

# Avanços metodológicos recentes e áreas de investigação prioritária nos estudos de mercado de energia elétrica

MARIA TERESA FERNANDES  
SERRA

Analista de mercado do Departamento de Mercado da ELETROBRÁS. Tem mestrado em Planejamento Urbano e em Economia pela Universidade da Califórnia, Berkeley.

## **C**ontexto de planejamento da década de 80

Até o final da década de 1970, no Brasil, o planejamento dos sistemas de energia elétrica se desenvolvia dentro de um ambiente de relativa estabilidade, de crescimento econômico a taxas elevadas e num mercado em que a oferta era historicamente inferior à demanda, aos preços de energia elétrica vigentes. Dada a estabilidade ou comportamento regular dos preços dos principais recursos energéticos, o planejamento podia se dar com relativa independência face às definições dos demais sistemas supridores de energia. Métodos de previsão da demanda, baseados muitas vezes em correlações simples do consumo de energia elétrica com o tempo ou, ainda, com o nível de atividade econômica, foram bastante satisfatórios até então, produzindo previsões com considerável grau de acerto.

Neste contexto, a análise da oferta podia tomar a previsão de mercado como um dado exógeno de elevada confiabilidade. Face à disponibilidade de recursos financeiros internacionais, tomados a taxa de juros estáveis a níveis históricos, durante longo período, o planejamento da oferta guardava, também, relativa independência, face às restrições financeiras que, no entanto, passaram a condicionar o volume e a distribuição dos investimentos do país, a partir do final da década, quando, ao lado da segunda elevação brusca do preço do petróleo, se verifica a escalada dos preços aos quais o capital era tomado. Em resposta à crise de balanço de pagamentos que o País enfrenta a partir do início da década de 80, altera-se a política econômica expansionista da década anterior,

com conseqüências recessivas, das quais não escapa o setor elétrico.

No planejamento da expansão do setor hoje, às incertezas quanto às perspectivas futuras de desenvolvimento econômico e, em especial, das condições em que se darão os investimentos, soma-se o reconhecimento de que se passa por uma mudança estrutural no comportamento dos mercados de energia, implicando numa forte interdependência na delimitação destes. Juntando-se ainda a estes fatores uma preocupação com o meio ambiente, e, eventualmente, com questões de equidade, no tocante à incidência dos custos e benefícios do suprimento, o planejamento dos sistemas elétricos deverá passar a se dar num ambiente de crescente incerteza e interdependência quanto a definições, tanto do lado da oferta, quanto da demanda.

No tocante a esta última, percebe-se uma alteração na maneira como a previsão de mercado é abordada na esfera da tomada de decisões e no intercâmbio com os demais setores da economia. Os resultados finais do mercado têm acarretado, cada vez mais, um questionamento quanto à sua relação com as premissas utilizadas — aliás, de se esperar num quadro de perspectivas recessivas, de escassez de recursos e mudança estrutural. Sente-se, em conseqüência, uma necessidade, não só de se ampliar os limites da análise, como de desagregá-la, procurando identificar os determinantes do comportamento da demanda, além de meramente prever seu resultado. Isto parece refletir, não só o maior grau de incerteza inerente ao planejamento hoje e uma conseqüente busca de maior conhecimento ou reavaliação do funcionamento do mercado de energia elétrica, como uma percepção da necessidade de intervir neste mercado, de modo a orientá-lo para uma utilização mais adequada dos diversos recursos energéticos disponíveis.

Discute-se, a seguir, alguns avanços feitos recentemente ou em andamento, em resposta às novas necessidades de análise de evolução do mercado de energia elétrica. Embora qualquer tipo de seleção e classificação nesta matéria seja, necessariamente, arbitrária, imprecisa e

sujeita a superposições, procura-se aqui fazer a identificação dos conjuntos de questões e enfoques que parecem ser prioritários para os estudos de previsão do mercado, bem como do tipo geral de desenvolvimento metodológico a que estes estão levando. Dentro desta abordagem, dá-se destaque àqueles que se dirigem particularmente às questões de incerteza, de interdependência entre mercados de diferentes energias e da necessidade de intervir e orientar o uso destes recursos.

## **Análise da inserção do mercado de energia elétrica dentro do contexto econômico e energético**

Nesta primeira linha de desenvolvimento metodológico, a ênfase recai sobre relações agregadas entre a demanda, a oferta de energia e o comportamento da economia, visando, em última análise, o estudo integrado destes três sistemas. Três subtópicos devem ser destacados:

### **1) A formulação de cenários macroeconômicos:**

Está-se procedendo à reformulação da metodologia atualmente empregada nos estudos de evolução da renda total e setorial desenvolvidos no âmbito do setor, de modo a dispor-se de uma explicitação maior de variáveis e de relações que garantam a consistência, não só entre indicadores macroeconômicos, como entre estes e indicadores de planejamento do setor (como investimento setorial pretendido, conteúdo de importação do investimento, etc.)<sup>1</sup>. Em especial, a coerência de premissas referentes ao crescimento esperado do setor secundário e seus gêneros permitirá aprimorar os estudos de previsão do consumo industrial, que corresponde a mais da metade do mercado de energia elétrica. Dada a forte concentração do consumo de energia elétrica (como também de óleo combustível), em número reduzido de gêneros industriais, cuja evolução sofre, direta ou indiretamente, os efeitos da política econômica adotada, tem-se que, para mesmas taxas de crescimento da economia ou do setor secundário, são pos-

síveis repercussões bastante distintas sobre o consumo de energia, conforme a atividade econômica se distribua pela estrutura industrial. Neste tocante, é possível incorporar aos estudos de previsão, modelos, conceitos e tipologias originadas nas teorias de desenvolvimento econômico e regional. Também desejável, tendo em vista as possibilidades de se aprimorar a metodologia de previsão do consumo residencial, seria o tratamento explícito de hipóteses sobre distribuição de renda, coerentes com os cenários econômicos adotados.

### 2) A interação economia-energia:

Elasticidades-renda, elasticidades-preço e coeficientes de intensidade energética devem traduzir diferentes hipóteses sobre a natureza ou estilo de desenvolvimento econômico seguido pelo país (em termos das mudanças na estrutura de consumo e de produção de bens e serviços correspondentes), sobre a inovação e difusão tecnológica que deverá ocorrer e sobre a evolução dos preços de energéticos. Assim, por exemplo, independente de sua repercussão sobre a demanda de energia num dado momento do tempo, via nível de atividade econômica dos vários gêneros de indústria, o estilo de desenvolvimento influenciará a demanda também via coeficiente de intensidade energética, na medida em que este último será função da velocidade com que se renova o estoque de capital e do tipo de mudança tecnológica que se imagina possa ser introduzida nesta renovação. Como passo para o avanço metodológico no tocante a este aspecto, poderá ser útil o estudo retrospectivo dos padrões de desenvolvimento econômico e de utilização de energia nas diferentes regiões fisiográficas brasileiras, visando a identificação de algumas tipologias que talvez possam ser utilizadas como base para estudos prospectivos da demanda.

### 3) A competição entre modalidades de energia:

Numa primeira abordagem, a questão da substituição entre energéticos, no caso do setor industrial, é função fundamentalmente dos preços de oferta ao consumidor das energias disponíveis, do investimento a ser feito, por parte do industrial, na adaptação do seu processo de produção, e da relação de rendimentos entre as formas de energia consideradas nesses processos. No caso do setor residencial, intervém, além dos preços de energéticos, o preço e a eficiência dos

equipamentos e a renda familiar disponível. Nos trabalhos recentes de previsão de mercado, a identificação da parcela do mercado de energia elétrica correspondente ao "potencial" de substituição de derivados de petróleo tem sido feita sem uma consideração explícita dos preços e tecnologias disponíveis ao longo do tempo. Ao mesmo tempo, estudos específicos de substituição, embora procurem introduzir os fatores preço e tecnologia para avaliação dos potenciais relevantes, carecem ainda de um tratamento explícito da efetivação deste potencial ao longo do tempo<sup>2</sup>. Tais aprimoramentos estão sendo buscados nos estudos do setor.

Essa primeira linha de desenvolvimento metodológico para os estudos prospectivos do mercado caracteriza-se pela tentativa de integrar à análise uma gama grande de variáveis de diversos tipos (tecnológicas, sócio-econômicas, políticas) e por voltar-se, simultaneamente, para a evolução dos sistemas econômico, de demanda e de oferta de energia no longo prazo. Presta-se especialmente bem à aplicação de técnicas de simulação e/ou otimização, com base na construção de cenários, e à realização de estudos de sensibilidade e parametrização a partir de um caso de referência, visando identificar a repercussão sobre o consumo de variáveis exógenas ou coeficientes utilizados na análise. Desta forma, podem ser tratadas de forma explícita e, tanto quanto possível, coerente, variáveis de ordem política (ex. preços de energia, taxas de desconto), de evolução incerta (ex. avanço tecnológico, crescimento econômico) ou de difícil investigação (ex. elasticidades-preço do consumo). Por outro lado, essa linha de desenvolvimento metodológico, que vem sendo explorada através do uso de modelos de simulação, como o MEDEE, e, pelo lado da oferta, o MARKAL<sup>3</sup>, num primeiro momento ao menos, não deverá poder fornecer previsões desagregadas regionalmente, constituindo-se, sobretudo, numa melhoria da qualidade de previsão das alternativas de evolução do mercado de energia elétrica do país no longo prazo e numa base mais efetiva de planejamento do sistema elétrico nacional, na medida em que relacione, claramente, variáveis passíveis de controle e/ou acompanhamento pelo setor.

### Análise da estruturação interna de setores de consumo

A esta segunda linha de desenvolvimento metodológico, correspondem

análises mais detalhadas do comportamento de segmentos específicos de consumo. Destacam-se aqui dois subtópicos:

1) A questão das mudanças inter e intra-setoriais; estas podem ser abordadas, por exemplo, através de desagregações do consumo industrial por setor de produção (categoria de uso e/ou gênero), ou do setor residencial por classe de renda e localização.

2) A questão da racionalização do emprego de energia, mediante conservação e substituição entre modalidades de energia: aqui as desagregações relevantes poderão ser várias — no caso do setor industrial, por setor de produção, por modalidade de carga (potência requerida, tensão e tarifa) e /ou por tipo de processo de utilização de energia (acionamento mecânico, produção de calor, etc.); no caso do setor residencial, por classe de renda e localização e por tipo de uso de energia (coção, aquecimento de água, iluminação, etc.).

O exame destas questões tem sido desenvolvido, em geral, mediante a aplicação de métodos de previsão setorial de feito tradicional. Tomando-se como exemplo o caso do segmento industrial tem-se feito o estudo de setores isolados e a previsão por simples extrapolação de tendência de variáveis que, embora em alguns casos sejam de natureza "econômica" (ex. indicadores de atividade, como produto físico ou valor de produção), são tratadas apenas como indicadores estatísticos, sem uso de teoria econômica. Assim, por exemplo, não são especificados preços e equipamentos nestes estudos ou modelos de previsão, na maioria dos casos, e observa-se que a preocupação fundamental é a previsão, em contraposição à explicitação e análise dos determinantes do consumo.

Embora tais métodos sejam eficazes em ambientes de preços e crescimento econômico estáveis, observa-se que as relações estruturais em que se baseiam têm se deteriorado nos últimos anos, especialmente, no Brasil, a partir do final da década de 70. Embora a gama de alternativas possíveis de desenvolvimento metodológico na linha dos estudos setoriais seja muito grande, destacam-se três caminhos básicos que estão sendo explorados.

1) O tratamento **coordenado** de setores industriais relevantes, por exemplo, mediante o emprego de matrizes insumo-produto e energéticas: nestes casos, situa-se a energia como um fator de produção, cuja demanda é derivada da de-

manda por bens e serviços, em contraposição aos modelos tradicionais, em que a energia é tratada como uma demanda final. As matrizes de relações intersectoriais poderão focalizar quer a totalidade dos gêneros e ramos de produção, ou (o que parece mais interessante para o caso do setor elétrico) dar tratamento preferencial aos setores de consumo mais expressivos, agregando-se os demais<sup>4</sup>.

2) O tratamento explícito da variável **preço**, por exemplo, mediante a incorporação à análise de elasticidades-preço e outros elementos da teoria econômica da escolha: embora os resultados alcançados com o uso de elasticidades-preço sejam, em geral, muito díspares, conforme se trate de estudos abrangendo maior ou menor número de setores da economia, maior ou menor período de tempo, o tratamento dos preços é conceitualmente indispensável à análise da competição e substituição entre diferentes modalidades de energia.

3) A análise detalhada das **curvas de carga**, visando prever alterações prováveis e/ou desejáveis na configuração destas: tendo em vista um enfoque de longo prazo, tais alterações devem ser relacionadas a mudanças na estrutura do mercado e no comportamento dos consumidores, frente a alterações na estrutura tarifária, o que conduz à utilização de métodos setoriais. O setor elétrico vem procurando desenvolver nesta área metodologias exploratórias, dentre as quais se destaca o chamado Modelo Sectorial<sup>5</sup>, que tem por objetivo a análise e previsão das curvas de carga nos vários níveis de tensão, para isso transformando valores de energia anual, fornecidos pelos estudos tradicionais de mercado, em valores de demanda horária. A análise das curvas de carga é de evidente importância no estudo de políticas de racionalização do consumo de energia, fornecendo insumos para os estudos de estrutura tarifária, através do que será possível orientar, implicitamente, o comportamento dos consumidores em direção a modalidades mais desejáveis de uso de energia.

A diferença entre as metodologias tradicionais e o tipo de metodologia apontada nos três itens acima está em que, nestas últimas, ocorre uma formalização matemática de um esquema teórico, sendo mais complexas as relações entre variáveis explicativas e variáveis dependentes. Na medida em que a determinação de parâmetros e variáveis independentes resulta ainda, freqüentemen-

te, da extrapolação de tendências, estas metodologias também envolvem uma perpetuação do passado que poderá ser inadequada à previsão de longo prazo. Observa-se, no entanto, que o maior número e complexidade das relações explicativas permite, em parte, contornar-se esta limitação, mediante o emprego de técnicas variadas de derivação de variáveis e parâmetros (por exemplo, mediante estudos específicos envolvendo levantamentos de campo ou testes laboratoriais, mediante variação arbitrária e experimental, etc.).

### Comentários finais

Na avaliação dos requisitos futuros de qualquer um dos mercados de energia (elétrica, combustíveis convencionais, formas alternativas), passou a ser especialmente importante, por um lado, um tratamento mais integrado de três segmentos de análise: comportamento da economia, demanda e suprimento de energia; por outro, a consideração das condições de evolução dos demais mercados, para que se possa identificar as possibilidades de conservação e de substituição entre diferentes modalidades de energia. Note-se que, sendo os preços de energia administrados, as expectativas de evolução do mercado de cada energético e a política de preços destes deverão ser necessariamente interligadas.

Assim, a busca de eficiência no uso dos recursos energéticos (e do capital) — como pode ser entendido hoje o problema geral de planejamento de energia para o longo prazo — envolve, potencialmente, a discussão de uma gama bastante ampla de questões. Para o setor elétrico, distingue-se o quadro atual do que vigorava até meados da década de 70. O problema de planejamento então poderia ser definido como centrado na oferta: dada uma previsão da evolução da demanda, tratava-se de encontrar a configuração ótima do sistema de oferta, mediante a minimização dos custos de suprimento. Diante de um quadro de demanda reprimida, o mercado era determinado pela oferta. Hoje, o planejamento liga-se a mudanças nas estruturas de oferta de recursos energéticos primários e da demanda final por bens e serviços; às possibilidades de inovação e difusão de tecnologias, tanto de suprimento, quanto de utilização de energéticos; e, por fim, à política de preços dos energéticos e do capital.

Embora tais questões já estivessem

presentes no passado, representando sempre influências sobre a demanda, hoje se torna impossível deixar de reconhecer sua importância ou tentar explicitá-la. Isto introduz uma série de complicações na tarefa de previsão de mercado e, sendo difícil (ou impossível), do ponto de vista metodológico, lidar com tão ampla gama de fatores simultaneamente, torna-se necessário pensar em linhas alternativas de desenvolvimento metodológico, a partir das quais se possa estabelecer prioridades para os trabalhos do setor.

A tônica do processo de revisão metodológica na área de previsão de mercado, agora e nos próximos anos, deverá, talvez, ser a caracterização da previsão de mercado não mais como um dado exógeno, tratado de forma mecânica dentro do processo de planejamento da oferta, mas como uma forma de planejamento em si, na qual restrições de oferta e avaliações sobre o uso mais eficiente a ser dado aos recursos disponíveis, traduzidas em preços de energia, deverão condicionar a formação da demanda. Isto porque os pressupostos que interferem, implícita ou explicitamente, nos estudos de dimensionamento do mercado (ex., estrutura de preços de energéticos, custos do capital, etc.) requerem, a rigor, respaldo institucional, o que significa que:

1) a evolução do mercado é **condicional** à efetivação de medidas de ordem política, como é especialmente claro nos casos de substituição entre energéticos;

2) a previsão de mercado deve ser formulada de maneira a poder **informar** claramente a tomada de decisões que leva à definição destas medidas.

Toda atividade de previsão requer a crença de que o futuro seja, até certo ponto, discernível. A maioria das previsões se baseia na idéia de que o futuro pode ser percebido através do exame de fatos do passado e, em alguns casos, através de relações meramente quantitativas. Entretanto, as dificuldades que se encontram com referência à especificação e à mensuração de relações entre variáveis, em geral, são tais que, freqüentemente, se tende a presumir também que o que não se pode quantificar não seja importante. Nestes casos, o desenvolvimento de modelos para fins de previsão corre o perigo de constituir-se numa formalização simplista e errônea das relações que se busca retratar — o que seria particularmente indesejável se vigorar uma postura de que a previsão de mercado constitui um ins-

trumento de intervenção sobre a realidade.

Por isso, parece sobretudo necessário, qualquer que seja o conjunto de questões e linha de desenvolvimento metodológico a ser perseguido no âmbito do setor, que seja dada ênfase numa identificação explícita dos pressupostos, quantitativos ou qualitativos, da análise e num tratamento não determinístico das previsões.

## NOTAS

1. Constata-se, por exemplo, iniciativas neste sentido de parte da ELETROBRÁS, FURNAS, CESP e CEMIG.
2. Ver, por exemplo, os documentos NT-13, NT-20 e IT-447 do DEME/Eletróbrás.
3. Os modelos citados estão implantados ou em vias de implantação na CESP (MEDEE) e na ELETROBRÁS (MEDEE e MARKAL).
4. Ver, por exemplo, diversos estudos que têm se desenvolvido em FURNAS (Assessoria de Estudos Econômico-Energéticos/Diretoria Técnica e na ELETROBRÁS (AESP e DEME/DPE), com base no emprego da matriz de insumo-produto brasileira.
5. O Modelo Setorial está sendo desenvolvido sob a coordenação da ELETROBRÁS, dentro de uma programação conjunta do DNAEE e ELETROBRÁS, com participação das principais empresas concessionárias.

# Modelos de análise da demanda global de energia: uma descrição geral e avaliação

JAYME PORTO CARREIRO FILHO  
JOÃO ALBERTO VIEIRA SANTOS  
MARIA TERESA FERNANDES SERRA  
RUDERICO FERRAZ PIMENTEL

Jayme Porto Carreiro Filho é engenheiro no Economic Studies Section, Division of Nuclear Power, International Atomic Energy Agency. Tem doutoramento em Engenharia de Produção pela Universidade de Birmingham, Inglaterra.

João Alberto Vieira Santos é analista de pesquisa operacional do Serviço de Planejamento da PETROBRÁS, com curso de pós-graduação em Planejamento Energético, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Maria Teresa Fernandes Serra é analista de mercado do Departamento de Mercado da ELETROBRÁS. Tem mestrado em Planejamento Urbano e em Economia pela Universidade da Califórnia, Berkeley, EUA.

Rudérico Ferraz Pimentel é gerente da Divisão de Estudos Econômico-Financeiros da Companhia Internacional de Seguros. Tem doutoramento em Programação Matemática pela London School of Economics and Political Science, Inglaterra.

de cenários, vem se constituindo numa alternativa cada vez mais utilizada para os estudos de previsão, especialmente onde se reconhecem ou se julga que poderão ocorrer mudanças estruturais significativas nos padrões de consumo energético. Nestes casos, a análise da demanda deve retratar conjunto numeroso de influências de natureza variada — econômica, comportamental, tecnológica ou política — envolvendo alto grau de interdependência e incerteza. Os modelos de energia global não só produzem uma projeção de demanda incorporando o efeito de diferentes estratégias de abastecimento energético e políticas de desenvolvimento econômico, como procuram explicar claramente os impactos destas.

Este artigo descreve primeiramente a estrutura típica e o funcionamento dos modelos de energia global. Em seguida, discute suas vantagens e limitações como enfoque metodológico nos estudos de previsão da demanda de energia ao longo prazo.

## Estrutura e funcionamento de um modelo de energia global

Os modelos de energia global baseiam-se em duas idéias fundamentais. Primeiro, não existe determinismo nem na evolução da economia, nem nas relações entre crescimento econômico e a evolução da demanda de energia a longo prazo. Assim, é necessário uma nova atitude na atividade de previsão, que consiste em explorar futuros possíveis e razoáveis e as condições em que eles poderão ocorrer. Segundo, a complexidade das relações entre crescimento econômico e evolução da demanda de energia não pode, a longo prazo, ser escondida através de relações agregadas. Uma detalhada análise dos mecanismos de formação e evolução da demanda de energia é, portanto, requerida.

Essas premissas metodológicas levam a uma análise desagregada do sistema sócio-econômico e da demanda de energia e a uma descrição das possíveis evoluções deste sistema. Dois conceitos utilizados na análise da demanda são os de energia útil e final, que são repassados na Figura 1, onde são relacionados com os de energia primária e secundária.

**A** significativa mudança por que vem passando o setor energético, a partir da década de 70 gerou a necessidade de desenvolvimento de novas metodologias de projeção da demanda de energia. Os modelos tradicionais usados até esta época eram voltados para mercados de uma só fonte de energia, agregados ou enfocando certo segmento consumidor (residencial, industrial, etc.) ou tipo de uso (cocção, aquecimento, etc.), e têm como uma limitação importante a sua natureza determinística, oriunda na extrapolação de tendências, através do uso predominante de econometria, que faz com que sejam projetados para o futuro padrões de comportamento observados no passado.

A partir do desenvolvimento do MEDEE (Modele d'Evolution de la Demande d'Energie) pelo IEJE (Institut Economique et Juridique de l'Energie) de Grenoble em 1976, tem-se visto o aparecimento de muitos modelos que, de maneira semelhante, simulam a evolução da demanda de energia global de um sistema sócio-econômico. Esta metodologia, baseada na técnica de construção