais, expressas numericamente, do aquecimento direto entre o Brasil e o Rio Grande do Sul, como já visto, talvez possam explicar a diferença de rendimentos médios totais entre os dois espaços. Ainda deve ser dito que, além do ano de 2014, têm-se as mesmas informações para 1984, 1994, 2004 e 2010.

Figura 33

Estrutura da matriz de energia útil, em percentagem da demanda final total, por energético e por forma para o total das atividades no Brasil — 2014

BR Formas de Uso/Energéticos	Força Motriz	Calor de Processo	Aquecimento Direto	Refrigeração	Iluminação	Eleto-Química	Outros	Total
Gás Natural	0,239	1,647	3,712	0,000	0,000	0,000	0,000	5,599
C arvão Vapor	0,000	0,399	0,676	0,000	0,000	0,000	0,000	1,075
Carvão Metalúrgico	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Lenha	0,000	1,597	1,764	0,000	0,000	0,000	0,000	3,361
Bagago de Cana	0,000	9,281	0,073	0,000	0,000	0,000	0,000	9,354
O PRIM.	0,000	2,191	0,019	0,000	0,000	0,000	0,000	2,210
Óleo Diesel	8,986	0,132	0,019	0,000	0,000	0,000	0,000	9,136
Óleo Combustível	0,269	0,539	0,296	0,001	0,000	0,000	0,000	1,105
Gasolina	3,604	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	3,604
GLP	0,029	0,291	1,777	0,000	0,000	0,000	0,000	2,097
Querosene.	0,584	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,585
Gás de Cidade de Coqueria	0,000	0,068	0,392	0,000	0,000	0,000	0,000	0,460
Coque	0,000	0,000	2,497	0,000	0,000	0,000	0,000	2,497
Eletricidade	6,830	1,337	1,101	2,449	0,866	0,382	0,444	13,409
Carvão Vegetal	0,000	0,002	1,107	0,000	0,000	0,000	0,000	1,109
Álcool	1,824	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,824
Outros Secundários do Petróleo	0,533	1,131	1,158	0,000	0,000	0,000	0,000	2,822
Alcatrão	0,000	0,013	0,016	0,000	0,000	0,000	0,000	0,029
<b>Total</b>	<b>22,898</b>	<b>18,629</b>	<b>14,607</b>	<b>2,450</b>	<b>0,866</b>	<b>0,382</b>	<b>0,444</b>	<b>60,276</b>

Fonte: Elaboração Original de Jaques Alberto Bensussan a partir dos Balanços de Energia do Brasil: BENs e BEUs, 1984, 1994 e 2004

Figura 34

Estrutura da matriz de energia útil, em percentagem da demanda final total, por energético e por forma, para o total das atividades no Rio Grande do Sul — 2014

RS Formas de Uso/Energéticos	Força Motriz	Calor de Processo	Aquecimento Direto	Refrigeração	Iluminação	Eleto-Química	Outros	Total
Gás Natural	0,178	0,896	1,772	0,000	0,000	0,000	0,000	2,845
C arvão Vapor	0,000	1,950	0,655	0,000	0,000	0,000	0,000	2,606
C arvão Metalúrgico	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Lenha	0,000	2,864	3,120	0,000	0,000	0,000	0,000	5,984
Bagaço de Cana	0,000	0,057	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,057
O PRIM.	0,000	1,973	1,014	0,000	0,000	0,000	0,000	2,987
Óleo Diesel	10,332	0,090	0,025	0,000	0,000	0,000	0,000	10,447
Óleo Combustível	0,016	0,347	0,117	0,001	0,000	0,000	0,000	0,482
Gasolina	5,670	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	5,670
GLP	0,040	0,366	2,163	0,000	0,000	0,000	0,000	2,569
Querosene.	0,534	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,535
Gás de Cidade de Coqueria	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Coque	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Eletricidade	6,504	1,727	1,172	3,092	1,007	0,202	0,561	14,264
Carvão Vegetal	0,000	0,000	0,093	0,000	0,000	0,000	0,000	0,093
Álcool	1,851	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,851
Outros Secundários do Petróleo	1,235	0,997	0,203	0,000	0,000	0,000	0,000	2,435
Alcatrão	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<b>Total</b>	<b>26,358</b>	<b>11,268</b>	<b>10,335</b>	<b>3,093</b>	<b>1,007</b>	<b>0,202</b>	<b>0,561</b>	<b>52,823</b>

Fonte: Elaboração Original de Jaques Alberto Bensussan a partir dos Balanços de Energia do Brasil: BENs e BEUs, 1984, 1994 e 2004

Na sequência, apresentam-se as Figuras 35 e 36 para o Brasil e o Rio Grande do Sul, baseadas no ano de 2014 e, quando se tratar de taxas, considera-se o período de 1984 a 2014. São Figuras que arrematarão a síntese. Embora pareça recorrente, é bom lembrar que as Figuras 33 e 34 referem-se ao total de todas as atividades e formas para cada energético, que também estão prontas para os anos de 1984, 1994, 2004, 2010 e 2014, bem como as taxas anuais, calculadas geometricamente, referem-se aos diversos subperíodos dos anos citados.

Nas Figuras 35 e 36 aparecem as dimensões numéricas de diversas variáveis, com especial destaque para as elasticidades relativas à energia útil em relação à demanda final, significando a variação percentual de crescimento da energia útil quando a demanda final sofrer um acréscimo de 1%. Como se pode depreender pelo parágrafo anterior, existem matrizes de elasticidades para cada energético, considerando-se suas formas e todas as atividades, uma a uma. E mais: estão disponíveis essas matrizes para todas as combinações dos subperíodos considerados, como, por exemplo, 1994 a 2014 ou 2010 a 2014, entre outras ainda não publicadas.

Figura 35

Demanda final, energia útil, rendimentos médios e taxa de crescimento do progresso tecnológico por energético, no Brasil — 2014

Fluxos de Energia/Energéticos	Demanda Final em 1.000 IEP, 2014	Tx.Crescimento em (%a.a) (1)	Energia Útil em 1.000 IEP, 2014	Tx.Crescimento em (%a.a) (1)	Rendimentos Médios, 2014	Elasticidades (1)	Tx.Crescimento do Progresso Tecnológico em (%a.a) (1)
GÁS NATURAL	18.138	10,11	13.990	10,37	0,77	1,03	0,24
CARVÃO VAPOR	3.821	3,37	2.684	5,02	0,70	1,49	1,60
CARVÃO METALÚRGICO	0	0,00	0	0,00	0,00	0,00	0,00
LENHA	16.672	-0,76	8.398	0,74	0,50	-0,98	1,51
PRODUTOS DA CANA	28.612	3,32	23.372	4,11	0,82	1,24	0,76
OUTRAS FONTES PRIMÁRIAS	6.868	6,84	5.523	7,73	0,80	1,13	0,83
ÓLEO DIESEL	49.935	3,84	22.828	4,71	0,46	1,23	0,84
ÓLEO COMBUSTÍVEL	4.086	-2,41	2.762	-2,10	0,68	0,87	0,33
GASOLINA	25.740	4,86	9.006	6,49	0,35	1,34	1,53
GLP	8.363	2,69	5.240	3,47	0,63	1,29	0,76
QUEROSENE	3.655	2,01	1.461	3,18	0,40	1,58	1,14
GÁS DE CIDADE E DE COQUERIA	1.430	5,60	1.149	7,31	0,80	1,31	1,62
COQUE DE CARVÃO MINERAL	8.018	1,99	6.238	2,36	0,78	1,19	0,36
ELETRICIDADE	45.655	4,08	33.504	4,90	0,73	1,20	0,79
CARVÃO VEGETAL	3.963	-1,32	2.770	-0,60	0,70	0,46	0,72
ALCOOL ETÍLICO ANIDRO E HIDRATADO	13.019	4,53	4.557	4,85	0,35	1,07	0,30
OUTRAS SECUNDÁRIAS DE PETRÓLEO	11.803	5,49	7.051	5,39	0,60	0,98	-0,09
ALCATRÃO	92	-7,82	74	-7,35	0,80	0,94	0,51
<b>Total</b>	<b>249.868</b>	<b>3,00</b>	<b>150.608</b>	<b>3,87</b>	<b>0,60</b>	<b>1,29</b>	<b>0,84</b>

Fonte: Elaboração Original de Jacques Alberto Benetton a partir de dados brutos dos Balanços de Energia Útil, MME/EPE/DTDE

Nota (1): Refere-se ao Período de 2014 a 1984

Figura 36

Demanda final, energia útil, rendimentos médios e taxa de crescimento do progresso tecnológico, por energético, no Rio Grande do Sul — 1984-2014

Fluxos de Energia/Energéticos	Demanda Final em 1.000 tEP, 2014	Tx.Crescimento em (%a.a) (1)	Energia Útil em 1.000 tEP, 2014	Tx.Crescimento em (%a.a) (1)	Rendimentos Médios, 2014	Elasticidades (1)	Tx.Crescimento do Progresso
GÁS NATURAL	482	0,00	362	0,00	0,75	0,00	0,00
CARVÃO VAPOR	573	1,94	332	2,49	0,58	1,28	0,54
CARVÃO METALÚRGICO	0	0,00	0	0,00	0,00	0,00	0,00
LENHA	1.612	1,45	762	2,28	0,47	1,57	0,82
PRODUTOS DA CANA	9	0,00	7	0,00	0,82	0,00	0,00
OUTRAS FONTES PRIMÁRIAS	567	4,07	380	8,54	0,67	2,10	4,29
ÓLEO DIESEL	2.941	2,93	1.330	3,78	0,45	1,29	0,83
ÓLEO COMBUSTÍVEL	81	-4,45	61	-4,06	0,75	0,91	0,40
GASOLINA	2.064	4,54	722	6,17	0,35	1,36	1,56
GLP	528	1,91	327	2,66	0,62	1,39	0,74
QUEROSENE	171	4,32	68	5,32	0,40	1,23	0,95
GÁS DE CIDADE E DE COQUERIA	0	0,00	0	0,00	0,00	0,00	0,00
COQUE DE CARVÃO MINERAL	0	0,00	0	0,00	0,00	0,00	0,00
ELETRICIDADE	2.528	4,14	1.816	5,00	0,72	1,21	0,83
CARVÃO VEGETAL	34	1,28	12	2,42	0,35	1,89	1,13
ÁLCOOL ETÍLICO ANIDRO E HIDRATADO	675	5,98	236	6,29	0,35	1,05	0,29
OUTROS SECUNDÁRIOS DE PETRÓLEO	470	6,13	310	7,82	0,66	1,28	1,59
ALCATRÃO	0	0,00	0	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	12.734	3,19	6.727	4,11	0,53	1,29	0,89

Fonte: Elaboração Original de Jaques Alberto Bensussan a partir de dados brutos dos Balanços de Energia Útil, MME/EPE/FDTE

Nota (1): Refere-se ao Período de 2014 a 1984

Ainda dentro da síntese, as Figuras 37 e 38, referentes ao Brasil e ao Rio Grande do Sul, respectivamente, representam de modo mais efetivo o significado de certas relações, tais como: elasticidades, perdas, energia útil e demanda final. O que existe de mais efetivo, afinal? É que nessas figuras, as relações baseiam-se nos pontos extremos, isto é, 1984, 1994, 2004, e 2014. Nessa nova preposição, encerrada nas Figuras 37 e 38, cada subperíodo — 1984-94, 1994-2004, 2004-14 e 1984-2014 — é interpolado geometricamente, permitindo o cálculo da soma dos termos de uma progressão geométrica em cada um de seus subperíodos e comparado com as Figuras 25 e 27, calculadas para os pontos extremos, tão somente. Agora, tem-se, a título de elucidação, para o subperíodo 1984-2014, de 30 anos, tomando como base a demanda final em 100%, o rendimento agregado para Brasil (55,9%) e para o Rio Grande do Sul (48,0%). Isso quer dizer que, em 30 anos, o Brasil aproveitou sob a forma de energia útil em 1.000 tEP, 2.965.367 dos 5.303.619 requeridos — demanda final. A diferença são as perdas, 44,1%. Enquanto o Rio Grande do Sul, em 1.000 tEP, aproveitou, nesses mesmos 30 anos, 126.884 dos 264.280 requeridos e a diferença são as perdas, 52%.

Figura 37

Energia útil, demanda final e perdas, por subperíodos, em 1.000 tEP e em percentagem, no Brasil — 1984-2014

Anos	Energia Útil	Demanda	Perdas	Períodos	Sn1 (EU)	Sn2 (DF)	Perdas	Rendimen	Perdas	Demanda Final
	Em 1.000 tEP	<sup>Final</sup> Em 1.000 tEP								
1.984	48.245	102.929	54.684	1984-1984	647.987	1.283.842	635.855	50,5	49,5	100,0
1.994	70.873	131.549	60.676	2004-1994	942.453	1.689.377	746.924	55,8	44,2	100,0
2.004	102.198	177.688	75.490	2014-2004	1.374.995	2.331.297	956.302	59,0	41,0	100,0
2.014	150.610	249.868	99.258	2014-1984	2.965.435	5.304.516	2.339.081	55,9	44,1	100,0

Fonte: Elaboração Original de Jaques Alberto Bensusan baseada nos Balanços de Energia Útil do Brasil, 1984, 1994 e 2004 e BERS-RS, 1984, 1994 e 2004.

Nota 1 : Soma dos Termos de uma Progressão Geométrica, por Período (Sn da P.G.).

Nota 2: Sn1 Refere-se à Energia Útil e Sn2 à Demanda Final.

Figura 38

Energia útil, demanda final e perdas, por subperíodos, em tEP e em percentagem, no Rio Grande do Sul — 1984-2014

Anos	Energia Útil	Demanda	Perdas	Períodos	Sn1 (EU)	Sn2 (DF)	Perdas	Rendimen	Perdas	Demanda Final
	Em 1.000 tEP	<sup>Final</sup> Em 1.000 tEP								
1.984	2.007	4.957	2.950	1984-1984	28.205	65.073	36.868	43,3	56,7	100,0
1.994	3.205	6.978	3.773	2004-1994	40.103	84.403	44.300	47,5	52,5	100,0
2.004	4.121	8.408	4.287	2014-2004	58.615	114.804	56.189	51,1	48,9	100,0
2.014	6.727	12.734	6.007	2014-1984	126.923	264.280	137.357	48,0	52,0	100,0

Fonte: Elaboração Original de Jaques Alberto Bensusan baseada nos Balanços de Energia Útil do Brasil, 1984, 1994 e 2004 e BERS-RS, 1984, 1994 e 2004.

Nota 1 : Soma dos Termos de uma Progressão Geométrica, por Período (Sn da P.G.).

Nota 2: Sn1 Refere-se à Energia Útil e Sn2 à Demanda Final.

Para finalizar, incluem-se algumas relações passíveis de comparação dos Estados Unidos da América com o Brasil e o Rio Grande do Sul. A Figura 39, mais abaixo, mostra um Balanço de Energia Útil dos Estados Unidos para 2015, com uma clareza extraordinária, o que permitiu a construção, mais precisamente, o desdobramento das variáveis selecionadas, contidas nas Figuras 40 a 44. A Figura 44, por seu turno, representa o contraponto da comparação, englobando o Brasil e o Rio Grande do Sul.

A Figura 40, ao partir da referência centrada na energia primária dos Estados Unidos, aquela que não passou ainda pelo centro de transformação, como o petróleo, o gás natural, a energia hidráulica, etc., ao complementar-se com a Figura 41, chega à energia útil na outra ponta. Retornando à Figura 40 e adicionando-se a Figura 40, por seu turno, que se refere ao Brasil e ao Rio Grande do Sul, tem-se a referência no conceito de **disponibilidade primária de cada unidade espacial, representadas pelo Rio Grande do Sul e o Brasil para o ano de 2014; e pelos Estados Unidos para o ano de 2015.**

Quanto ao indicador de energia útil, conforme Figuras 42 e 44, em relação à disponibilidade primária, tem-se:

- a) Rio Grande do Sul: 33,4%;
- b) Brasil: 45,6; e
- c) Estados Unidos: 39,4.

O aproveitamento bem abaixo do RS em relação ao Brasil pode ser devido à estrutura de sua matriz em relação à do Brasil, principalmente na passagem da demanda final para a energia útil, com rendimentos médios de 60,3% e 52,8% para o Brasil e Rio Grande do Sul respectivamente.

E os Estados Unidos? Pode ter havido um viés na representação gráfica, devido à contemplação exclusiva do setor elétrico, sem considerar o setor do petróleo e seus derivados, cujas perdas, na verdade, são ínfimas, mas tem outros ingredientes, como o gás natural, em plantas de gás natural; e as usinas de gaseificação, entre outros, o que deslocaria para baixo, obviamente, o indicador de energia útil dos Estados Unidos.

Quanto ao indicador de perdas de transformação em relação à disponibilidade primária, tem-se:

- a) Rio Grande do Sul: 15,5%;
- b) Brasil: 9,3%; e
- c) Estados Unidos: 25,9%.

As perdas de transformação bem mais elevadas do Rio Grande do Sul em relação ao Brasil devem-se ao centro de transformação brasileiro ser mais eficiente na passagem de primários a secundários e, desses, a terciários, conforme Figuras 42 e 44.

Quanto aos Estados Unidos, seus 25,9% podem ser devidos ao carvão e gás natural e à pequena participação da energia hidráulica na geração de eletricidade.

Quanto ao indicador de perdas de energia útil em relação à disponibilidade interna primária, conforme Figuras 39 e 41.

- a) Rio Grande do Sul: 29,8,0%;
- b) Brasil: 30,1%; e
- c) Estados Unidos: 34,7%.

Nesse caso, o Rio Grande do Sul leva uma pequena vantagem sobre o Brasil, talvez, devido a uma maior eficiência de seus equipamentos na passagem da demanda de transformação para a demanda final, de 70,2% e 62,0%, respectivamente, ou, talvez, à sua estrutura matricial energética, conforme Figura 44.

Quanto aos Estados Unidos, se se prestar atenção na Figura 41, que tem como base a demanda final, em que o setor de transportes aparece com um rendimento de 21,9% na passagem da demanda final para a energia útil, enquanto o Brasil e o Rio Grande do Sul, em cerca de 40%<sup>37</sup>. Considerando, de outro modo pelo lado dos rendimentos médios de todos os setores em conjunto da matriz de cada espaço apreciado, as relações ficam assim: 60,3%<sup>38</sup> para o Brasil, 52,6%<sup>39</sup> para o RS, e 53% para os Estados Unidos.

Quanto ao indicador de perdas totais em relação à disponibilidade interna primária, conforme Figuras 41 e 43.

- a) Rio Grande do Sul: 47,3%;
- b) Brasil: 42,0%; e

---

<sup>37</sup> Cálculos feitos pelo autor em ensaios sobre a energia útil e o progresso tecnológico, ainda não publicados.

<sup>38</sup> Cálculos feitos pelo autor em ensaios sobre a energia útil e o progresso tecnológico, ainda não publicados.

<sup>39</sup> Conforme Figura 43 e cálculos feitos pelo autor em ensaios sobre a energia útil e o progresso tecnológico, ainda não publicados.

c) Estados Unidos: 60,6%.

Quanto ao indicador dos rendimentos do setor elétrico<sup>40</sup>:

a) Rio Grande do Sul: 51,7%;

b) Brasil: 62,0%; e

c) Estados Unidos: 33,2%.

Este indicador mostra a maior eficiência do setor energético brasileiro em relação ao do Rio Grande do Sul, por ser menos dependente do carvão-vapor como insumo: com a participação de 5,3% *versus* 37% do RS para a geração de eletricidade, com baixo rendimento. O Brasil, por seu turno, vale-se, em seu lugar, do gás natural, com 20,5% do total dos insumos para a geração de eletricidade e com rendimento mais elevado. No RS, para completar, o gás natural participa com apenas 3%.

Quanto aos Estados Unidos, a sua dependência ao carvão, gás natural e energia nuclear é de 86% em relação ao total dos insumos para a geração de energia elétrica e da hidráulica, de apenas 6,3%.

Se se colocarem as dimensões das economias destacadas, como a norte-americana, por exemplo, entre outras não mencionadas neste trabalho, coloca-se o sistema matricial energético como um dos grandes vetores que mais desperdiçam recursos naturais e que mais impactam, pela mesma razão, o meio ambiente, dado o atual estado da arte.

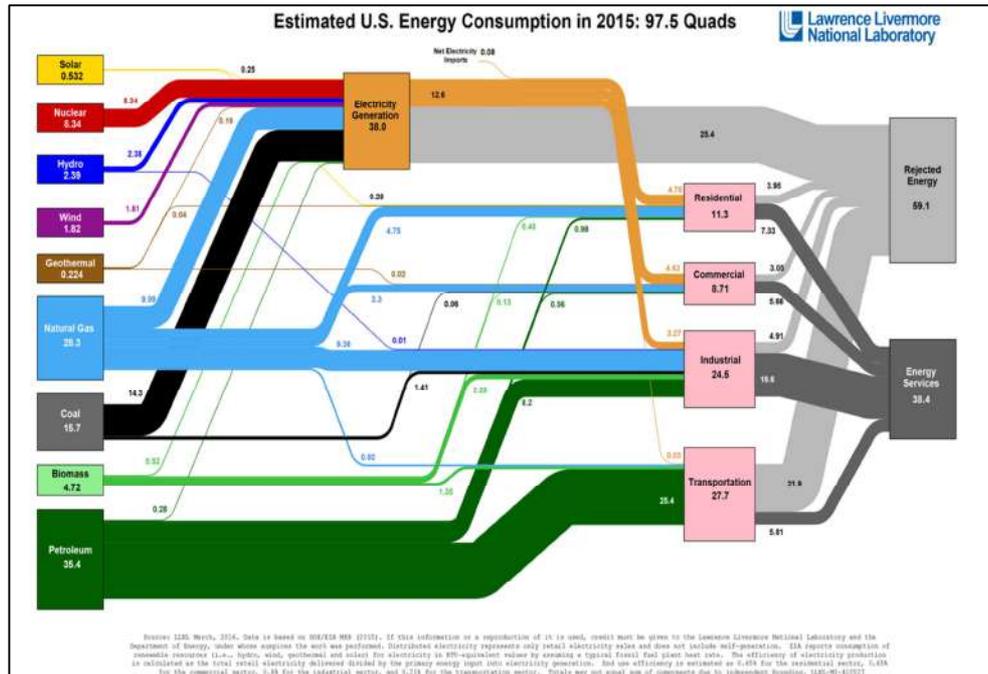
Isto não quer dizer que a posição mais confortável da nossa matriz energética em relação à norte-americana deva abrir mão da pesquisa e da inovação, muito pelo contrário. Isso vale, também, para qualquer nação que pretenda preservar os recursos naturais, impactar cada vez menos o meio e manter-se competitiva.

---

<sup>40</sup> Cálculos feitos pelo autor em ensaios sobre a energia útil e o progresso tecnológico, ainda não publicados.

Figura 39

Energia útil, em quads, dos Estados Unidos da América — 2015



FONTE: Lawrence Livermore National Laboratory (2015).

Figura 40

Consumo estimado de energia dos Estados Unidos — 2015

Primary Energy Sources and Net Electricity Imports	Primary Supply	Demand of Transformation Centers	Final Energy Consumption (Calculated)	Final Energy Consumption	Adjustments
solar		0,5	0,3	0,3	0,0
Nuclear	8,3	8,3	0,0	0,0	0,0
Hydro	2,4	2,4	0,0	0,0	0,0
Wind	1,8	1,8	0,0	0,0	0,0
Geothermal	0,2	0,2	0,1	0,1	0,0
Natural Gas	28,3	10,0	18,3	18,3	0,0
Coal	15,7	14,3	1,4	1,4	0,0
Biomass	4,7	0,5	4,2	4,2	0,0
Petroleum	35,4	0,3	35,1	35,1	0,0
Net Electricity Imports			0,1	0,1	0,0
Adjustments	0,1		0,1	0,1	0,0
<b>Total</b>	<b>97,5</b>	<b>38,0</b>	<b>59,5</b>	<b>59,6</b>	<b>-0,1</b>

Fonte : Elaboração Original de Jaques Alberto Bensussan a partir de Lawrence Livermore National Laboratory

Nota 1: 1 QUAD (short for quadrillion) = 10<sup>15</sup> BTU; 1 BTU = 1,059 kJoules (from 59,5° to 60,5° F)

Figura 41

Balço de energia útil dos Estados Unidos da América, por setores — 2015

Sectors	Useful Energy	Losses	Final Demand	Yield
Residencial	7,3	4,0	11,3	0,65
Commercial	5,7	3,1	8,7	0,65
Industrial	19,6	4,9	24,5	0,80
Transportation	5,8	21,9	27,7	0,21
<b>Total</b>	<b>38,4</b>	<b>33,8</b>	<b>72,2</b>	<b>0,53</b>

Fonte: Elaboração Original de Jaques Alberto Bensussan a partir de Laurence Livermore National Laboratory

Figura 42

Perdas primárias (de transformação), perdas finais (da demanda final para a energia útil) e perdas totais de energia dos Estados Unidos — 2015

Losses	QUADS	%
Primary Losses	25,3	25,9
Final Losses	33,8	34,7
<b>Total Losses</b>	<b>59,1</b>	<b>60,6</b>

Fonte: Elaboração Original de Jaques Alberto Bensussan a partir de Laurence Livermore National Laboratory

Figura 43

Insumo-produto, rendimentos e perdas do setor elétrico dos Estados Unidos — 2015

Input-Output and Yield	Values	Units
INPUT	38	Quads
OUTPUT	13	Quads
yield	33,2	%
Losses	66,8	%

Fonte: Elaboração Original de Jaques Alberto Bensussan a partir de Laurence Livermore National Laboratory

Figura 44

## Fluxos e relações de energia no Brasil e no Rio Grande do Sul — 2014

Fluxos	RS 2014		BR 2014	
	1.000 tEP	%	1.000 tEP	%
Disponibilidade Interna Primária	20.146	100,0	330.030	100,0
Demanda de Transformação Total (INPUT)	17.259	85,7	235.426	71,3
Perdas em Transporte e Armazenagem (PTA)	389	1,9	8.760	2,7
Demanda Final	12.734	63,2	249.868	75,7
Requerimentos Internos Primários	20.146	100,0	330.030	100,0
Output Total	14.135	70,2	204.770	62,0
Energia Útil	6.727	33,4	150.610	45,6
Perdas de Transformação	3.124	15,5	30.656	9,3
Perdas de Transformação + PTA	3.513	17,4	39.416	11,9
Perdas da Demanda Final/Energia Útil	6.007	29,8	99.258	30,1
Perdas Totais	9.520	47,3	138.674	42,0
Ajustes	0	0,0	278	0,08
Rendimentos da Transformação	70,2		62,0	

Fonte: Elaboração Original de Jaques Alberto Bensussan a partir do BEN e do BERGS, 2015-2014

## Recomendações

As recomendações, descritas a seguir, que procuram alcançar o futuro, compartilham com o presente algumas conquistas já ocorridas no âmbito federal, como o Plano Nacional de Energia 2030 da EPE, que se tornou referência, dada a sua excelência, e que avança para o Plano Nacional de Energia 2050.

A ideia do planejamento prospectivo parte da tênue imaginação humana sobre o futuro, dada a incerteza, da política e da economia, ciência e tecnologia ou através das invenções ou das inovações, essas a suscitar expectativas no mundo dos negócios.

Por essa razão, o planejamento prospectivo é uma arte que pode nascer solitária, mas precisa, obrigatoriamente, do compartilhamento, dada a complexidade de vetores que a integram para a formação de um incerto futuro. Talvez, muitos futuros possam surgir. Mas qual? Não existe uma trajetória de tendência capaz de, *ex-ante*, se ajustar ao futuro no longo prazo; ela pode ser um dos pontos de partida, mas nunca um ajuste confiável, pois o passado que ela contém terá apenas um efeito residual no futuro, apenas residual, nada mais, a menos que a ciência e tecnologia fossem paralisadas e a economia se tornasse totalmente inerte. Ao se admitirem tais hipóteses, seria como mergulhar em um exercício inútil. Mas a dinamicidade da economia, impulsionada por seus agentes com ideias que convergem, divergem ou se chocam moldará a trajetória, que se revelará aos poucos, mas, ao mesmo tempo, novos segredos serão gerados, entre o brilho da luz da manhã e a escuridão da noite.

Como conjugar os vetores formadores do futuro? Criando-se vários cenários alternativos a envolver, simultaneamente, a economia, a política, a sociedade, o meio ambiente, a ciência e a tecnologia que se constituirão nos ingredientes do novo. De que novo se está falando? Quando o novo será inovado e qual será a taxa de sua penetração? E quando o novo for desbancado por outro?

O balanço energético — um dos instrumentos do planejamento energético que necessita ser revigorado — deverá incluir novas colunas para abrigar a energia eólica, a energia solar, entre outras, permitindo, ainda, a inclusão dos rendimentos do setor de transformação (a sua estrutura a se projetar, prospectivamente, em diversos cenários, simulará os fluxos de energia, servindo de base para testar a capacidade instalada, projetada e em construção, possibilitando, assim, que sejam detectados os pontos de estrangulamento do sistema, em qualquer ponto demarcado do tempo, dentro do horizonte temporal de análise. Por outras palavras, poder-se-á saber da compatibilidade ou não da pressão dos fluxos sobre seus próprios recipientes, permitindo a confecção dos ajustes, isto é, dos investimentos no setor, quando necessários, com a devida antecedência. Em última análise, o planejamento energético deixaria de ser setorial, por energético, como tem sido verificado até aqui, para converter-se num vetor capaz de concretizar a ideia de um planejamento global e estratégico, apreciando seus aspectos ambientais, socioeconômicos, políticos e investigativos, ao propor linhas de pesquisa comprometidas com a riqueza e a potencialidades das terras e das águas brasileiras.

Para o devido aprimoramento, poder-se-á ensaiar anualmente o Balanço de Energia Útil, captando a evolução dos rendimentos tecnológicos em suas formas e atividades, que seria ajustada, posteriormente

com pesquisas de campo do MME e da FDTE, já realizados em 1984, 1994 e 2004, o que refinaria a projeção dos fluxos de energia, tendo em vista a ideia do potencial de economia de energia, do progresso tecnológico e de outras relações.

Em suma, esses esforços seriam de grande ajuda para avaliar e executar os investimentos requeridos pelo setor em tempo hábil, e deveriam ser institucionalizados em programas sincronizados de Estado, inclusive os federados, dentro de uma verdadeira federação, e conduzidos pelos governos na sucessão do tempo, consolidando a ideia de separação das funções de Estado e de Governo para preencher a lacuna da falta da tradição em planejamento, ainda não incorporada na cultura da política e gestão brasileiras.

Na verdade, essa proposição abre uma porta para diversos trabalhos futuros de cenarização simultânea da matriz e da infraestrutura energéticas, podendo privilegiar diversos tipos de funções-objetivas de múltiplos períodos, tais como a minimização do custo de todo o sistema de energia, ou a minimização de seus impactos ambientais, ou ainda a participação crescente dos novos renováveis na transição a uma era pós-petróleo, considerando-se os diversos e pertinentes elencos de restrições.

Trata-se, enfim, de uma tentativa, de uma incursão para o entendimento do setor energético como um dos módulos de que se reveste a sociedade, mantendo com ela vínculos de interdependência, cuja resultante é determinada pelo seu estilo.

Os objetivos do estudo, ao transcenderem o seu próprio objeto, transformam-se em uma poderosa ferramenta de planejamento, permitindo uma navegação mais flexível perante os problemas, ora esperados, ora imprevistos, em um contexto de incerteza.

É preciso dizer que o planejamento do setor energético, por si só, não basta. É necessário o planejamento de toda a sociedade e das interrelações com a economia, a política, o meio natural dentro da dinamicidade do progresso científico e tecnológico, começando pelo planejamento da educação do ensino fundamental, do ensino médio e da universidade para ensinar e gerar novos conhecimentos, elevando-os a um nível de excelência. O mesmo nível de excelência deve ser planejado para a saúde pública, saneamento básico e previdência nessa longa caminhada, que passa por muitos tópicos, entre eles, a progressividade do sistema tributário para o processamento da justiça social juntamente com um sólido crescimento continuado da economia. Isso leva tempo, algumas décadas, talvez outras mais: é o longo prazo, é uma longa espera, é a luta da esperança contra os interesses mesquinhos dos oportunistas, cuja miopia faz naufragar a nação no interminável imediatismo do curto prazo. Trata-se de um grande desafio que não pode se esconder atrás da omissão ou da mentira. É o novo a ser construído e não copiado que se vai aprender a fazer, descartando, desde já, as experiências fracassadas e registradas na História.

Além da paixão pela pesquisa, além do conhecimento, além da dedicação e do caráter do pesquisador, torna-se necessário o amadurecimento institucional para propiciar à sociedade o preenchimento de suas carências.

## Referências

BALANÇO energético nacional 2015: ano base 2014. Rio de Janeiro: EPE, 2015. 292p.

BALANÇO de energia útil 2006 – ano base 2006. Curitiba: COPEL, 2008.

BALANÇO de energia útil – economia e energia. Rio de Janeiro: Fundação Tecnológica para o Desenvolvimento da Engenharia; Ministério de Minas e Energia, 1993.

BALANÇO de energia útil, 1995 – modelo de avaliação do potencial de energia. Rio de Janeiro: Fundação Tecnológica para o Desenvolvimento da Engenharia; Ministério de Minas e Energia, 1995. 170p.

BENSUSSAN, J. A. **Planejamento energético do Rio Grande do Sul, 1980-2010**: histórias e memórias – com pitadas de humor, pessimismo e esperança. Porto Alegre: FEE, 2011. (Textos para Discussão n. 91).

BENSUSSAN, J. A. Planejamento prospectivo da energia no Rio Grande do Sul — 2010-30 In: CONCEIÇÃO, O. (Org.). **O movimento da produção**. Porto Alegre: FEE, 2010. (Três décadas de economia gaúcha, v. 2). P.303-345.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Balanço de energia útil 1984 – ano base 1983**. Brasília: MME, 1984.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Balanço de energia útil 1995 – ano base 1994**. Brasília: MME, 1995.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Balanço de energia útil 2005 – ano base 2004**. Brasília: MME, 2005. 71p.

CAPELETTO, G. J.; ZANCHI, G. H. **Balanço energético do Rio Grande do Sul, 2015 – ano base 2014**. Porto Alegre: CEEE, 2015. 200p.

LAWRENCE LIVERMORE NATIONAL LABORATORY. **Estimated US Energy Consumption**. 2015. Disponível em: <<https://www.llnl.gov/>>. Acesso em: out. 2016

LEITE, A. A. F.; MARTINS, M. P. O balanço de energia útil como ferramenta de gestão energética. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DA PRODUÇÃO, 29., 2009, Salvador. **Anais...** Salvador: ABEPRO, 2009. P. 1-11.

PODE haver escassez de energia elétrica em 2014? 2014. Disponível em: <<http://ecen.com>>. Acesso em: out. 2016

SCHUMPETER, J. **Capitalismo, Socialismo e Democracia**. Rio de Janeiro: Zahar, 1984.