

O custo social da energia elétrica: uma análise a partir da bacia hidrográfica do rio São Francisco*

José Carrera-Fernandez[§]

RESUMO

Este trabalho analisa a questão da geração hidráulica de energia no Brasil e chama a atenção para o fato de que, ao atuar sobre a capacidade de armazenamento disponível do sistema hídrico e impor restrições de ordem técnica, essa geração causa custos de sustentabilidade aos vários usuários desse sistema. Esses custos decorrem principalmente da restrição de vazão, que deve ser necessariamente assegurada a montante, e das perdas por evaporação nos reservatórios de regularização. Tomando-se a bacia hidrográfica do rio São Francisco para análise, importante fonte de geração hidrelétrica para o sistema elétrico nacional e especialmente para o Nordeste, este estudo avalia o custo social da geração de energia hidrelétrica. O fato do setor de energia elétrica não contabilizar esse custo implica que as tarifas de eletricidade estão sendo subavaliadas pelo mercado. Em conseqüência, os agentes econômicos estão sendo induzidos a utilizar a energia hidrelétrica mais intensivamente do que o seu nível socialmente ótimo, gerando, assim, uma alocação ineficiente de recursos na economia, com reflexos negativos para toda a sociedade.

Palavras-chave: preço social da energia elétrica, geração hidráulica de energia, tarifa de energia elétrica, usos múltiplos dos recursos hídricos, cobrança pelo uso da água.

ABSTRACT

This paper examines the question of hydraulics generation of electricity in Brazil and calls attention to the fact that, despite the water utilization for electrical power generation be considered as a consumptive use of water resources, hydroelectric generation brings upon sustainability costs to basin systems, because it establishes technical restrictions (the need to guarantee adequate upstream water flow, evaporation losses of reservoirs, and changes of downstream water flow), which are not considered by the sector through its electricity pricing mechanism. The fact that the electricity sector does not take into account these social costs, implies that electricity price is being undervalued by the market, generating in this way an inefficient allocation of resources in the Brazilian economy, by inducing economic agents to use hydroelectricity more intensively than its social optimum level, with negative effects to the society as a whole.

Key words: social price of electricity, hydraulics generation of electricity; electricity price; multiple utilization of water resources; charging for utilization of water.

JEL classification: D61, D62, H43, Q48.

* O autor agradece a assessoria eficiente do Eng. Luiz Camargo e aos estagiários Aline Nogueira e Fábio Sena, assim como a Wilson Menezes e a dois pareceristas anônimos desta revista por comentários e sugestões a uma primeira versão deste trabalho, mas se responsabiliza por qualquer erro que porventura possa existir.

§ Professor do Mestrado em Economia da Universidade Federal da Bahia e PhD* em Economia pela The University of Chicago.

1 Introdução

A utilização dos recursos hídricos para fins de geração de energia elétrica data do início do século, quando começou efetivamente o ciclo da industrialização do País. Essa passagem de economia predominantemente agrícola para economia industrial exigiu esforços do governo no sentido de atrair a iniciativa privada, principalmente a estrangeira, que era a detentora da tecnologia de geração. Graças a essa iniciativa pioneira do governo brasileiro, implementou-se, em 1901, sobre o rio Tietê, o primeiro aproveitamento hidrelétrico no Brasil, que foi a usina de Parnaíba, com potência instalada inicial de 2 MW.¹ Alguns anos mais tarde, mais precisamente em 1908, construiu-se a usina de Lages em Minas Gerais, com 24 MW de potência instalada. Ambas as hidrelétricas foram construídas em parceria com a empresa canadense Light.

Com a edição do Código de Águas,² em 1934, estabeleceram-se as bases para a consolidação do setor elétrico brasileiro e aumentou-se o ritmo de implantação de aproveitamentos hidrelétricos nas principais bacias hidrográficas de domínio da União. A criação da Companhia Hidro Elétrica do São Francisco (CHESF), em 1945, e sobretudo a criação das Centrais Elétricas Brasileiras (ELETROBRÁS), em 1961, vieram consolidar a hegemonia do setor elétrico no contexto da administração pública brasileira. Essa consolidação permitiu a construção de algumas centenas de plantas hidrelétricas de médio e grande portes, sem que fossem levadas em consideração as crescentes demandas por água bruta de outros setores da economia. Salto Osório, Salto Santiago, São Simão, Ilha Solteira, Jupia, Itumbiara, Paulo Afonso, Sobradinho são exemplos de grandes plantas que viriam a ser superadas, em dimensões e sobretudo em potência instalada, por Itaipu, o cartão postal mais reluzente do setor.

Nesse contexto, o setor de geração hidrelétrica veio a ocupar o papel de grande demandante da água no Brasil, privilegiado que foi pela administração pública federal como usuário prioritário dos recursos hídricos, colocando todos os demais setores usuários a reboque dos programas de construção dessas grandes hidrelétricas. A consequência dessa linha de ação é que, hoje, mais de 95% de toda a energia elétrica produzida no Brasil é proveniente de centrais hidrelétricas. Outros países, por exemplo a França, a Alemanha e os Estados Unidos, optaram por outras fontes de geração, especialmente a nuclear e a térmica. Essa clara opção

1 A energia elétrica no Brasil foi utilizada pela primeira vez em 1883, com a instalação da usina de Ribeirão do Inferno, em Diamantina - MG.

2 Decreto nº 24.643, de 10 de julho de 1934.

do governo brasileiro pela geração hidrelétrica, em detrimento de outras fontes de geração, foi inicialmente motivada pela forte dependência brasileira de fontes externas de combustíveis fósseis e, mais tarde, pelos riscos de acidentes nucleares e suas graves consequências para a sociedade. Mas, foram os baixos custos de geração hidrelétrica e a enorme malha hidrográfica brasileira, com grande potencial hidroenergético, que contribuíram decisivamente para a escolha dessa fonte energética.

O problema é que a água, embora seja um recurso natural renovável, é um bem cada vez mais escasso, e a expansão da geração hidrelétrica tornou o setor elétrico brasileiro fortemente dependente da base nacional de recursos hídricos. Além de representar um potencial para perigosos conflitos entre usuários múltiplos pelo uso da água, a geração hidrelétrica tem impedido, de certa forma, o crescimento sustentável de certas regiões, principalmente pela restrição imposta à expansão da agricultura irrigada. Este é o caso específico da bacia hidrográfica do rio São Francisco, onde as usinas hidrelétricas aí construídas impedem a exploração de uma extensa área de terras potencialmente irrigáveis, exclusivamente pelos riscos que tais projetos imporiam à geração de energia elétrica.³ Além do mais, a produção de energia elétrica, se mantida nos níveis atuais, pode tornar inviável qualquer projeto de transposição de suas águas para o Nordeste setentrional, transposição esta que só poderia ser viabilizada por meio de volumosos investimentos em audaciosos projetos de reversão de bacias.

Embora a utilização da água para geração de energia elétrica seja considerada como uso não consuntivo dos recursos hídricos, a geração hidráulica de energia impõe custos sociais de sustentabilidade aos sistemas hídricos. O problema é que tais custos não têm sido levados em consideração pelo setor elétrico na formação de suas tarifas. O fato do setor de energia elétrica não contabilizar esses custos significa que a tarifa de energia elétrica tem sido tradicionalmente subavaliada pelo mercado. Isso tem acarretado uma alocação ineficiente dos recursos na economia brasileira, no sentido de que os agentes econômicos estão sendo induzidos a utilizar a energia hidrelétrica mais intensivamente do que o seu nível socialmente ótimo,⁴ com graves reflexos negativos para toda a economia.

3 Estima-se que cada metro cúbico de água por segundo retirado desse manancial represente uma redução na produção de energia elétrica da ordem de 2,5 MWano ou 0,29 KWh. (Secretaria de Planejamento, Orçamento e Coordenação da Presidência da República, 1994)

4 O nível social ótimo é aquele definido no ponto onde o custo marginal social de produção de energia elétrica, que além do custo marginal privado inclui todos os efeitos externos tecnológicos, se iguala ao benefício marginal social gerado pelo recurso.

Tentando avaliar o impacto dessa alocação dos recursos hídricos para a sociedade, este trabalho estima os custos sociais incorridos pela geração hidráulica de energia para os sistemas hídricos. Especificamente, este estudo quantifica os custos sociais que o setor elétrico impõe à sociedade ao: (i) restringir na bacia o uso dos recursos hídricos a montante da geração, indisponibilizando, assim, grandes quantidades desses recursos que poderiam estar sendo utilizados em outras finalidades; (ii) provocar perdas por evaporação nos reservatórios de regularização da vazão, reduzindo, conseqüentemente, a disponibilidade hídrica do sistema a jusante; além de (iii) alterar o padrão de escoamento a jusante, para o caso das usinas que trabalham no pico de consumo.

Além desses efeitos externos negativos relacionados à geração hidrelétrica, deve-se destacar que existem outras externalidades ambientais (negativas e positivas) passíveis de serem valoradas economicamente e contabilizadas ao custo social dessa geração.⁵ Embora uma avaliação aprofundada desses outros efeitos externos esteja fora do escopo desse trabalho, deve-se destacar que tais efeitos poderiam alterar marginalmente, para mais ou para menos, a estimativa do custo social da energia elétrica.

A bacia hidrográfica escolhida para avaliar o custo social de energia elétrica foi a do rio São Francisco. Essa escolha se deu porque esta é uma das mais importantes fontes de geração de energia para o sistema elétrico brasileiro e a mais significativa do sistema Nordeste. Além do mais, suas águas são demandadas, na própria região hidrográfica, para uma série de importantes projetos públicos e privados para exploração agrícola de irrigação e, em outras regiões, por meio de transposição para os estados do Nordeste setentrional.

É importante ressaltar que, ao incorporar esse custo social de oportunidade à estrutura tarifária de energia elétrica, o setor elétrico brasileiro estaria sinalizando para seus usuários o verdadeiro custo desta para a sociedade. Isto é, ao contabilizar esse custo social, as tarifas de energia elétrica estariam induzindo os agentes econômicos (nas suas decisões de consumo e produção) a utilizar esse recurso de forma mais eficiente, ao nível socialmente ótimo. De fato, a incorporação desse custo social às tarifas de energia elétrica funcionaria como mecanismo de correção das divergências entre os preços de mercado e os preços sociais, orientando eficientemente as ações de investimento na economia.

5 Por exemplo, a construção de reservatórios de regularização causa custos por inundação de terras, com conseqüentes desapropriações e deslocamentos da população, além de alterações na qualidade das águas nesses reservatórios. Por outro lado, essas barragens geram efeitos externos positivos ao reduzirem os riscos de enchentes a jusante e trazem benefícios sociais em períodos de seca. A geração hidrelétrica também gera benefícios sociais ao evitar a emissão de gases poluentes na atmosfera, que seriam fatalmente produzidos pela geração termelétrica.

Além dessa introdução, este trabalho possui mais quatro seções. A segunda contém a fundamentação teórica do custo social que o setor de energia elétrica impõe a toda a sociedade. Visando levantar as informações necessárias para o cálculo desse custo para a região Nordeste, a seção seguinte contém uma caracterização geral da bacia hidrográfica do rio São Francisco, na qual apresentam-se os mais relevantes aspectos econômicos, hidrológicos e pedológicos. Com base nas informações levantadas, estima-se, na quarta seção, o custo social da energia elétrica no Nordeste, tomando-se duas hipóteses alternativas. Na primeira, mais realista, a produção de energia elétrica seria mantida no nível atual das usinas aí instaladas, enquanto que na segunda hipótese, mais improvável por causa do racionamento atual de energia elétrica, haveria uma redução na geração hidrelétrica, estabelecida ao nível da vazão mínima das respectivas usinas. Finalmente, apresentam-se as conclusões e considerações finais deste trabalho.

2 O custo social da energia elétrica: a fundamentação teórica

Admitindo-se a existência de uma economia “ideal”, na qual os mercados operam livremente, em condições de concorrência perfeita, com pleno emprego e perfeita mobilidade dos recursos, então o preço de mercado seria um bom indicador do valor dos bens para a sociedade. Na prática, entretanto, essas condições ideais são raramente verificadas, de modo que o sistema de preços de mercado deixa de ser um bom indicador dos custos para a sociedade. Isso porque esses preços contêm uma série de distorções em relação às condições ideais de equilíbrio.

Em uma economia caracteristicamente marcada pela existência de imperfeições, longe de serem alcançadas as condições ideais de mercado, tem-se que as decisões de investimento e consumo na economia, quando baseadas nas tarifas praticadas pelo mercado, levam a economia a alocar os seus recursos de forma ineficiente. Portanto, é necessário introduzir mecanismos que corrijam as divergências entre os preços de mercado e os preços sociais, orientando as ações de gasto na economia, pois só assim pode-se reduzir o uso dos recursos subavaliados e ampliar a utilização dos recursos superavaliados pelo mercado. A correção dessas divergências só poderá ser conseguida por meio da adoção de uma política explícita baseada nos preços sociais desses recursos.

De acordo com os manuais de avaliação social de projetos, a metodologia utilizada para estimar a tarifa social de energia elétrica está baseada na fonte utilizada para geração (se hidrelétrica ou termelétrica), bem como no excesso de capacidade do sistema elétrico.⁶ No

6 A esse respeito veja-se, por exemplo, Contador (1998) e Harberger (1972).

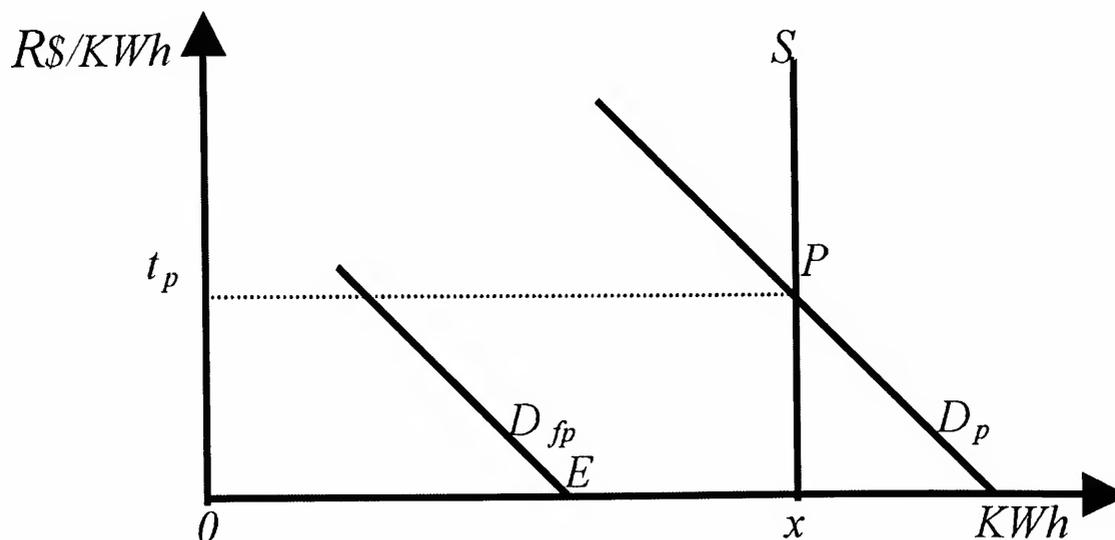
caso de geração hidrelétrica, o custo marginal social por KWh é praticamente nulo nos períodos fora do pico de consumo e positivo durante os períodos correspondentes ao pico de consumo. Nesse caso específico, a curva típica do custo marginal social teria o formato da curva OxS disposta na Figura 2.1.

Especificamente, em um sistema operando com capacidade ociosa, ou seja, quando a oferta de energia é abundante em relação à sua demanda, a energia gerada tem um custo marginal muito baixo (próximo de zero) para a sociedade; assim, para efeitos práticos, tem-se um custo social praticamente nulo. No caso em que o sistema opera fora do pico de consumo, situação que está sendo representada na Figura 2.1 pela demanda fora do pico D_{fp} , o equilíbrio se daria no ponto E. A justificativa oferecida para esse custo social ser nulo é de que a água que movimenta as turbinas seria perdida de qualquer forma. Por outro lado, quando o sistema opera no pico de consumo (situação representada nessa figura pela demanda de pico D_p), o custo social seria determinado pelo benefício sacrificado em outras atividades. Neste caso, o equilíbrio seria representado pelo ponto de interseção entre a demanda D_p e o segmento vertical xS (ponto P da figura). Dessa forma, a tarifa social de energia elétrica, t^* , seria obtida por meio da ponderação desses custos sociais, donde resultaria:

$$t^* = \alpha t_p$$

onde t_p é o benefício sacrificado em outras atividades e α é a proporção do tempo em que o sistema de geração hidrelétrica opera no pico de consumo, com $0 < \alpha < 1$.

Figura 2.1
Custo Social da Energia Elétrica



O problema que se apresenta com essa metodologia é que, independentemente da produção se dar no período de pico de consumo ou fora deste, a geração hidrelétrica atua sobre a capacidade de armazenamento disponível do sistema hídrico, exigindo que um certo volume seja reservado para esse fim, embora essa água seja, na maior parte do tempo, repostada ao manancial a jusante. Em outras palavras, os projetos de utilização da água para geração de energia elétrica estabelecem uma restrição técnica de vazão, a ser assegurada a montante do sistema, que deve ser levada em consideração quando da análise de sustentabilidade dos sistemas hídricos.⁷ Embora a utilização da água para produção de energia elétrica seja considerada como uso não consuntivo dos recursos hídricos, a geração hidráulica de energia também provoca perdas por evaporação nos reservatórios de regularização da vazão, reduzindo assim o fluxo a jusante. Deve-se lembrar que, tradicionalmente, essas perdas não são levadas em consideração no estudo da disponibilidade hídrica das bacias hidrográficas utilizadas para essa finalidade.⁸ Ademais, para o caso de hidrelétricas que trabalham no pico de consumo deve-se considerar também a alteração que tais usinas, ao bombearem a água de volta, acarretam no padrão de escoamento a jusante. Todos esses custos não são levados em consideração pelo setor elétrico quando da determinação das tarifas de energia elétrica.

Essa questão pode ser melhor entendida ao se comparar os níveis ótimos de utilização da água nas atividades de geração de energia elétrica e produção agrícola irrigada, dois setores econômicos que mais competem pelo uso dos recursos hídricos no País. O nível ótimo privado de utilização de água na geração de energia elétrica, quando analisado exclusivamente sob o ponto de vista do setor elétrico, x_e^* , é obtido postulando-se que o mesmo maximiza sua função de excedente econômico⁹ π_e , ou seja:

$$\max_{x_e} \pi_e = tf(x_e) - w_e x_e, \text{ com } f' = \partial f / \partial x_e > 0 \quad (2.1)$$

onde t é a tarifa de energia elétrica, x_e é a quantidade de água requerida na geração hidrelétrica, w_e é o preço de mercado da água nesse uso (em termos de seus custos marginais de utilização da água) e $f(x_e)$ é a função de produção de energia elétrica. Isto é, o nível ótimo de utilização da água na geração hidráulica de energia é obtido por meio da condição de

7 Estima-se que cada KWh de energia elétrica gerado pelo setor restringe a vazão a montante do ponto de produção em 3,45 m³/s. Este resultado decorre do requerimento observado na nota 3.

8 As perdas totais por evaporação nos reservatórios de Três Marias, Sobradinho, Itaparica, Paulo Afonso e Xingó, importantes hidrelétricas na interligação do sistema Norte-Nordeste, correspondem a mais de 290 m³/s ou 9,15 bilhões de metros cúbicos de água por ano.

9 Objetivando-se simplificar a análise, supõe-se que os outros fatores de produção utilizados na geração de energia elétrica são constantes.

primeira ordem para um máximo interior¹⁰ $tf'(x_e) = w_e$, a qual estabelece uma igualdade entre o valor da produtividade marginal da água na geração de energia elétrica e o seu preço nesse uso.

O nível ótimo privado de utilização da água no setor agrícola de irrigação, por outro lado, é derivado postulando-se que este setor maximiza sua função de lucro nessa atividade¹¹ π_a :

$$\max_{x_a} \pi_a = p_a g\{x_a, h[f(x_e)]\} - w_a x_a, \text{ com } g'_x = \partial g / \partial x_a > 0 \text{ e } g'_h = \partial g / \partial h < 0 \quad (2.2)$$

onde p_a é o preço dos produtos agrícolas, x_a é a quantidade de água utilizada na agricultura irrigada, w_a o preço de mercado da água nesse uso (em termos de seus custos marginais de utilização da água), $g[x_a, h(x_e)]$ é a função de produção de produtos agrícolas e $h(x_e)$ é a restrição que a geração de energia elétrica impõe à produção agrícola de irrigação, ao limitar a disponibilidade hídrica do sistema, de modo que $h'_x = \partial h / \partial x_e > 0$. O nível ótimo de utilização da água nesse uso é obtido igualando-se o valor da produtividade marginal da água na produção agrícola ao seu preço nesse uso, estabelecido pela condição de primeira ordem para um máximo interior¹² $p_a g'_x\{x_a, h[f(x_e)]\} = w_a$.

O problema se apresenta porque a geração de energia elétrica afeta negativamente a atividade agrícola de irrigação, ao impor limites à utilização dos recursos hídricos do sistema, principalmente por restrição de vazão e perdas por evaporação. Isto significa que a geração hidráulica de energia impõe custos sociais à agricultura irrigada, com sérias implicações para a comunidade. Esses custos estão sendo ignorados pelo setor elétrico nas suas decisões de produção de energia e, portanto, não estão sendo contabilizados aos seus custos de produção.

Quando analisado sob o ponto de vista mais amplo da sociedade, os níveis ótimos de utilização da água para os setores de energia hidrelétrica e agricultura irrigada seriam aqueles obtidos por meio de um processo de otimização da função de excedente econômico total π , a qual englobaria os excedentes econômicos dos dois setores tomados em conjunto:

$$\max_{x_e, x_a} \pi = tf(x_e) + p_a g\{x_a, h[f(x_e)]\} - w_e x_e - w_a x_a \quad (2.3)$$

10 Supõe-se que a condição de suficiência para um máximo (ou seja, $f'' < 0$) é também satisfeita.

11 Por simplicidade, supõe-se que os outros insumos, na função de produção da agricultura irrigada, não sofrem qualquer variação.

12 Supõe-se que a condição de segunda ordem para um máximo interior é também satisfeita, ou seja, $g'' < 0$.

do qual resultam as seguintes condições de primeira ordem para um ótimo interior $(t+p_a g_h h_f) f'(x_e) = w_e$ e $p_a g'[x_a, h(x_e)] = w_a$.

Deve-se ressaltar que as condições de primeira ordem para utilização ótima da água na agricultura irrigada nas óticas social e privada são exatamente iguais. Isto é, a condição $p_a g'[x_a, h(x_e)] = w_a$, que define o nível de utilização socialmente ótimo da água para o setor de irrigação (problema de otimização 2.3), é exatamente igual àquela obtida sob o ponto de vista privado (problema 2.2). No entanto, a condição que estabelece o nível socialmente ótimo de utilização da água para o setor de geração hidrelétrica é caracteristicamente diferente daquela obtida sob o ponto de vista privado (solução do problema de otimização 2.1). Essa diferença, $p_a g_h h_f f'(x_e)$, é devida à **externalidade tecnológica** que o setor de energia elétrica causa à agricultura irrigada, ao restringir a vazão a montante das hidroelétricas, estabelecer perdas por evaporação nos reservatórios e alterar a vazão a jusante.

Isto significa que o setor de energia elétrica não está alocando os recursos hídricos de forma eficiente, ao utilizá-los acima do nível socialmente ótimo, com prejuízos para os outros usuários da água. A Figura 2.2 ilustra este fato e ajuda a entender a razão dessa ineficiência na alocação desse recurso. A curva superior dessa figura representa o valor da produtividade marginal da água na geração hidrelétrica sob o ponto de vista privado, enquanto que a curva inferior indica tal valorização sob o ponto de vista social. Essa figura mostra que, ao preço de mercado w_e , o nível de utilização da água socialmente ótimo é $x_e^* < x_e$ (ponto S). Uma forma absolutamente correta e socialmente justa de fazer com que o setor elétrico corrija essas divergências, e utilize mais eficientemente os recursos hídricos, seria incorporar esse custo social de oportunidade ao preço de mercado da água na produção de energia elétrica, de modo que esse preço fosse elevado ao nível $w_e - p_a g_h h_f f'(x_e)$.

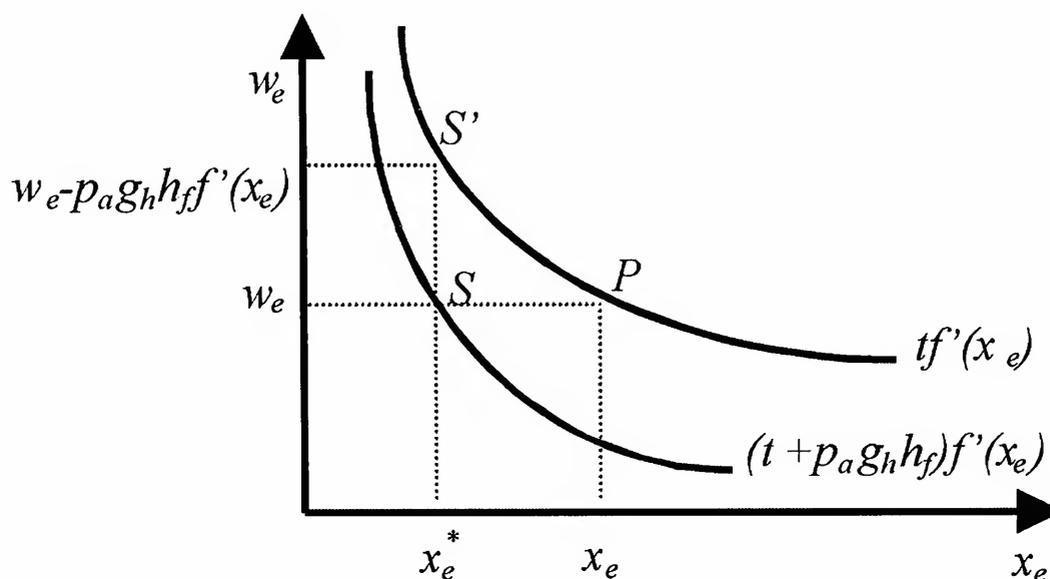
É importante ressaltar que a principal razão que leva o setor de energia elétrica a alocar ineficientemente os recursos da água é a inexistência de mercados de água bruta no Brasil. Essa falta de mercados impossibilita que se transacione o direito de uso da água e muito menos o seu direito de propriedade.¹³ Esta distorção na alocação dos recursos da água poderia ser minimizada ou até mesmo eliminada se o instrumento de cobrança pelo uso da água já estivesse implementado no País. Apesar da legislação brasileira já prever a possibilidade de cobrança pelo uso dos recursos hídricos,¹⁴ a utilização da água para geração de energia elétrica não estava enquadrada nessa possibilidade, uma vez que os mananciais onde se localizam os

13 De acordo com a legislação brasileira, a água é um bem público não suscetível de direito de propriedade, embora a tradição jurídica designe um titular, ao qual se confia a sua guarda e gestão.

14 Código de Águas de 1934 e da Lei Federal nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997.

aproveitamentos energéticos são de domínio exclusivo da União. No entanto, esse impasse parece ter sido definitivamente superado com a Lei nº 9.984/00, que cria a ANA¹⁵ e prevê que o setor elétrico deverá contribuir com 0,75% do valor comercial da energia elétrica gerada, a título de pagamento pelo uso da água na geração hidrelétrica.¹⁶

Figura 2.2
Alocação dos Recursos Hídricos no Setor de Energia Elétrica



Neste aspecto, a cobrança pelo uso da água para geração hidrelétrica representa um grande avanço da legislação brasileira no sentido de se melhorar a alocação dos recursos hídricos no País. O pagamento pelo uso da água pelo setor elétrico permite que este internalize os verdadeiros custos incorridos pela sociedade. De fato, o objetivo mais importante da cobrança pelo uso da água é exatamente garantir, a todos os setores usuários, um uso eficiente desse recurso, na medida em que corrige as distorções entre o custo social e o custo privado, ao mesmo tempo que financia os investimentos necessários ao bom funcionamento do setor de águas no País.

15 Foi aprovado pela Comissão de Assuntos Econômicos do Senado, no dia 7 de junho de 2000, o projeto de criação da ANA, autarquia autônoma, administrativa e financeiramente, que passou a desenvolver a Política Nacional de Recursos Hídricos, tendo a incumbência de outorgar o uso dos recursos hídricos da União, regular os serviços de água concedidos à iniciativa privada, implementar a cobrança pelo uso dos recursos hídricos em bacias do domínio da União, definir as condições de operação de reservatórios e traçar planos para minimizar os efeitos das secas e inundações, entre outras.

16 Estima-se que o volume de recursos a ser pago pelo setor elétrico para essa finalidade seja da ordem de R\$ 170 milhões. Está previsto que do total desses recursos, 92,5% serão destinados à própria bacia hidrográfica, como forma de financiar os custos de operação, manutenção e investimentos, enquanto que os 7,5% restantes serão destinados à ANA, que servirá para financiar o seu próprio custeio.

Portanto, torna-se indispensável que se faça a correção dos preços de mercado, de modo que as tarifas de energia elétrica possam refletir os custos verdadeiramente incorridos pela sociedade. Objetivando levantar as informações necessárias para o cálculo do custo social de oportunidade da energia elétrica na região Nordeste, a próxima seção apresenta as características gerais da bacia hidrográfica do rio São Francisco.

3 Caracterização geral da bacia hidrográfica do rio São Francisco

O rio São Francisco tem as suas nascentes na Serra da Canastra, na parte central do Estado de Minas Gerais. O seu curso alto/médio apresenta, inicialmente, uma direção geral sul/norte até o reservatório de Sobradinho, drenando grande parte da região norte/noroeste de Minas Gerais e toda a região oeste do Estado da Bahia. A partir daí, desenvolve um grande arco na direção nordeste/leste, fazendo a divisa entre os Estados da Bahia e Pernambuco, depois dividindo os Estados de Alagoas e Sergipe e, finalmente, desaguando no Oceano Atlântico.

O rio São Francisco faz um percurso de 2.700 km, drenando uma bacia hidrográfica da ordem de 645.067,2 km², dos quais 394.896,1 km² (o que equivale a 61%) estão na região Nordeste, 246.083,7 km² na região Sudeste e 4.087,4 km² na região Centro-Oeste. No Nordeste, a bacia banha os Estados da Bahia (304.421,4 km²), Pernambuco (68.536,2 km²), Alagoas (14.712,0 km²) e Sergipe (7.226,5 km²).

Em razão de sua grande extensão geográfica, a bacia do rio São Francisco apresenta condições climáticas bastante diversificadas. As precipitações pluviométricas apresentam distribuição irregular ao longo da bacia, variando de 350 mm/ano nos trechos semi-áridos do seu curso médio a 1.900 mm/ano na parte alta e no litoral semi-úmido. As temperaturas médias anuais oscilam entre 18 e 27°C. A evaporação é relativamente alta, variando de 2.300 a 3.000 mm anuais, a umidade relativa média anual situa-se na faixa de 60/80% e a insolação varia de 2.400 a 3.300 horas por ano.

O regime fluvial se caracteriza por um período de altas vazões no verão e estiagens no inverno. As cheias pertencem a dois tipos bem definidos: o primeiro, ocasionado pelas grandes chuvas localizadas nas cabeceiras, e o segundo, pelas chuvas que ocorrem no Baixo São Francisco. A descarga média anual é de $100 \times 10^9 \text{ m}^3$, o que resulta em uma vazão média de 3.150 m³/s. Os usos preponderantes de suas águas são para geração de energia elétrica, irrigação, abastecimento urbano e industrial e navegação.

O sistema hidroenergético atualmente implantado na bacia hidrográfica do São Francisco é constituído de cinco grandes aproveitamentos, os quais estão localizados na calha principal do rio, cujas características e parâmetros principais são apresentadas na Tabela 3.1. A bacia do São Francisco apresenta um potencial hidroenergético da ordem de 11.554 MW, dos quais 10.370, ou quase 90%, estão implantados e em operação na usina de Três Marias, da Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG), e nas usinas de Sobradinho, Itaparica, Complexo Moxotó-Paulo Afonso e Xingó, da CHESF.

O potencial hídrico da região para geração de energia elétrica está praticamente esgotado, existindo apenas um potencial de cerca de 800 MW para aproveitamentos hidrelétricos entre as centrais de Sobradinho e Itaparica. O problema é que a barragem de regularização a ser construída inundaria grandes áreas de terras agricultáveis e cidades. Existe ainda um pequeno potencial de geração no Xingó e em alguns afluentes do rio São Francisco. Segundo informações da CHESF, a empresa está planejando trazer energia da bacia hidrográfica do Tocantins, onde estão previstas grandes obras hídricas para os próximos anos.¹⁷

Tabela 3.1
Aproveitamentos Hidrelétricos no Rio São Francisco

USINA	Potência Instalada (MW)	Volume Útil (km ³)	Queda de Referência (m)	Vazão Máxima (m ³ /s)	Vazão Mínima (m ³ /s)	Área do Reservat. (km ²)
Três Marias	396	15,3	50,2	924	500	666
Sobradinho	1.050	34,1	27,2	4.277	1.300	4.214
Itaparica	1.500	10,8	50,8	3.308	1.300	834
Paulo Afonso	4.424	1,2	112,8	4.300	1.300	100
Xingó	3.000	0 ¹	116,4	2.856	1.300	
TOTAL	10.370					5.814

¹ Reservatório encaixado no *canion* do São Francisco.

No que se refere à irrigação, o Plano Diretor para o Desenvolvimento do Vale do São Francisco (PLANVASF) identificou na bacia uma área potencialmente irrigável, da ordem de 30,8 milhões de hectares. Considerando fatores restritivos (distância à fonte hídrica de até 60 km e altura de bombeamento de até 80-120 m), a área irrigável atinge 8,1 milhões de hectares. Deve-se registrar que essa superfície não poderá ser integralmente irrigada, por falta de

17 Deve-se ressaltar, entretanto, que esse projeto é polêmico e não-consensual, tendo em vista os altos custos econômicos e ambientais envolvidos, além de estar vinculado ao ainda mais polêmico projeto de transposição do rio São Francisco. Essa observação foi levantada por um dos pareceristas, ao qual fico extremamente grato.

água para tanto. Estudos atuais informam que, considerando os usos múltiplos das águas já existentes na bacia, podem ser irrigados cerca de 1,5 milhão de hectare.

Em levantamentos mais recentes, a área total irrigada na bacia do São Francisco está próxima de 300.000 hectares, dos quais cerca de 160.000 hectares em projetos públicos, já implantados e em fase de implantação, principalmente os da Companhia de Desenvolvimento do Vale de São Francisco (CODEVASP) e do Departamento Nacional de Obras Contra a Seca (DNOCS), enquanto os demais 140.000 hectares em projetos empreendidos pela iniciativa privada.

As águas do rio São Francisco são também utilizadas para abastecimento humano e industrial. Neste uso, são atendidas as demandas das cidades, vilas, distritos, povoados e indústrias para o consumo doméstico, comercial, público e industrial. Estima-se que a demanda total de água para o abastecimento urbano seja da ordem de 15 m³/s, enquanto que as demandas industriais chegam a atingir 10 m³/s.

A bacia apresenta um expressivo potencial para o transporte fluvial, com uma extensão navegável de cerca de 2.400 km, sendo 1.600 km na calha principal e os demais 800 km em afluentes. Estudos realizados indicam que, no período de estiagem, podem ser mantidas permanentemente, sem grandes oscilações, vazões defluentes de 500/600 m³/s em Três Marias e de 2.000 m³/s em Sobradinho. Estas vazões asseguram um calado de 1,80 m no trecho Pirapora/Ibotirama e de 2,50 m no trecho Ibotirama/Juazeiro. Essas condições viabilizam a implementação de um grande sistema de transporte intermodal, beneficiando todo o Nordeste setentrional.

4 Estimativa do custo social da energia elétrica para a região nordeste

O custo social da energia elétrica está diretamente relacionado com a dependência do setor elétrico em relação à fonte de geração, ou seja, depende diretamente do volume de água utilizado na geração de energia, do parâmetro de evaporação da região e do potencial de expansão de terras irrigáveis a montante dos aproveitamentos hidrelétricos. Por outro lado, esse custo guarda uma relação inversa com a disponibilidade de água (ou o balanço hídrico) do sistema.

O máximo valor que a sociedade estaria disposta a pagar para ter uma pequena redução das restrições à agricultura irrigada, impostas pelo setor de energia elétrica, seria correspondente ao acréscimo marginal nos lucros da atividade agrícola de irrigação. Esta variação marginal nos lucros seria resultante do acréscimo da produção agrícola irrigada, propiciado pelo aumento da disponibilidade hídrica do sistema. Isso pode ser facilmente

verificado ao se diferenciar a função de lucro da agricultura irrigada $\pi_a\{x_a, h[f(x_e)]\}$ em relação a h , donde resulta: $d\pi_a/dh = (\partial\pi_a/\partial x_a)(dx_a/dh) + (\partial\pi_a/\partial h)$. O **teorema da envoltória**¹⁸ garante que $\partial\pi_a/\partial x_a = 0$, visto que a utilização ótima da água na agricultura irrigada é assegurada ao nível que maximiza o lucro dessa atividade. Assim, é necessário avaliar apenas o termo $\partial\pi_a/\partial h = p_a g_h$, que representa exatamente o custo marginal social de utilizar um metro cúbico por segundo a mais de água na produção de energia elétrica.¹⁹

Deve-se ressaltar que o termo $-p_a g_h h_f f'(x_e)$, que representa o **custo de oportunidade** da água na geração de energia elétrica, é em realidade, o custo (ou **externalidade tecnológica**) que o setor elétrico impõe à sociedade. Isto é, esse é o custo que emerge ao restringir o uso dos recursos hídricos a montante da geração, provocar perdas por evaporação nos reservatórios de regularização da vazão e alterar a vazão a jusante das hidrelétricas, cujos recursos ficam indisponíveis aos demais usuários do sistema. Esse custo pode ser decomposto em duas parcelas multiplicativas: (i) $-p_a g_h$, a qual representa o custo marginal social de utilizar um metro cúbico a mais de água na produção de energia elétrica, e (ii) $h_f f'(x_e)$, que estabelece o requerimento técnico de água para geração hidrelétrica.

Para efeitos práticos, o custo de oportunidade da água na geração de energia elétrica pode ser avaliado ao **preço de reserva** da água na atividade agrícola de irrigação. Neste caso, o preço de reserva é definido pelo máximo valor que os irrigantes, em conjunto, estariam dispostos a pagar por cada metro cúbico adicional de água na produção agrícola de irrigação e permanecerem indiferentes entre irrigarem suas lavouras ou produzirem em sequeiro.²⁰ Esse máximo valor é o lucro adicional que tais produtores poderiam obter se ampliassem a irrigação de suas lavouras com uma maior disponibilidade hídrica do sistema. O preço de reserva da água na agricultura irrigada, w_a^r , pode ser então avaliado por meio da seguinte expressão:

$$w_a^r = (P_i - P_s)S_i/x_a \quad (4.1)$$

onde x_a é o volume de água que seria disponibilizado pelo setor elétrico para irrigação por unidade de tempo, S_i é a expansão na área irrigada com essa maior disponibilidade hídrica; P_i

18 Mais detalhes a respeito desse teorema podem ser encontrados em Varian (1978).

19 Se esse custo fosse internalizado aos custos privados de produção de energia elétrica, de modo a estar contido no excedente econômico desse setor, i.e., $\pi_e = t f(x_e) + (\partial\pi_a/\partial h)h[f(x_e)] - w_e x_e$, então o resultado seria socialmente eficiente. Isso fica garantido desde que a maximização do excedente econômico do setor geraria a mesma condição necessária para um ótimo social: $[t + (\partial\pi_a/\partial h)h_f]f'(x_e) = w_e$, tendo em vista que $\partial\pi_a/\partial h = p_a g_h$.

20 O preço de reserva representa a altura da curva de demanda “tudo ou nada” a qual é definida por:

$$w_a^r(x_a) = (1/x_a) \int_0^{x_a} w_a(x_a) dx_a$$

da qual a demanda ordinária (marshalliana ou walrasiana) é a curva marginal. Isto é, uma é a transformada da outra por um processo de derivação ou integração.

é o preço da terra nua irrigável por unidade de área e P_s é o preço da terra nua em sequeiro (não irrigável) por unidade de área. Cabe ressaltar que o diferencial de preços ($P_i - P_s$) na expressão (4.1) representa a **renda ou quase-renda** da terra irrigável em relação à terra não-irrigável, a qual é apropriada pelos proprietários das terras irrigáveis em relação àquelas menos produtivas de sequeiro.

De posse desse preço de reserva da água na agricultura irrigada, pode-se estimar o custo social CS_e que a geração de energia elétrica impõe à sociedade (ao restringir e indisponibilizar os recursos hídricos aos demais usuários do sistema hídrico), da seguinte forma:

$$CS_e = w_a r x_e / q \quad (4.2)$$

onde x_e é a restrição total de vazão que o setor elétrico impõe ao sistema hídrico (indisponibilidades a montante e perdas a jusante) e q é a potência instalada com base no potencial hidrológico-topográfico para geração de energia hidrelétrica. Vale lembrar que o numerador da expressão (4.2) representa o custo marginal social total de utilização da água para geração de energia hidrelétrica, enquanto que o denominador expressa o requerimento técnico do potencial hidrelétrico para produção de energia elétrica.

As perdas de água por evaporação na superfície dos reservatórios de regularização da vazão foram avaliadas considerando-se a taxa de 1.577,7 mm/ano. Esta estimativa foi feita com base nos dados da estação climatológica de Remanso, localizada às margens do reservatório de Sobradinho. A taxa de evaporação média anual no tanque Classe A, nessa estação, é de 2.253,9 mm/ano. Para a correlação com a evaporação na superfície livre de um corpo d'água considerou-se um fator de redução de 70%. Deste modo, a perda de água por evaporação no reservatório encontrada foi de $0,7 \times 2.253,9 = 1.577,7$ mm/ano. A Tabela 4.1 contém as estimativas de perdas anuais de água nos respectivos reservatórios, em m³/s, com base nessa taxa de evaporação.

Tabela 4.1
Perdas de Água por Evaporação nos Reservatórios

Aproveitamentos	Área (km ²)	Perda de água (m ³ /s)
Três Marias	666	33,30
Sobradinho	4.214	210,82
Itaparica (Luiz Gonzaga)	834	41,72
Paulo Afonso / Moxotó	100	5,00
Xingó		
TOTAL	5.814	290,84

Fonte: Tabela 3.1 e cálculos no texto.

A Tabela 4.2 contém os principais parâmetros para avaliação do preço de reserva da água na agricultura irrigada (w_a^r) e do custo social da energia elétrica na bacia do rio São Francisco (CS_e). Pode-se observar que a usina de Sobradinho é o aproveitamento hidrelétrico marginal, tanto em termos de expansão na área potencialmente irrigável quanto no que tange à vazão disponibilizada para a atividade agrícola de irrigação.

Tabela 4.2
Principais Parâmetros para Avaliação do Custo Social
da Energia Elétrica na Bacia do Rio São Francisco

Usina	Potência instalada (MW)	Vazão (m ³ /s)		Perda por evaporação no reservatório (m ³ /s)	Área potencialmente irrigável a montante (ha)		Vazão potencial para irrigação (m ³ /s)	
		Max	Min		c/ redução de EE	sem EE ¹	c/ redução de EE ²	Sem EE ³
Três Marias	396	924	500	33,30	3.000	81.000	424,00	924,00
Sobradinho	1.050	4.277	1.300	210,82	926.578	2.000.000	3.010,30	4.277,00
Itaparica	1.500	3.308	1.300	41,72	122.907	891.000	2.218,82	3.308,00
Paulo Afonso	4.424	4.300	1.300	5,00	5.000	162.000	3.064,72	4.300,00
Xingó	3.000	2.856	1.300		20.000	243.000	1.561,00	2.856,00
Total	10.370			290,84	1.077.485	3.377.000		

Fonte: Tabelas 3.1 e 4.1 e cálculos no texto.

¹ Área estimada com base nos percentuais de 1,83%*, 11,2% e 3%, respectivamente (*esse percentual não foi atingido, por ser maior do que a máxima área irrigável com a vazão atual do rio nesse trecho, que é de 2.000.000 ha).

² Avaliado pela vazão restrita a montante, tendo em vista que, sem geração de energia elétrica, não haveria perdas por evaporação.

³ Estimativa tomando-se por base a soma da vazão restrita a montante e a vazão equivalente das perdas por evaporação que ficam indisponibilizadas a jusante. A vazão restrita a montante foi obtida pela diferença entre as vazões máxima e mínima na geração de energia elétrica.

O custo social da energia elétrica foi avaliado admitindo-se duas hipóteses alternativas quanto à geração de energia elétrica, as quais estabelecerão um valor máximo e um mínimo. Na primeira, supôs-se que a produção de energia elétrica se daria nos níveis atuais das respectivas centrais hidrelétricas, enquanto que na segunda hipótese admitiu-se uma redução na geração dessas usinas. A redução na geração foi estabelecida no nível da vazão mínima das respectivas hidrelétricas. Nas circunstâncias atuais de racionamento de energia elétrica, essa segunda hipótese parece bastante improvável, mas não pode ser descartada em uma perspectiva de longo prazo.

A Tabela 4.3 contém a memória de cálculo do preço de reserva da água na agricultura irrigada e do custo social da energia elétrica na bacia do rio São Francisco, avaliados nos vários trechos a montante dos aproveitamentos hidrelétricos. Os parâmetros utilizados nessas avaliações foram obtidos da seguinte forma:

1. O máximo volume de água que poderia ser disponibilizado para a atividade agrícola de irrigação se não houvesse geração de energia elétrica, $x_a^{s/ee}$, foi obtido considerando-se a utilização da vazão máxima requerida nas várias centrais hidrelétricas. Deve-se ressaltar que a interrupção da geração de energia elétrica eliminaria a possibilidade de perdas de água por evaporação nos reservatórios de regularização de vazão;
2. A quantidade de água que seria disponibilizada para irrigação na hipótese de redução da produção de energia elétrica, $x_a^{c/ee-red}$, foi estimada com base na quantidade de água que seria requerida ao nível mais baixo de geração de energia elétrica, adicionando-se as perdas de água por evaporação nos reservatórios de regularização. A quantidade de água que poderia ser liberada para a agricultura irrigada, nessa hipótese, foi calculada admitindo-se um nível de geração de energia elétrica estabelecido pela vazão mínima de cada hidrelétrica, de modo que haveria uma disponibilidade de vazão exatamente igual à diferença entre as vazões máxima e mínima;
3. A área potencialmente irrigável que poderia ser expandida com a atividade agrícola sem a geração de energia elétrica, $S_i^{s/ee}$, foi calculada observando-se os levantamentos mais recentes do potencial de terras irrigáveis na região da bacia do rio São Francisco. Deve-se ressaltar que a área potencialmente irrigável a montante da hidrelétrica de Sobradinho foi bem maior do que a área que poderia ser irrigada utilizando-se toda a vazão do rio, que é de aproximadamente 2.000 m³/s. Desta forma, a área máxima que poderia ser disponibilizada para a produção agrícola irrigada sem a geração de energia elétrica, nesse trecho da bacia, seria algo em torno de 2.000.000 de hectares. Este valor foi obtido considerando-se o requerimento técnico de irrigação para a região, que é da ordem de 1 l/s/ha;
4. O acréscimo da área a ser irrigada com uma redução na geração de energia elétrica, $S_i^{c/ee}$, foi avaliado tomando-se o potencial de terras irrigáveis para a região previsto em projetos públicos e privados, que ainda não foram implementados por comprometerem a vazão necessária para geração de energia elétrica;
5. Os preços de terras nuas irrigáveis, P_p , e em sequeiro, P_s , foram tomados com base nos valores médios praticados nos municípios a montante dos respectivos aproveitamentos hidrelétricos, os quais foram levantados por meio de informações da AIBA (Associação de

Irrigantes da Bahia), do INTERBA (Instituto de Terras da Bahia), e da SRF (Secretaria da Receita Federal);

6. O preço de reserva da água na agricultura irrigada em cada trecho da bacia do rio São Francisco foi estimado por meio da sua própria definição, a qual foi avançada na expressão (4.1):

$$w_a^r = (P_i - P_s) S_i / x_a$$

Esses preços foram avaliados com base nas duas hipóteses estabelecidas anteriormente, ou seja, com a geração de energia elétrica a plena capacidade das centrais hidrelétricas, $w_a^{r(c/ee)}$, e com redução na geração de energia elétrica estabelecida pela vazão mínima das mesmas, $w_a^{r(c/ee-red)}$.

7. A restrição total de vazão com a geração de energia elétrica a plena capacidade, $x_e^{c/ee}$, foi calculada tomando-se por referência a vazão máxima de geração e a vazão equivalente às perdas de água por evaporação nos respectivos reservatórios das centrais hidrelétricas;
8. A restrição total de vazão com redução na produção de energia elétrica, $x_e^{c/ee-red}$, foi avaliada tomando-se a diferença entre as vazões máxima e mínima de geração e a vazão equivalente às perdas de água por evaporação nos respectivos reservatórios de regularização;
9. O custo social da energia elétrica em cada uma das duas hipóteses, ($CS_e^{c/ee}$ e $CS_e^{c/ee-red}$), para cada trecho da bacia hidrográfica do rio São Francisco, foi estimado utilizando-se a expressão (4.2):

$$CS_e = w_a^r x_e / q$$

10. O custo social médio da energia elétrica na bacia hidrográfica do rio São Francisco (CS_e médio) foi calculado com base na média ponderada dos custos nos trechos a montante das respectivas usinas hidrelétricas, cujos pesos foram as proporções das potências instaladas em cada uma das usinas na potência total da região, ou seja:

$$CS_e(\text{médio}) = \sum_j q_j CS_{e,j}$$

onde $q_j = q_k / \sum_k q_k$ são os pesos de ponderação.

Tabela 4.3

Memória de Cálculo do Custo Social da Energia Elétrica por Trecho da Bacia do Rio São Francisco (a Montante das Hidrelétricas)

DISCRIMINAÇÃO	TRÊS MARIAS	SOBRADINHO	ITAPARICA	PAULO AFONSO	XINGÓ
$x_a^{s/ee}$: volume de água disponibilizado sem geração de EE (m ³ /ano)	2,91x10 ¹⁰	1,35x10 ¹¹	1,04x10 ¹¹	1,36x10 ¹¹	9,01x10 ¹⁰
$x_a^{c/ee-red}$: volume de água disponibilizado com redução da geração de EE (m ³ /ano)	1,34x10 ¹⁰	9,49x10 ¹⁰	7,00x10 ¹⁰	9,59x10 ¹⁰	4,92x10 ¹⁰
• $x_a^{restricção}$	1,34x10 ¹⁰	9,39x10 ¹⁰	6,33x10 ¹⁰	9,46x10 ¹⁰	4,91x10 ¹⁰
• $x_a^{evaporação}$		1,05x10 ⁹	6,65x10 ⁹	1,32x10 ⁹	1,58x10 ⁸
$S_f^{s/ee}$: área potencialmente irrigável sem geração de EE (ha)	81.000	2.000.000	891.000	162.000	243.000
$S_f^{c/ee-red}$: área potencialmente irrigável com geração de EE reduzida (ha)	3.000	926.578	122.907	5.000	20.000
P_i : preço da terra irrigável (R\$/ha)	1.100,00	850,00	1.100,00	1.100,00	1.350,00
P_s : preço da terra em sequeiro (R\$/ha)	700,00	650,00	550,00	600,00	650,00
w_a : preço de reserva da água na agricultura irrigada (R\$/m ³)					
• $w_a^{r(c/ee)}$	1,11x10 ⁻³	2,96x10 ⁻³	4,71x10 ⁻³	5,96x10 ⁻⁴	1,89x10 ⁻³
• $w_a^{r(c/ee-red)}$	8,96x10 ⁻⁵	1,95x10 ⁻³	9,66x10 ⁻⁴	2,61x10 ⁻⁵	2,85x10 ⁻⁴
q : potência instalada (MW)	396	1.050	1.500	4.424	3.000
$x_e^{c/ee}$: restrição total de vazão com geração de EE a plena capacidade (m ³ /h)	3,33x10 ⁶	1,55x10 ⁷	1,27x10 ⁷	1,56x10 ⁷	1,03x10 ⁷
• $x_e^{restricção}$	3,33x10 ⁶	1,54x10 ⁷	1,19x10 ⁷	1,55x10 ⁷	1,03x10 ⁷
• $x_e^{evaporação}$		1,20x10 ⁵	7,59x10 ⁵	1,50x10 ⁵	1,80x10 ⁴
$x_e^{c/ee-red}$: restrição total de vazão com redução da geração de EE reduzida (m ³ /h)	1,53x10 ⁶	1,08x10 ⁷	7,99x10 ⁶	1,10x10 ⁷	5,62x10 ⁶
• $x_e^{restricção-red}$	1,53x10 ⁶	1,07x10 ⁷	7,23x10 ⁶	1,08x10 ⁷	5,60x10 ⁶
• $x_e^{evaporação}$		1,20x10 ⁵	7,59x10 ⁵	1,50x10 ⁵	1,80x10 ⁴
• CS_e : Custo social da EE (R\$/MWh)					
• $CS_e^{c/ee}$	9,33	43,70	39,88	2,10	6,49
• $CS_e^{c/ee-red}$	0,35	20,06	5,15	0,07	0,53

O custo social médio da energia elétrica para toda a bacia do rio São Francisco foi avaliado admitindo-se que as usinas hidrelétricas continuarão produzindo de acordo com os níveis atuais. Este custo foi igual R\$ 13,32 por MWh.²¹ Na hipótese de haver uma redução na geração ao nível da vazão mínima, o custo social da energia elétrica cairia para R\$ 2,97 por MWh.

21 Deve-se registrar que o componente de custo referente às variações de vazão a jusante (que ocorrem nos períodos de pico de consumo e, portanto, de produção de energia elétrica) não foi considerado nesta avaliação, por apresentar magnitude desprezível quando comparada com os outros dois componentes.

Conforme avançado anteriormente, essa estimativa de custo não inclui uma série de outros efeitos externos (negativos e positivos) relacionados à geração hidrelétrica. Um desses efeitos negativos é o impacto ambiental da inundação de áreas, decorrente da construção de reservatórios de regularização da vazão, com conseqüentes desapropriações e deslocamentos da população, assim como aquele resultante de alterações na qualidade das águas desses reservatórios.²² Por outro lado, ao armazenar grandes quantidades de água, essas barragens trazem benefícios sociais para o abastecimento humano e animal da região, assim como suas águas podem ser um importante instrumento para a produção de alimentos pesqueiros. Além disso, elas podem gerar efeitos externos positivos ao reduzir os riscos de enchentes a jusante.

A geração hidrelétrica de grande porte, a qual depende fortemente dessas barragens, tornam as condições do curso de água a montante mais favoráveis à navegação e, portanto, geram benefícios sociais adicionais. No entanto, são conhecidos os conflitos entre esses dois setores pela interrupção no fluxo das embarcações a jusante causada pelos barramentos. A solução, evidentemente, é a construção de eclusas, as quais permitem a retomada do trajeto da embarcação que, mediante operação lenta, sai de um nível de água mais alto para um mais baixo e vice-versa. Para se ter uma idéia da redução da velocidade média da embarcação, a eclusa da barragem de Sobradinho, cujo desnível é de cerca de oitenta metros, completa a operação de subida ou de descida em cerca de 37 minutos.

Não podem ser esquecidos também os benefícios sociais gerados pela geração hidrelétrica ao evitar a emissão de gases poluentes na atmosfera, que seriam fatalmente produzidos pela geração termelétrica, proporcionando uma melhoria nas condições de visibilidade e uma maior facilidade na passagem dos raios solares, que evitam o aumento da temperatura global da Terra.

Todas essas externalidades tecnológicas, negativas e positivas, são passíveis de serem valoradas economicamente e contabilizadas ao custo da geração de energia elétrica. Apesar de todos esses efeitos externos não terem sido considerados na análise, o que poderia alterar marginalmente a estimativa do custo social da energia elétrica, para mais ou para menos, os valores obtidos neste trabalho são suficientemente realísticos, a ponto de não poderem ser desconsiderados pela sociedade.

Tendo em vista que nem toda a energia elétrica produzida no País advém de aproveitamentos hidrelétricos, poder-se-ia ter a falsa idéia de que o custo de oportunidade da

22 Deve-se ressaltar, entretanto, que o setor elétrico já contabiliza parte desses custos sociais aos custos privados, na medida em que transfere recursos para os municípios afetados, a título de compensações por inundações de terras.

água e, portanto, o custo social da energia elétrica estaria sendo superestimado. Essa suspeita é mais aparente do que real, uma vez que o sistema elétrico brasileiro é caracteristicamente de base hidráulica. De fato, cerca de 95% da energia elétrica consumida no Brasil é produzida em usinas hidrelétricas, conforme pode ser observado na Tabela 4.4. Esta mesma proporção se mantém para a região Nordeste. Os outros 5% da energia elétrica consumida no País são produzidos em usinas termelétricas. Essas centrais térmicas têm sido utilizadas, via de regra, para suprir localidades isoladas ou como complementação dos sistemas nos períodos mais secos do ano e nos horários de pico de consumo.²³

Tabela 4.4
Composição da Produção e da Capacidade Instalada de Energia Elétrica no Brasil

FONTE	1978 ¹	1983 ¹	1988 ¹	1993 ¹	1996 ²	1997 ²	1998 ²
Produção (GWh)	105.930	152.816	203.781	237.623	273.300	288.846	301.198
• Hidráulica (%)	94,4	97,2	96,0	97,4	95,7	95,1	95,1
• Térmica (%)	5,6	2,8	4,0	2,6	4,3	4,9	4,9
Total (%)	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Capacidade instalada (MW)	26.972	40.366	49.575	56.212	57.194	59.150	61.312
• Hidráulica (%)	80,3	84,7	85,2	86,5	91,7	91,3	91,1
• Térmica (%)	19,7	15,3	13,5	12,4	8,3	8,7	8,9
• Nuclear (%)			1,3	1,2			
Total (%)	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Fontes: ¹ MME (1994), ² IBGE (1998).

Deve-se ressaltar, entretanto, que as usinas térmicas também exercem demanda sobre a base dos recursos hídricos. Do mesmo modo que a água é um insumo fundamental na geração de energia hidrelétrica, a produção de energia termelétrica faz uso de grandes quantidades de água, tanto para produção do vapor - insumo primordial na produção de energia elétrica - quanto para a refrigeração nas referidas plantas. Nas termelétricas, o vapor descarregado pelas turbinas a uma pressão inferior à atmosférica passa através dos condensadores, onde sofre resfriamento, e retorna ao estado líquido, sendo bombeado novamente para as caldeiras em circuito fechado. As perdas nesse processo não chegam a ser apreciáveis, razão porque o

23 É importante ressaltar que o fato da expansão da oferta de energia elétrica prevista no sistema para a região Nordeste ser basicamente de origem térmica não superestima o custo social da energia elétrica. Isto é, o fato da participação da energia termelétrica ser cada vez maior na energia elétrica “nova” que se adiciona ao sistema não cria nenhum viés nessa estimativa do custo social. Esse custo só seria superestimado se houvesse uma redução absoluta na geração hidrelétrica, com uma conseqüente liberação de recursos hídricos para os outros setores usuários.

uso da água para essa finalidade é, para fins práticos, considerado não consuntivo. No entanto, o mesmo não pode ser dito durante o processo de refrigeração dos condensadores, porquanto deve-se fazer circular grandes volumes de água, gerando perdas bem maiores do que aquelas que sucedem no circuito das caldeiras, quando a água é devolvida à fonte ou às torres de arrefecimento.

É necessário, portanto, que se faça a correção da tarifa de mercado da energia elétrica de modo que esta possa refletir os custos realmente incorridos pela sociedade. A tarifa social da energia elétrica t^* é o valor que induz os agentes econômicos a utilizar esse recurso ao nível socialmente ótimo, ou seja, é a tarifa que internaliza o efeito externo negativo e, conseqüentemente, o custo social que o setor de energia elétrica impõe a toda a sociedade, especialmente à atividade agrícola de irrigação, que poderia de outro modo utilizar esses recursos hídricos na produção, isto é:

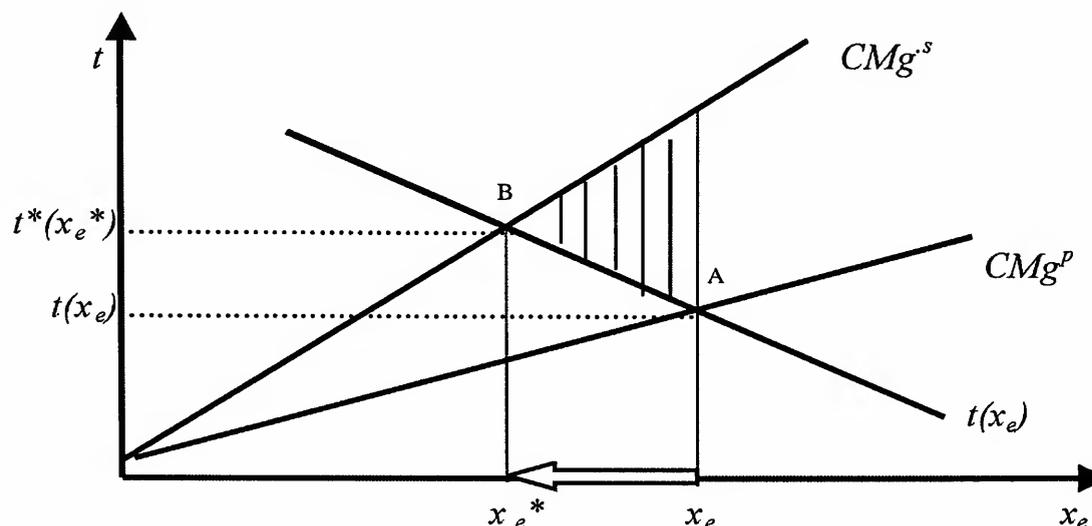
$$t^* = t + CS_e \quad (4.3)$$

onde t é a tarifa de mercado da energia elétrica (custo marginal privado de geração de um MWh de energia hidráulica) e CS_e é o custo social de oportunidade da água na produção de cada MWh de energia hidrelétrica, cujos limites superior e inferior são, respectivamente, R\$ 13,32 por MWh e R\$ 2,97 por MWh.²⁴

A Figura 4.1 ajuda a entender a racionalidade da tarifação social ótima, como política explícita para o setor, e os benefícios da sua adoção. No eixo horizontal dessa figura mede-se a quantidade de energia hidrelétrica produzida e consumida x_e , enquanto que sobre o eixo vertical representam-se as suas tarifas. A curva inferior, denotada por CMg^p nessa figura, mostra o custo marginal privado de geração de energia hidrelétrica. A curva superior, indicada por CMg^s nessa mesma figura, representa o custo marginal social dessa geração, que além do custo de oportunidade privado inclui também o custo adicional imposto à sociedade. A função de demanda por energia hidrelétrica está representada na Figura 4.1 pela curva $t(x_e)$, a qual especifica o benefício marginal social para cada nível de consumo desse recurso. A tarifa social ótima de energia elétrica t^* é aquela que iguala o benefício marginal social ao custo marginal social (ponto B nessa figura). Em conseqüência da adoção dessa tarifa, os agentes econômicos seriam induzidos a consumir energia elétrica ao nível socialmente ótimo, x_e^* . A área hachurada nessa figura representa o ganho social líquido que seria obtido com a adoção da tarifa social.

24 Estabelecidos com base nas hipóteses de que as usinas hidrelétricas produziram de acordo com os níveis atuais (limite superior), para as quais foram dimensionadas, e com redução da geração ao nível de suas vazões mínimas (limite inferior).

Figura 4.1
A Tarifa Social Ótima



Embora o repasse desse custo social para as tarifas de energia elétrica seja necessário e socialmente justo, os recursos financeiros resultantes desse repasse são devidos a toda a sociedade e, portanto, não deveriam ser apropriados integralmente pelo setor elétrico. Apenas uma parte desses recursos deveria ser destinada ao setor elétrico, a título de renda (ou quase-renda) econômica, que serviria para financiar o programa de investimentos visando à substituição da tecnologia atual de produção de energia elétrica por fontes alternativas de geração, poupadoras de recursos hídricos. A outra parte desses recursos deveria ser destinada ao órgão gestor dos recursos hídricos, como forma de pagamento pelo uso da água na geração de energia elétrica, que seria utilizada para financiar os custos de operação, manutenção e investimento de cada bacia hidrográfica utilizada para essa finalidade.

Objetivando verificar o impacto do repasse do custo social sobre as tarifas de energia elétrica, dispõem-se na Tabela 4.5 as tarifas médias de suprimento de energia elétrica (em R\$/MWh) das principais companhias do sistema ELETROBRÁS, no período de janeiro de 1997 a junho de 1998. Na Tabela 4.6 mostram-se as tarifas de fornecimento de energia elétrica no Brasil por classe de uso em 1998.

A tarifa social da energia elétrica pode ser avaliada tomando-se a tarifa média de suprimento de energia elétrica do sistema ELETROBRÁS para a região Nordeste (sistema CHESF) como *proxy* para o custo de produção de energia hidrelétrica, a qual foi da ordem de R\$ 32,51 por MWh (veja-se Tabela 4.5). Nesse caso, a tarifa social da energia elétrica no Brasil seria de R\$ 45,83 por MWh (limite superior) e R\$ 35,48 por MWh (limite inferior). Isto significa que a tarifa de suprimento de energia elétrica praticada pelo mercado cobre apenas 70,9% (limite

superior) e 91,6% (limite inferior) do seu custo social, enquanto que os outros 29,1% (limite superior) ou 8,4% (limite inferior) representam o custo social de oportunidade da água na geração hidrelétrica, não contabilizado pelo setor de energia elétrica.

Tabela 4.5
Tarifa Média de Suprimento de Energia Elétrica (R\$/MWh)

MÊS/1997	ELETRONORTE	CHESF	FURNAS	ELETROSUL	SISTEMA ELETROBRÁS
1997/JAN	28,29	28,33	30,18	28,44	29,08
FEV	28,90	28,94	30,72	28,91	29,65
MAR	28,45	28,39	29,97	28,76	29,12
ABR	30,56	29,98	34,02	32,26	32,12
MAI	33,28	32,94	35,58	33,03	34,04
JUN	33,48	33,20	34,75	33,01	33,82
JUL	33,44	32,62	35,63	32,85	33,94
AGO	33,47	32,90	35,60	33,13	34,08
SET	33,65	32,98	35,55	33,24	34,13
OUT	32,67	32,34	34,30	32,48	33,19
NOV	32,85	32,45	34,29	32,15	33,17
DEZ	32,68	32,30	34,20	32,00	33,03
MÉDIA	31,93	31,49	33,77	31,73	32,49
1998/JAN	33,79	32,32	34,96	33,51	33,72
FEV	31,03	32,73	34,99	34,10	33,60
MAR	30,39	32,29	35,27	33,64	33,43
ABR	31,10	32,62	35,64	33,86	33,83
MAI	30,48	32,43	35,60	33,79	33,64
JUN	30,74	32,64	35,81	33,95	33,85
MÉDIA	31,23	32,51	35,38	33,81	33,68

Fonte: ANEEL (2000).

Tomando-se a tarifa média de fornecimento de energia no Brasil por base, a qual foi da ordem de R\$ 84,08 por MWh (veja-se Tabela 4.6), pode-se observar que a tarifa social da energia elétrica no Brasil seria de R\$ 97,40 por MWh (limite superior) e de R\$ 87,05 por MWh (limite inferior).

Portanto, quando analisado sob o ponto de vista mais amplo da sociedade, o reajuste tarifário é absolutamente necessário como forma de internalizar o custo social que a geração hidrelétrica causa à sociedade e, em particular, aos outros usuários dos recursos hídricos. Ao contabilizar esse custo social, o setor elétrico brasileiro estaria estabelecendo um mecanismo socialmente justo de correção das divergências entre os preços de mercado e os preços sociais. Neste sentido, o setor elétrico estaria sinalizando para as concessionárias níveis tarifários compatíveis com as novas condições de tecnologia e de concorrência que o setor

deverá enfrentar, ao tempo em que orientaria eficientemente as ações de investimento na economia, com ganhos para toda a sociedade.

Tabela 4.6
Tarifa Média de Fornecimento de Energia Elétrica no Brasil
Em 1998 (R\$/MWh)

Mês	Residencial	Industrial	Comercial	Rural	Outras	Total
JAN	121,64	54,39	108,80	69,22	75,76	84,32
FEV	120,98	54,34	108,76	69,80	75,90	83,65
MAR	121,13	53,61	109,23	69,78	76,77	83,48
ABR	121,13	54,23	108,59	70,65	77,02	83,20
MAI	121,70	56,86	110,68	71,09	77,91	84,98
JUN	121,61	57,08	111,06	71,00	78,01	84,86
MÉDIA	121,36	55,10	109,50	70,23	76,89	84,08

Fonte: ANEEL (2000).

5 Considerações finais e recomendações

A despeito da utilização da água para geração de energia elétrica ser considerada como uso não consuntivo dos recursos hídricos, a geração hidrelétrica, ao impor restrições de ordem técnica, acarreta custos de sustentabilidade para os sistemas hídricos. Essas restrições decorrem da vazão que deverá ser assegurada a montante, das perdas por evaporação nos reservatórios de regularização da vazão e da alteração no padrão de escoamento a jusante. O problema é que esses custos não estão sendo levados em consideração pelo setor elétrico na determinação de suas tarifas.

Tentando aprofundar um pouco mais o conhecimento a esse respeito e avaliar o impacto dessa alocação de recursos hídricos para a sociedade, este artigo estimou o custo social da energia elétrica para cada uma das usinas hidrelétricas implantadas na bacia do rio São Francisco, assim como o custo social médio para toda a bacia hidrográfica. Admitindo-se que as usinas hidrelétricas continuarão produzindo de acordo com os níveis atuais, para os quais foram dimensionadas, o custo social médio para a bacia como um todo foi avaliado em R\$ 13,32 por MWh.²⁵ Na hipótese de haver uma redução na geração de energia elétrica (ao nível da

²⁵ Deve-se lembrar que, por apresentar magnitude desprezível em relação aos outros dois componentes, o componente de custo referente às variações de vazão a jusante não foi considerado nesta avaliação.

vazão mínima de cada uma dessas usinas), que nas circunstâncias atuais de racionamento de energia elétrica parece inviável, esse custo social seria reduzido para apenas R\$ 2,97 por MWh.

Apesar de não terem sido considerados outros efeitos externos (positivos e negativos) relacionados à geração hidrelétrica, o que poderia alterar marginalmente o custo social da energia hidrelétrica tanto para mais quanto para menos, as implicações da análise aqui apresentada e as orientações de política dela emanada seriam, de alguma forma, reforçadas por todas essas externalidades tecnológicas não contabilizadas.

Tomando-se a tarifa média de suprimento da CHESF como *proxy* para o custo de geração para a região Nordeste, que foi de R\$ 32,51 por MWh, observa-se que a tarifa social de energia elétrica supera a tarifa de mercado em 41,0% (limite superior) e 9,1% (limite inferior). Por outro lado, ao tomar-se a tarifa média de fornecimento do sistema ELETROBRÁS por base para a tarifa de mercado, então a tarifa social suplantaria essa tarifa em 15,8% (limite superior) e 3,5% (limite inferior). Como todo recurso subavaliado pelo mercado é sobreutilizado pelos agentes econômicos, então o fato da tarifa de energia elétrica praticada pelo setor ser menor que o seu preço social gera uma alocação ineficiente de recursos na economia brasileira. Isto é, os usuários de energia elétrica são induzidos a utilizar esse recurso mais intensivamente, além do nível socialmente ótimo (estabelecido pela tarifa social), com impactos negativos para toda a sociedade.

É importante que o setor elétrico reconheça que o recém-criado pagamento pelo uso da água não é uma mera transferência para o setor de recursos hídricos, mas sim um custo efetivamente incorrido pela sociedade. Como tal, esse custo deveria ser repassado a todos os consumidores de energia elétrica por meio de um reajuste das tarifas. Dessa forma, os usuários de energia elétrica poderiam avaliar corretamente os verdadeiros custos desse recurso para a sociedade, ao mesmo tempo em que estariam contribuindo para financiar os investimentos do setor elétrico, indispensáveis para uma substituição gradual da geração hidrelétrica por fontes energéticas poupadoras de recursos hídricos. Esta substituição paulatina liberaria recursos da água para outros setores usuários, que hoje se encontram restringidos pela absoluta falta de água, e adaptaria a base energética brasileira à nova realidade do País em termos de recursos hídricos.

É importante ressaltar que o racionamento atual de energia elétrica, que em realidade é um racionamento de água, inviabiliza qualquer projeto de transposição das águas do rio São Francisco para os estados do Nordeste Setentrional, exclusivamente pelos riscos que tal projeto imporia às usinas hidrelétricas aí instaladas. Além do mais, se não houver uma política explícita

de substituição de geração hidrelétrica por outras fontes alternativas que reduzam a forte dependência do setor elétrico brasileiro em relação à base nacional de recursos hídricos, então a política atual do setor elétrico, que subavalia esse recurso, pode estabelecer racionamentos de energia elétrica ainda maiores. Isso porque os agentes econômicos, ao serem levados a utilizar a energia elétrica além do nível socialmente ótimo, pressionariam ainda mais o sistema de geração. A consequência não poderá ser outra que não o racionamento no consumo de energia elétrica, o qual ficará limitado pela capacidade do sistema de suprir essa energia de forma sustentável.

Portanto, ao avaliar o custo social de oportunidade da água nessa finalidade de uso, tradicionalmente desconsiderado pelo setor de energia elétrica na formação de suas tarifas, espera-se que este trabalho possa contribuir para orientar a implementação de uma política explícita de tarifação social. Isto é, tarifas que reflitam os custos verdadeiramente incorridos pela sociedade, que sejam suficientes para financiar uma substituição gradual da geração hidrelétrica por fontes alternativas de energia, assim como compensem o setor de recursos hídricos pelos custos incorridos em decorrência desse uso. A implementação de uma política responsável de tarifas sociais, além de promover uma utilização ótima dos recursos hídricos, compatível com a base energética nacional, contribuirá para guiar a economia na direção da fronteira Pareto ótimo, com ganhos generalizados para toda a sociedade.

Referência bibliográfica

ANEEL. *Tarifas de energia elétrica*. Brasília: SRE/ANEEL, 2000.

Baumol, W., Bradford, D. Optimal departures from marginal cost pricing. *American Economic Review*, v. 60, 1970.

Carrera-Fernandez, J. Cobrança e preços ótimos pelo uso e poluição das águas de mananciais. *Revista Econômica do Nordeste*, v. 28, n. 3, p. 249-277, 1997

_____. O princípio dos usos múltiplos dos recursos hídricos e o custo social da energia elétrica no Brasil. *Revista Econômica do Nordeste*, v. 28, n. especial, p. 953-966, julho, 1998.

_____. Cobrança pelo uso da água em sistemas de bacias hidrográficas: o caso do rio Pirapama em Pernambuco. *Economia Aplicada*. São Paulo: v. 4, n. 3, julho/setembro, 2000a.

Carrera-Fernandez, J.; Garrido, R. J. O instrumento de cobrança pelo uso da água em bacias hidrográficas: uma análise dos estudos no Brasil. *Revista Econômica do Nordeste*, n. especial, 2000b.

_____ O instrumento de cobrança pelo uso da água em bacias hidrográficas: teorias e metodologias. *Anais do XXVIII Encontro Nacional de Economia da ANPEC*. Campinas, 2000c.

Coase, Ronald. The problem of social cost. *Journal of Law and Economics*, 1960.

Contador, Cláudio Roberto. *Projetos sociais*. São Paulo: Atlas, 1998.

Garrido, Raymundo José; Carrera-Fernandez, José. Metodología para la determinación de los precios óptimos y cobro por el uso y contaminación de las cuencas de Paraguaçu e Itapicuru (Brasil). Delgado, C. D., Alberich, M. V. E. (eds). *Contribuciones al manejo de los recursos hídricos en America Latina*. Mexico: Universidad Autónoma del Estado de México, 1997

Garrido, Raymundo José. *A indústria como usuária dos recursos hídricos notas para discussão na CIESP - Cubatão*, 1993. (Notas para discussão na CIESP - Cubatão)

_____ *Contribuição ao plano nacional de recursos hídricos*. Brasília, DF: Secretaria de Recursos Hídricos do Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal, 1996.

Harberger, Arnold C. *Project evaluation: collected papers*. Chicago: The University of Chicago Press, 1972.

IBGE. *Anuário Estatístico do Brasil*, 1998.

Layard, Richard (ed.). *Cost benefit analysis*. New York: Penguin, 1980.

Layard, P. R. G.; Walters, A. A. *Microeconomic theory*. Mac Grow Hill, 1978.

Lypsei, R. G.; Lancaster, K. J. The general theory of the second best. *Review of Economic Studies*, v. 24, p. 11-32, 1956-7

Mas-Colell, Andreu; Whinston, M. D.; Green, J. R. *Microeconomic theory*. New York: Oxford University Press, 1995.

Motta, Ronaldo Seroa da. *Manual para valorização econômica de recursos ambientais*. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazonia Legal, 1998.

_____ *Utilização de critérios econômicos para a valorização da água no Brasil*. IPEA. Texto para Discussão n. 556, 1998.

Ministério de Minas e Energia (MME). *Balanço energético nacional*. Brasília: MME, 1994.

Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazonia Legal. *Projeto Arco Íris*, v. II. Hydros, 1997

Mishan, E. J. *Análise de custos-benefícios*. Rio: Zahar, 1976.

_____. *Economics for social decisions: elements of cost-benefit analysis*. New York: Praeger, 1975.

Secretaria de Energia, Transporte e Comunicações. *Participação da iniciativa privada na produção de energia elétrica: a questão tarifária*. Salvador: Convênio de cooperação entre o Governo do Estado da Bahia e a Comissão Européia no Setor de Energia, 1994.

Secretaria de Recursos Hídricos (SRH) do Ministério do Meio Ambiente, Recursos Hídricos e Amazonia Legal (MMA). *Política nacional de recursos hídricos - Lei n. 9.433 de 8 de janeiro de 1997* Brasília: SRH/MMA, 1997.

Secretaria de Planejamento, Orçamento e Coordenação da Presidência da República (SEPLAN-PR). *Projeto Aridas - uma estratégia de desenvolvimento sustentável para o Nordeste*. Brasília: SEPLAN-PR, 1994.

Silberberg, E. *The structure of Economics: a mathematical analysis*. New York: Mac Graw-Hill, 1978.

Varian, Hal R. *Microeconomic analysis*. New York: Norton Company Inc., 1978.

