

# Custo ambiental: impactos econômicos dos sedimentos na geração de energia elétrica

João Fernando Marques\*  
Antônio Evaldo Comune†

## RESUMO

O artigo estima o valor econômico dos danos ambientais causados pelo processo erosão-sedimentação do solo, com base nos efeitos no sistema de geração de energia elétrica. Os impactos nesse sistema vão desde a redução na capacidade de armazenamento de água dos reservatórios, o aumento nas atividades de manutenção das usinas hidrelétricas, até a redução do número de dias de operação da usina. Utilizou-se o método do custo de reposição e da produção sacrificada para calcular o valor monetário do dano ambiental causado pelo assoreamento do rio Sapucaí. O valor econômico do dano ambiental mostrou ser de expressiva grandeza na hipótese de assoreamento severo. Este valor é maior que o investimento necessário para a aquisição de um conjunto de geração de energia da mesma capacidade geradora que aquele danificado pelos sedimentos.

**Palavras-chave:** custo ambiental, erosão-sedimentação, economia ambiental.

## ABSTRACT

The environmental impacts due to erosion-sedimentation process are grouped into two categories, on site and off site. The present study will focus mainly on those impacts related to off site damages caused by sedimentation. The estimated economic value of the environmental damages will be based on effects on hydroelectric generation plants. Such effects can be classified as lost of reservoir capacity, increased maintenance and reduction in numbers of days of generation of electricity. In order to calculate the monetary values of the damages caused by siltation, loss in revenue, the replacement cost approach or decreasing productivity system method were used through run of river hydroelectric generation plants located on Sapucaí River, in the state of São Paulo. The estimated economic damage value under severe sedimentation is quite large when related to the amount invested to construct a similar energy generation system.

**Key words:** environmental costs, erosion-sedimentation process, environmental economics.

---

\* Pesquisador EMBRAPA/CNPMA.

† Professor FEA-USP.

## 1 Introdução

O presente trabalho objetiva a obtenção do valor econômico do efeito do processo de erosão-sedimentação na geração de energia em hidrelétricas a fio d'água<sup>1</sup>. Para tanto, optou-se por um enfoque analítico através do qual uma fonte não pontual de poluição, o processo de erosão-sedimentação, pode ser compreendida nos limites das concepções teóricas subjacentes à interpretação econômica neoclássica, através dos desdobramentos recentes da teoria econômica do meio ambiente.

A erosão do solo tem causado sérios danos ambientais tanto *on site* (na própria unidade de produção) quanto *off site* (fora da unidade de produção) nos países do Primeiro Mundo e nos demais. As estimativas dos valores monetários correspondentes aos danos *off site* têm se mostrado de magnitude algumas vezes superior àqueles valores estimados para os danos *on site* (Clark II et al. 1985; Crosson, 1985; Ribaud, 1989). Contudo, é oportuno observar que este trabalho não indicará nem as formas de intervenção governamental nem os instrumentos adequados a uma política que objetive alcançar o binômio conservação do solo e qualidade da água.

A erosão-sedimentação, da forma como aqui enfatizada, constitui-se em uma externalidade, isto é, um subproduto indesejável e involuntário, que vai impactar negativamente vários setores e ambientes, provocando uma interdependência em que não há compensação econômica entre as partes envolvidas. Assim, procurou-se calcular o valor econômico do ambiente, através do conceito de valor de uso e dos métodos de mensuração - custo de reposição e produção sacrificada ou redução na produtividade do recurso. Os outros componentes do valor econômico total, os valores de opção, de existência e os restantes valores de uso não foram estimados. Por essa razão é possível prever que os custos externos, assim obtidos, subestimam ou estão conservadoramente estimando os valores econômicos dos danos ambientais causados pelo processo erosão-sedimentação.

## 2 Revisão bibliográfica

As dificuldades para uma mensuração ampla dos efeitos do processo de erosão-sedimentação, principalmente no caso do Brasil, estão refletidas nas considerações de diversos autores (Menck, 1993; Sorrenson & Montoya, 1989; Montoya et al., 1994; Southgate & Macke, 1989; Bastos Filho, 1995). Brooks et al. (1982) propuseram a valoração econômica do ambiente multiplicando-se o volume do reservatório pelo valor presente do fluxo de serviço. Porém, esse procedimento não reconhece que o assoreamento pode reduzir efetivamente a vida útil do reservatório. Veloz et al. (1985) calcularam os benefícios por meio do valor presente da energia produzida, ao longo do

---

<sup>1</sup> Uma usina ou hidrelétrica a fio d'água utiliza a água à medida que o rio lhe abastece, pois não possui reservatório e somente dispõe de pequena capacidade de acumulação, em geral para poucas horas, fora dos momentos de pico de consumo de energia.

período adicional de vida útil, obtidos pela redução do aporte de sedimentos no reservatório. O trabalho de Quesada-Mateo (1979) reflete os impactos da sedimentação na vida útil do reservatório e no fluxo de serviço, pois considera tanto os benefícios descritos por Brooks et al. (1982) quanto aqueles mencionados por Veloz et al. (1985). Southgate & Macke (1989) desenvolveram um modelo que levou em consideração a vida útil do reservatório, o fluxo de serviços e as despesas de dragagem do reservatório.

Esses modelos, contudo, não consideraram os danos que o assoreamento causa às turbinas e a outros equipamentos, danos esses de decisiva importância quando o processo de geração de energia verifica-se a partir de usinas a fio d'água. O modelo presentemente utilizado procura, principalmente, refletir esses danos. Contudo, deve-se observar que o conjunto de pequenas centrais hidrelétricas em análise não pode ter sua capacidade geradora expressivamente reduzida ou mesmo inviabilizada em função da redução do volume d'água. Isso somente seria possível se a corrente d'água, fonte primária da geração de energia, tornar-se totalmente assoreada. Porém, antes que isso venha a ocorrer, danos de outra natureza manifestam-se na geração de energia elétrica.

### 3 A área de estudo<sup>2</sup>

O Rio Sapucaí, tributário do Rio Grande, ao qual aflui pela sua margem esquerda, situa-se no norte do Estado de São Paulo, alonga-se em direção predominante SE-NW e possui cerca de 300 Km de comprimento. A Bacia do Sapucaí tem uma área de drenagem de 6570 km<sup>2</sup>, dos quais 6000 km<sup>2</sup> em território paulista, com clima predominante do tipo subtropical, muito úmido, com estiagem no inverno e precipitação anual média de 1400 mm. Os sólidos em suspensão no Rio Sapucaí, medidos durante mais de 55 anos, indicam que para uma vazão média mensal de 103,5 m<sup>3</sup>/s e para uma suspensão média anual de 61 g/m<sup>3</sup>, o transporte total dos sedimentos em suspensão, por ano hidrológico, fica em torno de 180.000m<sup>3</sup>.

A Companhia Paulista de Força e Luz administra a operação de duas centrais elétricas de pequeno porte localizadas no Rio Sapucaí, as usinas de Dourados (7 Mw) e de São Joaquim (5,2 Mw). O histórico sobre o funcionamento e a manutenção dessas usinas serviu de base para a quantificação dos efeitos do assoreamento na geração de energia elétrica. Esses efeitos foram projetados para o conjunto das oito unidades a fio d'água a ser implantado no Rio Sapucaí. Os custos operacionais e de geração de energia sem os efeitos do assoreamento foram obtidos em CESP (1987).

---

<sup>2</sup> As informações desta seção estão baseadas em CESP (1987).

## 4 Metodologia

### Produção sacrificada e custo de reposição

Quando os efeitos ambientais são específicos e localizados é possível medi-los diretamente em termos da produção sacrificada ou perdida (Motta, 1991). O método da produção sacrificada associa diretamente as alterações na qualidade do ambiente com aquelas ocorridas na produtividade dos fatores, no produto físico final da atividade econômica, resultando em modificações nos custos de produção e nas receitas ou benefícios obtidos pelas unidades econômicas que recebem os impactos ambientais. Comune (1994) pondera que os danos físicos ocasionados por alterações na qualidade do meio ambiente constituem os danos ambientais que, uma vez traduzidos em termos monetários, representam os prejuízos ou os custos que a sociedade está suportando.

Desta forma, o valor da produção sacrificada passa a representar o custo de oportunidade de uso do meio ambiente para a sociedade como um todo, mesmo não considerando os efeitos sobre a saúde humana e sobre os demais componentes dos sistemas naturais e construídos pelo homem. Refletem, em consequência, apenas parcela do valor econômico total do ambiente, a que diz respeito ao valor de uso.

No caso em foco, o assoreamento do Rio Sapucaí causa danos materiais nas turbinas e nos equipamentos que estão em contato com a água, devido à abrasão. Isso ocorre porque excedeu-se a capacidade natural de transporte de sólidos do rio (Carvalho, 1989). Esta situação traz consequências monetárias, cujos valores podem ser estimados por meio do sacrifício da produção e também pelos custos adicionais devidos aos danos físicos resultantes das alterações na qualidade ambiental.

Os efeitos econômicos da sedimentação na geração de energia elétrica estão distribuídos entre períodos distintos ao longo do tempo. Isso implica que a produção sacrificada no período presente, ou mais próximo deste, deve representar para a sociedade uma importância maior que a atribuída a esta mesma produção sacrificada em período distante no futuro. Ou seja, o custo ambiental amparado no conceito de produção sacrificada e na taxa de desconto positiva implica que um dano ambiental - produção sacrificada no presente - representa um custo maior para sociedade do que se a mesma produção sacrificada viesse a ocorrer em períodos mais distantes no futuro.

### Preços econômicos

A utilização do método da produção sacrificada para estimativa do custo ambiental implica não somente conhecimento dos efeitos físicos na produção mas, também, o conhecimento dos preços relevantes intervenientes no cálculo. Como os preços observáveis são os preços de mercado e esses

não refletem os preços sociais ou econômicos, já que a economia não opera em condições de concorrência perfeita e pleno emprego, torna-se necessário fazer ajustes nos mesmos.

Para o cálculo do valor da produção sacrificada utilizou-se o preço social da energia elétrica obtido por intermédio do custo marginal de expansão de longo prazo,<sup>3</sup> corrigido para refletir o custo social da mão-de-obra. Com o intuito de refletir o preço econômico dos serviços de manutenção, de dragagem e de reparos nas usinas hidrelétricas, subtraiu-se o valor correspondente aos encargos sociais da mão-de-obra, aplicando-se, posteriormente, o coeficiente de ajuste. O fator de correção utilizado - nos custos extras e nas receitas perdidas - foi estimado por Silva Neto (1993) para o setor gerador de eletricidade.

Este procedimento permitiu que os ajustes efetuados por meio dos fatores de correção, que expressam a relação entre custo social de oportunidade e preços de mercado do fator "mão-de-obra" e do produto "energia elétrica", possibilitassem avaliar os custos ambientais ao seu correspondente preço econômico ou ao custo de oportunidade para a economia como um todo.

## Modelo econômico

O *Custo Ambiental* foi obtido pela diferença entre os custos de geração de energia elétrica com e sem os efeitos do assoreamento.

$$CA_A = CGEE_{CA} - CGEE_{SA} \quad (1)$$

$$CGEE_{CA} = \sum_{t=1}^m (M_t + RP_t + LD_t + RS_t + RE_t) / (1+r)^t \quad (2)$$

$$CGEE_{SA} = \sum_{t=1}^m (M_t) / (1+r)^t \quad (3)$$

$CA_A$  = Valor Presente do Custo Ambiental ou Custo Ambiental Atualizado, em US\$;

$CGEE_{CA}$  = Valor presente do Custo de Geração de Energia Elétrica com assoreamento, em US\$;

$CGEE_{SA}$  = Valor Presente do Custo de Geração de Energia Elétrica sem assoreamento, em US\$;

$t$  = tempo medido em anos;  $t = 1, 2, 3, \dots, m$ ; e  $m = 50$ ;

$r$  = taxa de desconto, medida em % por ano;

$M_t$  = Custo de Manutenção, em US\$, no período  $t$ ;

$RP_t$  = Receita Perdida, em US\$, no período  $t$ ;

<sup>3</sup> Para explicações sobre o conceito, cálculos e valores dos custos marginais de expansão ver Eletrobrás(1993).

$RS_t$  = Custo de Reparos nos Equipamentos, em US\$;

$RS_t \neq 0$  para  $t = 4j$ , onde  $j = 1, 2, \dots, 12$ ;

$RS_t = 0$  para os demais casos;

$LD_t$  = Custo de Limpeza e Dragagem, em US\$, no período  $t$ ;

$RE_t$  = Custo de Reposição dos Equipamentos;

$RE_t \neq 0$  para  $t = 25$ ;

$RE_t = 0$  para os demais casos;

Os efeitos do assoreamento foram considerados em três cenários, correspondendo aos graus de intensidade: brando, médio e severo. Em decorrência, todas as variáveis econômicas intervenientes no custo ambiental apresentam uma correspondência direta com estes cenários.

O Custo de Manutenção ( $M_t$ ) obedece à seguinte expressão matemática genérica:

$$f(t) = X [y_1 (1,1)^y + z_1(1,2)(0,1)^k + w_1 (1,05)^w]$$

cujos elementos são assim definidos:

$f(t)$  define o esquema de manutenção ao longo da vida útil das usinas para,  $t = 1, 2, 3, \dots, 50$  anos. Todos os demais parâmetros e potências de elevação são definidos em função de  $t$ .

$X$  = custo de geração de energia ajustado;

$y_1, z_1, e w_1$  = parâmetros binários de acionamento;

$y_1$  = parâmetro de acionamento da taxa (1,1);

$z_1$  = parâmetro de acionamento das taxas (1,2) e (0,1);

$w_1$  = parâmetro de acionamento da taxa (1,05);

$y, z, k$  e  $w$ , potências de elevação das taxas;

$y$  = potência de elevação da taxa (1,1);

$z$  = potência de elevação da taxa (1,2);

$k$  = potência de elevação da taxa (0,1);

$w$  = potência de elevação da taxa (1,05).

As regras de decisão para a condição de não-ocorrência de assoreamento são as seguintes:

$y = 1$ , se parte inteira do resto  $(t/6) = 0$  e quociente parte inteira  $(t/6) \leq 3$ ;

$y = 0$ , caso contrário;

$y_1 = 0$  se resto  $(t/6) = 0$  e quociente  $(t/6) = 4$  ou  $t > 26$ ;

$y_1 = 1$  caso contrário;

$z = 1$  se resto  $(t/6) = 1$  e quociente  $(t/6) \geq 5$ ;

se resto  $(t/6) = 0$  e quociente  $(t/6) = 4$ ;  
 $z = 0$ , caso contrário;  
 $k = 1$ , se o resto  $(t/6) = 1$  e quociente  $(t/6) \geq 5$ ;  
 $k = 0$ , caso contrário;  
 $w = 0$  e  $w_1 = 0$  se  $t \leq 26$ ;  
 $w = \text{resto}(t/26)$  e  $w_1 = \text{quociente}(t/26)$ , caso contrário.

As regras de decisão no caso de assoreamento brando são:

$y = 1$  se resto  $(t/5) = 1$  e quociente  $(t/5) \leq 2$  ou resto  $(t/5) = 2$  e quociente  $(t/5) \leq 3$ ;  
 $y = 0$ , caso contrário;  
 $y_1 = 0$  se resto  $(t/25) = 2$  e quociente  $(t/5) = 4$  ou  $t > 25$ ;  
 $y_1 = 1$ , caso contrário  
 $z = 1$  se resto  $(t/5) = 0$  e quociente  $(t/5) \geq 6$ , resto  $(t/5) = 2$  e quociente  $(t/5) = 4$   
 $z = 0$ , caso contrário;  
 $k = 1$  se resto  $(t/5) = 0$  e quociente  $(t/5) \geq 6$ ;  
 $k = 0$ , caso contrário;  
 $w = 0$  e  $w_1 = 0$  se  $t \leq 25$ ;  
 $w = \text{resto}(t/25)$  e  $w_1 = 1$  se  $26 \leq t \leq 49$ ;  
 $w = 25$  e  $w_1 = 1$  se  $t = 50$ .

As condições para o nível de assoreamento médio são as seguintes:

$y = 1$  se resto  $(t/5)$  e quociente  $(t/5) \leq 3$ ;  
 $y = 0$ , caso contrário;  
 $y_1 = 0$  se resto  $(t/5) = 0$  e quociente  $(t/5) = 4$  ou  $t > 24$ ;  
 $y_1 = 1$ , caso contrário;  
 $z = 1$  se resto  $(t/5) = 4$  e quociente  $(t/5) \geq 5$ , resto  $(t/5) = 0$  e quociente  $(t/5) = 4$ ;  
 $z = 0$ , caso contrário;  
 $k = 1$  se resto  $(t/5) = 4$  e quociente  $(t/5) \geq 5$ ;  
 $k = 0$ , caso contrário;  
 $w = 0$  e  $w_1 = 0$  se  $t \leq 24$ ;  
 $w = \text{resto}(t/26)$  e  $w_1 = 1$  se  $t \geq 25$ ;

Para as condições de assoreamento severo as regras são as seguintes:

$y = 1$  se resto  $(t/4) = 0$  e quociente  $(t/4) \leq 4$ ;  
 $y = 0$ , caso contrário;  
 $y_1 = 0$  se resto  $(t/4) = 0$  e quociente  $(t/4) = 5$  ou  $t \geq 23$ ;

$y_1 = 1$ , caso contrário;

$z = 1$  se resto  $(t/4) = 3$  e quociente  $(t/4) > = 6$ , resto  $(t/4) = 0$  e quociente  $(t/4) = 5$ ;

$z = 0$ , caso contrário;

$k = 1$  se resto  $(t/4) = 3$  e quociente  $(t/4) \geq 6$ ;

$k = 0$ , caso contrário;

$w = 0$  e  $w_1 = 0$  se  $t \leq 23$ ;

$w =$  resto de  $(t/23)$  e  $w_1 = 1$  se  $t \geq 24$ .

A Receita Sacrificada (RP) medida em US\$/ano é definida da seguinte forma:

$$RP_t = (PE(t) \cdot PDE) \cdot [P_{ij}]$$

em que:

$RP_t$  = Receita anual perdida em US\$

$PE(t)$  = Preço ajustado de energia elétrica em US\$/Mw para o ano t.

$PE(t)$  = US\$ 25,20, para  $1 \leq t \leq 11$ ;

= US\$ 33,20, para  $12 \leq t \leq 16$ ;

= US\$ 41,10, para  $17 \leq t \leq 50$ ;

$PDE = 2366,6$  Mw, produção diária de energia elétrica;

$P_{ij}$  = Matriz dos dias de produção sacrificada nos quais i são as condições de assoreamento,

i = 1,2 e 3, nas quais, brando = 1, médio = 2 e severo = 3, e j mede a intensidade, sendo

j = 1,2,3; mínima = 1, média = 2 e máxima = 3.

$$P_{ij} = \begin{bmatrix} 0 & 2 & 3 \\ 2 & 3 & 5 \\ 3 & 7 & 0 \end{bmatrix}$$

O Custo de Limpeza e Dragagem (LD) em US\$ no período foi definido:

$$LD_t = (X_m) \cdot [PP_{ij}]$$

$X_m$  = Custo de geração de energia elétrica ajustado, em que:

m = 1,2,3, em que m = 1 - mínimo, m = 2 - médio e m = 3 - máximo.

$PP_{ij}$  = Matriz representativa dos percentuais associados às despesas de limpeza e dragagem, em que i são as condições de assoreamento e j mede a intensidade em cada condição;



quando:

$$m = 1, X_m = \text{US\$ } 31.719.282,00;$$

$$m = 2, X_m = \text{US\$ } 33.422.099,71;$$

$$m = 3, X_m = \text{US\$ } 35.962.015,00;$$

$$PP_{ij} = \begin{bmatrix} 0 & 2 & 3 \\ 3 & 5 & 6 \\ 7 & 10 & 13 \end{bmatrix}$$

O Custo de Reposição dos Equipamentos ( $RE_t$ ):

$$RE_t = (VE(t)) \cdot [PP_{ij}]$$

$VE(t)$  = Valor em US\$ do investimento em turbinas e outros equipamentos:

quando  $t = 27$ ,  $VE$  assume valor positivo;

quando  $t \neq$  de 27,  $VE = 0$ ;

$PP_{ij}$  = Matriz representativa dos percentuais associados ao valor de reposição, em que  $i$  representa o nível de assoreamento e  $j$  mede a intensidade em cada nível;

$$VE_{27} = \text{US\$ } 24.331.269,00$$

$$PP_{ij} = \begin{bmatrix} 7 & 10 & 15 \\ 15 & 20 & 25 \\ 35 & 25 & 20 \end{bmatrix}$$

O Custo dos Reparos nos Equipamentos ( $RS_t$ ) foi definido da seguinte forma:

$$RS_t = (X_m) \cdot [PP_{ij}]$$

$PP_{ij}$  = Matriz representativa dos percentuais associados ao valor dos reparos em que  $i$  representa o nível de assoreamento e  $j$  a intensidade em cada nível;

$$PP_{ij} = \begin{bmatrix} 0 & 2 & 3 \\ 3 & 5 & 6 \\ 7 & 10 & 13 \end{bmatrix}$$

A Taxa de desconto ( $r$ ) variou entre 3 e 9% a. a. A primeira corresponde a uma taxa internacional de longo prazo para projetos de recursos hídricos (Schwartz e Berney 1987) e a

segunda é utilizada pelo BNDES no Programa de Conservação do Meio Ambiente e pela CETESB, no Programa de Controle da Poluição.

## 5 Resultados e conclusões

### Resultados e limitações do estudo

Os valores estimados para o Custo Ambiental sob as hipóteses consideradas pelo estudo estão descritos a seguir.

Valor Presente do Custo Ambiental em US \$ 1.000,00<sup>4</sup>

Taxa. desc. (%)	BRANDO (\$)	MÉDIO (\$)	SEVERO (\$)
3	68.209	134.990	253.329
6	33.639	66.631	130.179
9	19.959	39.600	79.910

Dadas as condições de assoreamento e as magnitudes da taxa de desconto, os resultados monetários apresentaram uma grande amplitude de variação tanto inter quanto intra hipóteses. O valor mínimo verificou-se nas condições mais suaves de assoreamento combinado com a taxa de desconto mais elevada. Contrariamente, o valor máximo foi obtido ao se assumir uma taxa de desconto de 3% nas condições severas de assoreamento. Dadas as condições explicadas ao longo do trabalho - medição parcial dos danos e adequação da taxa de desconto às questões ambientais -, acredita-se que os valores efetivos dos danos ambientais causados pelo assoreamento do Rio Sapucaí estão melhor refletidos por meio dos valores mais elevados.

As magnitudes das estimativas econômicas dos danos causados pela sedimentação do Rio Sapucaí não são desprezíveis. Por exemplo, sob a hipótese de assoreamento severo a uma taxa de desconto de 3% a.a., o Custo Ambiental atinge a cifra de US\$ 253.329.000,00. Isto implica que na hipótese de operação das usinas sem os efeitos do assoreamento ocorrerá, em termos de redução de custos, um montante correspondente ao necessário para o investimento total em um conjunto gerador da mesma capacidade instalada que aquele estudado para a implantação no Rio Sapucaí. O que se pretende salientar é que os benefícios obtidos, ao se evitar os sedimentos e seus efeitos na bacia hidrográfica do Rio Sapucaí, nas hipóteses consideradas, permitem uma economia suficiente para fazer face às necessidades financeiras para a implantação de um

<sup>4</sup> Somente estão reportados os valores máximos obtidos em cada hipótese de assoreamento. Para uma discussão completa de todos os resultados consultar Marques (1995).

complexo gerador de energia semelhante àquele previsto pelo estudo de viabilidade. Ou seja, o valor dos danos ambientais excedem em 40% o valor correspondente ao investimento para a construção do conjunto de oito usinas.

O impacto do assoreamento no preço da energia elétrica variou de 30%, 27% e 24% adotando-se o preço internacional, o custo marginal privado de expansão de longo prazo e o custo marginal social de expansão de longo prazo, respectivamente.

Como em Azzoni & Isai (1994), a preocupação deste trabalho centrou-se em apenas um dos aspectos da relação custo/benefício ambiental, não perdendo, contudo, a perspectiva de que um mais amplo entendimento do problema envolve uma análise dos dois lados. A despeito das limitações apontadas ao longo de todo o trabalho, crê-se que os resultados obtidos, mesmo que parciais, apresentam um avanço no sentido de dar maior objetividade às discussões sobre as questões relativas à degradação ambiental, em geral, e ao respectivo custo, em particular. Pesquisas adicionais são necessárias, tanto para desvendar os valores monetários necessários a um programa de conservação, quanto para identificação e quantificação mais amplas dos danos que um processo de erosão-sedimentação impõem em setores localizados rio abaixo.

As taxas de desconto relevantes para a análise das questões ambientais têm sido motivo de amplo debate e controvérsias (Pearce, 1983; Weitzman, 1994), cuja conclusão definitiva (se é que existe!) está por vir. No entanto, as taxas relevantes, sociais e privadas, devem ser cuidadosamente ajustadas no sentido de refletir cada ação, projeto ou programa relativo ao meio ambiente. Nas aplicações de ordem prática, a utilização da taxa de desconto apropriada às questões ambientais tem sido objeto de interpretações subjetivas e juízos de valor que, no mais das vezes, têm remetido a discussão para a arena das decisões políticas. (Winter-Nelson, 1996).

Não obstante as questões impostas pela taxa de desconto, a obtenção de estimativas econômicas para os danos ao ambiente, em uma sociedade que toma suas decisões com base nos valores monetários, é de relevante importância, tanto nas decisões sobre investimentos e políticas ambientais, econômicas e agrícolas, como na formação e tomada de consciência de que a degradação ambiental e dos recursos naturais impõe custos às gerações presentes e futuras.

### **Comparações com outras estimativas**

Além da factibilidade de se efetuar o cálculo para a obtenção dos custos ambientais, torna-se necessário desvendar o significado das magnitudes obtidas em um contexto de adoção de medidas de melhoria da qualidade ambiental. Contudo, julga-se conveniente e esclarecedor recorrer a alguns valores monetários reportados pela literatura e através dos mesmos fazer comparações. É evidente que os valores estimados para regiões com problemas de natureza e de magnitude diversos dos aqui estudados não objetivam levar a uma comparação direta com os custos ambientais estimados por este estudo. Obviamente, as limitações de tal procedimento

devem sempre ser lembradas nas interpretações, mas é melhor ter em mente essas ordens de grandezas do que não se ter parâmetro algum de comparação.

Alguns estudos, de certa forma, efetuaram estimativas do valor do dano ambiental e/ou de medidas de prevenção. Por exemplo, Sorrenson & Montoya (1989), em estudo sobre a conservação do solo no estado do Paraná concluíram que apenas para reposição dos macronutrientes perdidos com a erosão laminar, os custos estimados variaram de US\$ 121 milhões a US\$ 242 milhões ao ano. Ainda segundo os mesmos autores, a hidrelétrica de Itaipu recebe ao ano em macronutrientes, somente oriundos das terras paranaenses, o correspondente a US\$ 420 milhões. Indicam, inclusive, a necessidade de investimentos da ordem de US\$ 19 milhões/ano em um horizonte de 20 anos para a implantação de um amplo programa de conservação do solo no estado.

Para o estado de São Paulo, considerando-se somente os nutrientes perdidos do solo, estimou-se que o valor monetário desses, arrastados pela erosão, atingiu cerca de US\$ 200 milhões (Instituto de Economia Agrícola, 1991). Em estudo mais recente, Bastos Filho (1995) estimou o valor de US\$ 176 milhões, referente às perdas de nutrientes em solos paulistas ocupados com atividades agrícolas, pecuárias e florestas .

Todos esses estudos, na realidade, não estão procurando calcular os valores das externalidades geradas pelo processo de produção agrícola, mas, sim, estão indicando os custos de reposição dos nutrientes arrastados pelo processo de erosão. São valores mínimos decorrentes de medidas que possibilitam repor a produtividade do recurso danificado.

O Consórcio Intermunicipal das Bacias dos Rios Piracicaba e Capivari prevê, juntamente com o BIRD, um programa de recuperação das Bacias da ordem de US\$ 500 milhões, para as atividades de tratamento da água, construção de barragens de contenção, proteção dos mananciais e controle dos pontos de poluição, dentre outras medidas (Técnicos do BIRD, 1994). Como pode ser observado, esses valores estão voltados para os gastos necessários à recuperação dos danos causados pela poluição, de modo geral, e pela sedimentação, em particular.

Por tratar-se da primeira tentativa no Brasil de mensurar os efeitos econômicos da sedimentação na geração de energia elétrica, não existindo outras estimativas disponíveis para comparações diretas, as acima mencionadas são apenas indicativas da ordem de grandeza, porém são esclarecedoras, desde que sejam resguardados os devidos limites.

### **Considerações sobre políticas públicas**

Os resultados empíricos obtidos pelo presente trabalho possibilitaram concluir que, independentemente da hipótese sobre o grau de assoreamento adotada para o cálculo do custo externo, os agentes envolvidos não levam em consideração sua existência, não obstante os

valores encontrados mostrarem ser significativos, sinalizando a necessidade de adoção de medidas para fazer frente ao problema.

Ao longo do desenvolvimento do presente estudo, foi consolidando-se a convicção de que em função das características do recurso em questão, não se visualiza outra solução se não a intervenção do Estado com vistas a reduzir a degradação causada pelo processo de erosão-sedimentação. O grande número de agentes envolvidos, tanto do lado do poluidor quanto do lado das vítimas da poluição, mais os elevados custos de transação, a impossibilidade de identificação da contribuição individual de cada agente e as interconexões existentes entre os diversos cursos d'água são aspectos que contribuem para evidenciar de forma cabal que o sistema de mercado é incapaz de resolver o problema da degradação. Arrola-se, ainda, o fato de que o uso excessivo da capacidade de assimilação do recurso pode envolver perdas irreversíveis, como a extinção de espécies de peixes, da flora aquática, dentre outros. Todo esse conjunto vem corroborar o argumento de que o Estado não somente deve fazer intervenção para preservar a qualidade do recurso para a sociedade como um todo, mas deve fazê-lo de forma eficiente. Tal situação impõe às políticas públicas específicas e tradicionais (agrícolas, industriais, urbanas) e aos esquemas institucionais, a necessidade de levar em consideração as múltiplas funções prestadas pelos recursos hídricos. Em decorrência, uma avaliação de custos e benefícios, cuidadosa e ampla, que incorpore os valores ambientais, deve orientar a tomada de decisões.

A complexidade que envolve a solução para os problemas da degradação da qualidade da água extrapola os limites circunscritos pelo presente trabalho. Porém, do ponto de vista da atividade agrícola, geradora de sedimentos, há necessidade de compatibilização das políticas agrícolas, em geral, e das de conservação do solo e das práticas conservacionistas, em particular, com as políticas de manejo e conservação da qualidade dos recursos hídricos.

## Referências bibliográficas

- Azzoni, C.R.; ISAI, J.Y. "Estimating the costs of environmental protection in Brazil." *Ecological Economics*, v.11, n.2, p.127-133, Nov. 1994.
- Bastos Filho, G.S. "Contabilizando a erosão do solo: Um ajuste ambiental para o produto agropecuário paulista." Piracicaba: ESALQ-Departamento de Economia e Sociologia Rural, 1995. 127p. Dissertação de Mestrado.
- Brooks, N.H.; Gregersen, H. M.; Gerglund, E.R.; Tayaa, M. "Economic evaluation of watershed projects: an overview methodology and application." *Water Resources Bulletin*, v.18, p.245-250, Apr. 1982.
- Carvalho, N. de O. *Curso sobre transporte de sedimentos e cálculo da vida útil de reservatórios*. Florianópolis: ELETROSUL, 1989. 1v.

- CESP (São Paulo, SP). Aproveitamento hidroelétrico do Rio Sapucaí: estudos de viabilidade das Usinas São Domingos, São Sebastião, Monjolinho, Retiro, Anhanguera, Palmeiras, Santa Rita, Sapucaí (relatório final). São Paulo, 1987. v.1. (CESP. Pesquisa e Desenvolvimento, 35).
- Clark II, E.H.; Haverkamp, J.A.; Chapman, W. *Eroding soils: the off farm impacts*. Washington: The Conservation Foundation, 1985. 252p.
- Coelho, A.C.D. *Análise crítica da avaliação de projetos no nordeste do Brasil*. Fortaleza: BNB, 1989. 132p.
- Comune, A. E. "Meio ambiente, economia e economistas: uma breve discussão". In: MAY, P. H.; MOTTA, R.S. da, org. *Valorando a natureza: análise econômica para o desenvolvimento sustentável*. Rio de Janeiro: Campus, 1994. p.45-59.
- Crosson, P. "Impacts of erosion on land productivity and water quality in the United States." In: EL-SWAIFY, S.A; MOLDENHAUER, W.C; LO, A. , eds. *Soil erosion and conservation*. Ankeny: Soil Conservation Society of American, 1985. p.217-236.
- ELETROBRÁS (Rio de Janeiro, RJ). Plano 2015 - Estudo da oferta e demanda: expansão do sistema. Rio de Janeiro, 1993.
- INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA (São Paulo, SP). Economia agrícola paulista: características e potencialidades. Informações Econômicas, São Paulo, v.21, p.1-201, 1991. Suplemento.
- Marques, J. F. *Efeitos da erosão do solo na geração de energia elétrica: uma abordagem da economia ambiental*. São Paulo:USP-FEA, 1995. 257p. Tese de Doutorado.
- Menck, P.C.M. *Avaliação econômica do controle de erosão na microbacia do Ribeirão Iperó, em Araçoiaba da Serra, Estado de São Paulo*. Piracicaba: ESALQ, 1993. 181p. Tese de Mestrado.
- Montoya, L.J.; Maschio, L.M. de A.; Rodigheri, H.R. *Impactos da atividade agrícola nos recursos naturais e sua valoração no Estado do Paraná*. [Colombo: EMBRAPA-CNPQ, 1994]. 1v.
- Motta, R.S. da. "Análise de custo benefício do meio ambiente." In: MARGULIS, S., ed. *Meio ambiente: aspectos técnicos e econômicos*. Rio de Janeiro: PNUD/IPEA, 1991. p. 109-134.
- Pearce, D. "Ethics, irreversibility, future generations and the social rate of discount." *Intern. J.Environmental Studies*, v..21, p. 67-86,1983.
- Quesada-Mateo, C.A. *Effect of reservoir sedimentation and stream flow modification on firm power generation*. Fort Collins: Colorado State University, 1979. 214p. Tese Doutorado.
- Ribaudo, M.O. "Water quality benefits from Conservation Reserve Program." Washington, D.C.: USDA,1989, 30p. (USDA. Resources and Technology Division. Economic Research Service. Agricultural Economic Research Service. *Agricultural Economic Report*, 606).

- Schwartz, H.; Berney, R., ed. Social and economic dimensions of project evaluation. Washington: Inter-American Development Bank, 1977. 338p.
- Sorrenson, W.J.; Montoya, L.J. *Implicações econômicas da erosão do solo e do uso de algumas práticas conservacionistas no Paraná*. Londrina: IAPAR, 1989. 110p. (IAPAR. Boletim Técnico, 21).
- Southgate, D.; Macke, R. "The downstream benefits of soil conservation in third world hydroelectric watersheds." *Land Economics*, v. 65, n. 1, p. 38-48, Feb. 1989.
- Silva Neto, A.L. "Estimates of national parameters for the economic analysis of projects in Brazil." *Project Appraisal*, v. 8, n. 4, p. 231-239, Dec. 1993.
- TÉCNICOS do BIRD vêm discutir programa de US\$ 550 milhões. *Água Viva, Americana*, v. 4, p.7, maio/jul. 1994.
- Veloz, J. A.; Southgate, D. D.; Hitzhusen, F.J.; Macgregor, R.D. "The economics of erosion control in Republican Dominican case." *Land Economics*, v. 61, p.145-155, May, 1985.
- Weitzman, M. L. "On the environmental discount rate." *Journal of Environmental Economics and Management*, v. 26, n. 2, p. 200-209, March, 1994.
- Winter-Nelson, A. "Discount rates, natural resources and the measurement of aggregate economic growth in Africa." *Ecological Economics*, v.17, n.1, p. 21-32, April,1996.