

# CUSTOS DA EROSÃO DO SOLO EM RAZÃO DOS SEUS EFEITOS INTERNOS E EXTERNOS À ÁREA DE PRODUÇÃO AGRÍCOLA

*João Fernando Marques<sup>1</sup>*

**RESUMO** - Os danos ambientais causados pelo processo de erosão do solo podem ser agrupados em dois conjuntos de efeitos: internos (*on site*) e externos (*off site*) à área de produção agrícola. Este trabalho objetiva a obtenção do valor econômico de ambos os efeitos ambientais. Utilizaram-se os efeitos nos sistemas de geração de energia elétrica, como base de avaliação dos efeitos externos, e a perda dos nutrientes do solo nas estimativas dos efeitos internos. Utilizou-se o método do custo de reposição e da produção sacrificada para calcular o valor monetário do dano ambiental interno e externo na bacia hidrográfica do rio Sapucaí. O valor econômico do dano ambiental externo mostrou ser de expressiva grandeza à taxa de desconto de 3% a. a., correspondendo ao custo equivalente anual de US\$ 9.854.490,00. Por outro lado, os valores anuais dos custos internos, impostos pela erosão do solo agrícola, situaram-se por volta de US\$ 5.377.913,00. As estimativas anualizadas dos custos externos correspondem a, aproximadamente, o dobro dos custos internos.

**Palavras-Chaves:** Custo ambiental, economia ambiental, custo de reposição.

## INTRODUÇÃO

A erosão do solo pode ser enfocada a partir dos impactos ambientais, classificados sob a forma de impactos internos (“on site”) e externos

---

<sup>1</sup>Pesquisador EMBRAPA/CNPMA. E-mail: [marques@cnpma.embrapa.br](mailto:marques@cnpma.embrapa.br). Rodovia SP 340, Km 127,5 CEP: 13820-000 Jaguariúna, SP. Fax: (019)867-5225.

(“off site”) ao local de origem. Na literatura, os custos referentes aos impactos externos são considerados maiores que os correspondentes aos internos (Clark II et al. 1985; Crosson, 1985; Ribaud, 1989; Marques, 1995; Montoya et al., 1994; Southgate & Macke, 1989). Dada a complexidade de que se reveste a identificação da totalidade dos impactos e da extensão destes, as dificuldades para uma ampla mensuração dos efeitos do processo de erosão-sedimentação, principalmente no Brasil, como relatado em considerações de diversos autores (Menck, 1993; Sorrenson & Montoya, 1989; Montoya et al., 1994; Southgate & Macke, 1989; Bastos Filho, 1995) geram outras dificuldades relativas a obtenção dos valores econômicos advindos dos danos ambientais causados pelo citado processo.

A possibilidade de estimar o valor econômico dos danos ambientais pelo uso do conceito de valor de uso e dos métodos de mensuração, como custo de reposição e produção sacrificada ou redução na produtividade, pode representar uma alternativa importante para tal intuito. Porém, os demais componentes do valor econômico total não são considerados na alternativa descrita. Dentre os componentes desconsiderados incluem-se os valores de opção, de existência e os restantes valores de uso. Por essa razão é possível prever que os custos, assim obtidos, subestimem os valores econômicos dos danos ambientais causados pelo processo de erosão-sedimentação. Contudo, por ser uma alternativa pioneira para o estabelecimento dos custos externos e internos decorrente da erosão a sua utilização merece investigação.

Em face do exposto, este trabalho objetiva estimar os custos ambientais decorrentes do processo de erosão do solo na bacia do rio Sapucaí. Para tanto, foram considerados os efeitos internos (“on site”) e externos (“off site”) à área de produção agrícola. O processo de erosão-sedimentação e seus efeitos na geração de energia em hidrelétricas a fio d’água<sup>2</sup> e os efeitos das perdas de nutrientes na área agrícola foram tomados como base para o cálculo do custo ambiental total.

---

<sup>2</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.

## A BACIA DO RIO SAPUCAÍ<sup>3</sup>

O rio Sapucaí possui cerca de 300 km de comprimento, nasce em Minas Gerais, adentra o estado de São Paulo ao norte, alongando-se em direção SE-NW, até alcançar o rio Grande, pela sua margem esquerda. A bacia do Sapucaí drena uma área de 6570 km<sup>2</sup>, dos quais 6000 km<sup>2</sup> em território paulista, com clima predominante do tipo subtropical, úmido, com estiagem no inverno e precipitação anual média de 1400 mm. A média do montante de sólidos em suspensão no rio Sapucaí, por ano hidrológico, está por volta de 180.000 m<sup>3</sup>.

A Companhia Paulista de Força e Luz administra a operação de duas hidrelétricas de pequeno porte localizadas no rio Sapucaí, as usinas de Dourados (7 Mw) e de São Joaquim (5,2 Mw).

A área ocupada pela bacia hidrográfica do rio Sapucaí compreende os municípios de Guaíra, Batatais, Franca, Guará, Ituverava, Patrocínio Paulista, Restinga, São José Da Bela Vista, Altinópolis, Ipuã, Nuporanga e São Joaquim da Barra.

**Tabela 1** - Grupos de culturas, área ocupada e perdas de solo na bacia do Sapucaí

Produtos	Área ocupada (ha)	Erosão (t/ano)
Culturas anuais	434.575	7.333.002
Culturas temporárias	177.606	2.202.450
Culturas permanentes	60.385	54.329
Culturas pastagem	215.586	86.285
Mata natural	36.845	14.738
Reflorestamento	21.119	19.007
<b>Total</b>	<b>946.117</b>	<b>9.679.760</b>

Fonte: CATI-IEA (1995) e cálculo da erosão com base em Belinazzi Júnior et al. (1981).

A produção agropecuária representativa dos municípios compreendidos pela bacia hidrográfica do Sapucaí, em termos de

<sup>3</sup> As informações desta seção estão baseadas em CESP (1987).

conjuntos de produtos, encontra-se na tabela 1. Dentre os principais produtos agropecuários, por área ocupada, destacam-se cana, café, soja, milho e pastagens. As estimativas de erosão, por tipo de grupos de produtos, foram obtidas pelos índices de erosão por cultura, estimados para o estado de São Paulo, por Belinazzi Júnior et al. (1981). A bacia do Rio Sapucaí é classificada como sendo crítica em termos de riscos de erosão. A suscetibilidade à erosão deve-se à predominância de solos areno-argilosos. As áreas próximas à nascente, que contém, aproximadamente, 1/3 da área de drenagem da bacia, apresentam alta suscetibilidade à erosão e os 2/3 restantes estão classificados como sendo de média suscetibilidade (Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1995).

## METODOLOGIA DE CÁLCULOS DOS CUSTOS

Os danos físicos nos ativos produtivos, 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 (Comune, 1994). Os efeitos ambientais específicos e localizados são passíveis de mensuração direta 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.

Os efeitos externos do assoreamento do rio Sapucaí estão expressos pelos danos materiais nas turbinas e nos equipamentos que estão em contato com a água, em razão da abrasão. Sempre que a capacidade natural de transporte de sólidos do rio é excedida, aumenta-se o potencial abrasivo de suas águas (Carvalho, 1989). As conseqüências monetárias desses danos podem ser estimadas por meio dos métodos da produção sacrificada e dos custos adicionais devidos aos danos físicos resultantes das alterações na qualidade ambiental.

Os efeitos da presença de sedimentos<sup>4</sup> nas águas do rio Sapucaí foram observados por meio das repercussões no histórico de funcionamento das usinas a fio d'água - Dourados e São Joaquim - aí localizadas. As tendências observadas foram projetadas sobre o funcionamento de oito usinas previstas para o aproveitamento energético do rio Spaucaí (CESP, 1987; CPFL, 1992).

Os custos ambientais externos estimados resultam da diferença entre os custos de geração de energia elétrica *com e sem* os efeitos do assoreamento do rio Sapucaí. O método do custo de reposição utiliza as necessidades em termos de nutrientes de acordo com o tipo de cultura e de solo, para avaliar economicamente os solos perdidos, utilizando-se os preços dos fertilizantes. Dessa forma, os custos internos foram estimados pela necessidade de reposição dos nutrientes levados pelo escoamento superficial. Utilizando-se os dados de perdas médias anuais de terra por erosão, para as diferentes culturas e solos, e considerando-se as áreas ocupadas por diferentes culturas, estimaram-se as perdas totais de terra em toneladas, por ano, para a bacia hidrográfica do rio Sapucaí.

A variável preço torna-se relevante para o cálculo do custo ambiental total, à medida que se pretende observar os valores monetários sob o enfoque do bem-estar social. Isto implica que os preços relevantes observáveis e gerados pela estrutura de mercado existente devem ser ajustados para refletir o custo de oportunidade social. Esse procedimento permite que os ajustes efetuados pelos fatores de correção - que expressam a relação entre custo social de oportunidade e preços de mercado do fator mão-de-obra, do produto energia elétrica e dos insumos - possibilitem avaliar os custos ambientais ao seu correspondente preço econômico ou ao custo de oportunidade para a economia como um

---

<sup>4</sup> Segundo Carvalho (1989), sedimentação é o processo de deposição pela ação da gravidade do material suspenso levado pela água ou outros líquidos. É obtido, normalmente, pela redução da velocidade do líquido abaixo do ponto a partir do qual pode transportar o material suspenso. Assoreamento, segundo Guerra, (1978), é o processo geomorfológico de deposição de sedimentos, fluvial, eólico ou marinho. Muller (1995) afirma que todos os cursos d'água naturais têm inerentes a função de carrear sedimentos; no entanto, os aproveitamentos d'água podem ser profundamente afetados pelos sedimentos. O volume dos sedimentos depende da região drenada e erodida pelo curso d'água. Neste trabalho, os termos sedimentação e assoreamento serão utilizados como sinônimos.

todo.

Para o cálculo do valor da produção sacrificada utilizou-se o preço social da energia elétrica obtido pelo custo marginal de expansão de longo prazo<sup>5</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. Para os fertilizantes foram utilizados os preços cotados internacionalmente para os nutrientes N,P,K, Ca e Mg.

## MODELO ANALÍTICO<sup>6</sup>

Os custos internos foram calculados utilizando-se as perdas de solo por cultura transformadas em perdas de nutrientes conforme a composição do solo. Considerou-se que toda a perda de terra representa também correspondente perda de nutrientes. Idealmente, os cálculos das estimativas monetárias dos custos internos podem ser assim definidos:

$$\text{Custos internos} = Q_n (P_n + C_a) + (P_p * Q_p),$$

Em que

$Q_n$  = fertilizantes carregados pela erosão;

$P_n$  = preço dos fertilizantes;

$C_a$  = custo de aplicação;

$P_p$  = preço do produto agrícola;

<sup>5</sup> Explicações sobre conceito, cálculos e valores dos custos marginais de expansão, ver Eletrobrás(1993).

<sup>6</sup> Neste trabalho, as equações utilizadas para estimar cada componente dos custos externos foram propostas por Marques (1995). Contudo, foi introduzida a formalização matemática das equações, o que, acredita-se, possa ter-lhes dado um caráter mais geral.

$Q_p$  = redução da produtividade de longo prazo em razão da erosão.

Não foram incluídos, neste cálculo, os custos de reaplicação dos nutrientes levados pelo escoamento superficial e nem a queda na produtividade de longo prazo, em razão da falta de informações específicas sobre a bacia hidrográfica em questão.

Os **Custos externos** foram obtidos por meio da diferença existente entre os custos de geração de energia elétrica com e sem os efeitos do assoreamento, como em Marques (1995):

$$\text{Custos externos} = CE_{CA} - CE_{SA} \text{ ou,} \\ CA_A = CE_{CA} - CE_{SA},$$

em que

$$CE_{CA} = \left\{ \sum_{t=1}^m (CM_t + RPE_t + CLD_t + CRS_t + CRE_t)(1+r)^{-t} \right\} \left\{ r(1+r)^t \cdot (1+r)^{-t} \right\}$$

$$CE_{SA} = \left\{ \sum_{t=1}^m (CM_t)(1+r)^{-t} \right\} \left\{ r(1+r)^t \cdot (1+r)^{-t} - 1 \right\}$$

$CA_A$  = custo externo anualizado equivalente, em US\$;

$CE_{CA}$  = custo de geração de energia elétrica com assoreamento anualizado equivalente, em US\$;

$CE_{SA}$  = custo de geração de energia elétrica sem assoreamento anualizado equivalente, em US\$;

$t$  = tempo medido em anos ( $t = 1$  a 50);

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

$CM_t$  = custo de manutenção, em US\$, no período  $t$ ;

$RPE_t$  = receita perdida, em US\$, no período  $t$ ;

$CRS_t$  = custo de reparos nos equipamentos, em US\$;

$CRS_t^1$  0 para  $t = 4j$ , ( $j = 1$  a 12);

$CRS_t = 0$  para os demais casos

$CLD_t$  = custo de limpeza e dragagem, em US\$, no período  $t$ ;

$CRE_t$  = custo de reposição dos equipamentos;

$CRE_t^1$  0 para  $t = 25$  anos;

$CRE_t = 0$  para os demais casos.

O custo de manutenção ( $CMA_t$ ) obedece à seguinte expressão matemática genérica:

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

cujos elementos são assim definidos:

$f(t)$  define o esquema de manutenção ao longo da vida útil das usinas, para  $t = 1$  a 50 anos.

Todos os demais parâmetros e potências de elevação são definidos em função de  $t$ , como:

$X$  = 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  $w$  potência de elevação das taxas 1,1, 1,2, 0,1 e 1,05, respectivamente.

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  $(t/6) \leq 5$  ou

se resto  $(t/6) = 0$  e quociente  $(t/6) = 4$ ;

$z = 0$ , caso contrário;

$k = 1$ , se o resto  $(t/6) = 1$  e quociente  $(t/6) \leq 5$ ;

$k = 0$ , caso contrário;

$w = 0$  e  $w_1 = 0$  se  $t \leq 26$ ;

$w =$  resto  $(t/26)$  e  $w_1 =$  quociente  $(t/26)$ , caso contrário.

Para as condições de assoreamento *severo* do rio 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;

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

$z = 0$ , caso contrário;

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

$k = 0$ , caso contrário;

$w = 0$  e  $w_1 = 0$  se  $t \leq 23$ ;  
 $w =$  resto de  $(t/23)$  e  $w_1 = 1$  se  $t \geq 24$ .

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  $(t/5) \leq 6$ ,  
 resto  $(t/5) = 2$  e quociente  $(t/5) = 4$   
 $z = 0$ , caso contrário;

$k = 1$ , SE RESTO  $(T/5) = 0$  E QUOCIENTE  $(T/5) \leq 6$ ;  
 $k = 0$ , CASO CONTRÁRIO;  
 $w = 0$  e  $w_1 = 0$  se  $t \leq 25$ ;  
 $w =$  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  $(t/5) \leq 5$  resto  $(t/5) = 0$  e  
 quociente  $(t/5) = 4$ ;  
 $z = 0$ , caso contrário;  
 $k = 1$ , se resto  $(t/5) = 4$  e quociente  $(t/5) \leq 5$ ;  
 $k = 0$ , caso contrário;  
 $w = 0$  e  $w_1 = 0$  se  $t \leq 24$ ;  
 $w =$  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;  
 $z = 1$  resto  $(t/4) = 3$  e quociente  $(t/4) \geq 6$  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  $t \geq 24$ .

Todos os restos e quocientes considerados no modelo analítico foram as partes inteiras dos valores resultantes.

A **receita sacrificada ou perda** ( $RPE_t$ ), medida em US\$/ano, é definida da seguinte forma:

$$RPE_t = (PE(t) \cdot PDE) \cdot [P_{ij}], \text{ em que}$$

$RPE_t$  = 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  $1 \leq t \leq 11$ ; ou

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

= 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;

$i$  = nível de assoreamento (1 = brando; 2 = médio; e 3 = severo);

$j$  = intensidade de assoreamento (1 = mínima; 2 = média; e 3 = máxima).

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

O **custo de limpeza e dragagem** ( $CLD_t$ ), em US\$, no período foi definido por:

$$CLD_t = (CAX_m) \cdot [P_{ij}]$$

em que

$CAX_m$  = custo de geração de energia elétrica ajustado, em que

$m = 1, 2$  ou  $3$  (1 = mínimo; 2 = médio; e 3 = máximo).

$P_{ij}$  = Matriz representativa dos percentuais associados às despesas de limpeza e dragagem;

$i$  e  $j$  = nível e intensidade de assoreamento, respectivamente.

$m = 1$ ,  $CAX_m =$  US\$ 31.719.282,00;

$m = 2$ ,  $CAX_m =$  US\$ 33.422.099,71;

$m = 3$ ,  $CAX_m =$  US\$ 35.962.015,00.

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

O custo de reposição dos equipamentos(CRE<sub>t</sub>):

$$CRE_t = (VEI(t)) \cdot [PP_{ij}]$$

VEI(t) = valor em US\$ do investimento em turbinas e outros equipamentos,

quando t = 27 VEI(t) assume valor positivo e zero, se t <sup>127</sup>;

PP<sub>ij</sub> = matriz representativa dos percentuais associados ao valor de reposição;

i e j = nível e intensidade de assoreamento, respectivamente.

VEI(27) = US\$ 24.331.269,00.

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

Os custo dos reparos nos equipamentos (CRS<sub>t</sub>) foi definido da seguinte forma:

$$CRS_t = (CAX_m) \cdot [P_{ij}]$$

P<sub>ij</sub> = Matriz representativa dos percentuais associados ao valor dos reparos;

i e j = nível e intensidade do assoreamento, respectivamente.

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

Quanto à taxa de desconto utilizada<sup>7</sup>, e tendo em conta as razões de ordem teórica e as considerações sobre o meio ambiente, optou-se por

<sup>7</sup>Para utilização das taxas de desconto para o cálculo do valor econômico de áreas de proteção ambiental no Brasil, referir-se a Azzoni & Isai (1994).

utilizar várias taxas, sendo a menor correspondente a 3% a.a., representando, em termos empíricos, uma taxa de longo prazo para investimentos em projetos de desenvolvimento de recursos hídricos (Schwartz & Berney, 1987), e a maior em 9% a. a., representando o custo social de oportunidade para o setor elétrico estimada por Contador (1981), bem como a utilizada pelo BNDES, no Programa de Conservação do Meio Ambiente, e pela CETESB, no Programa de Controle da Poluição. Também pelas razões já explicadas, esses valores representam estimativas inferiores ao valor estimado para a taxa social de desconto para a economia brasileira (Motta, 1988).

## RESULTADOS E CONCLUSÕES

Os danos ambientais devidos à erosão do solo não circunscrevem-se somente aos efeitos na geração de energia elétrica e nem somente às perdas de nutrientes pelo solo, o que ocasiona uma medição parcial dos danos. Por essa razão, acredita-se que os valores efetivos dos danos totais ao ambiente, causados pelo assoreamento do rio Sapucaí sejam melhores e mais adequadamente refletidos pela representação dos valores mais elevados.

Como era esperado, os valores referentes aos custos externos apresentaram ampla variação inter e intra hipóteses. Dadas as condições assumidas pelo trabalho, o menor custo ambiental em equivalência anual foi verificado nas condições mais suaves de assoreamento combinado com a taxa de desconto mais elevada. Por outro lado, também como era suposto, o custo mais elevado foi obtido a uma taxa de desconto de três por cento nas condições severas de assoreamento. Os valores correspondentes ao custo externo, assumindo-se as taxas de desconto de 3, 6 e 9%, e as condições existentes de assoreamento na bacia hidrográfica do rio Sapucaí mostraram-se expressivos e estão relatados na tabela 2.

Tabela 2 - Custo externo anual equivalente em US \$ 1. 000,00<sup>8</sup>

Taxa. desc.(%)	BRANDO (US\$)	MÉDIO (US\$)	SEVERO (US\$)
3	2.653,33	5.251,11	9.854,49
6	2.132,71	4.224,40	8.253,34
9	1.820,26	3.611,52	7.287,79

Os custos externos 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 (correspondendo ao valor anualizado de US\$ 9.845.758,00). Se o rio Sapucaí estivesse livre de assoreamento haveria uma redução de custos na geração de energia, equivalente a um montante igual ou superior ao necessário ao investimento total em um conjunto gerador da mesma capacidade instalada que aquele previsto para a implantação no rio Sapucaí. O que se pretende salientar é que os benefícios obtidos, ao se evitar os sedimentos, permitem uma economia correspondente ao valor dos danos ambientais que, nesse caso, excedem em quarenta por cento o valor do investimento necessário à construção do conjunto de usinas.

A despeito das limitações das estimativas, crê-se que os resultados obtidos, mesmo que parciais, apresentam um avanço no sentido de dar maior objetividade às discussões sobre às questões relativas à degradação ambiental, em geral, e ao respectivo custo dos danos ambientais, em particular. Estudos adicionais são necessárias, tanto para desvendar os valores monetários necessários a um programa de conservação, quanto para identificação e quantificação mais ampla dos danos ambientais e a revelação dos valores econômicos associados.

As questões associadas à taxa de desconto, freqüentemente, têm chamado atenção dos críticos da valoração econômica do ambiente. Mesmo os defensores da necessidade de valorar os bens e ativos ambientais, por vezes, envolvem-se em debates e controvérsias (Pearce,

<sup>8</sup> Somente estão reportados os valores máximos obtidos em cada hipótese de assoreamento. Para uma discussão completa de todos os resultados, consultar Marques (1995).

1983; Weitzman, 1994), cuja conclusão definitiva 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. A escolha da magnitude de uma 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).

Outro componente do custo ambiental, conforme definido neste trabalho, amparado pelo conceito de custo de reposição dos nutrientes levados pelo escoamento superficial, atingiu a cifra de US\$5.377.913,00 por ano. Há que se recordar, também, que tal valor somente reflete parcialmente os problemas ambientais provocados internamente pela erosão do solo, e que o método utilizado é altamente sensível ao comportamento dos preços dos nutrientes no mercado, ou seja, quedas ou elevações repentinas nos preços de mercado utilizados como base para a valoração ambiental, não implicam, necessariamente, alterações bruscas na qualidade ambiental.

**Tabela 3 - Valor econômico das perdas de solo na bacia do rio Sapucaí.**

Nutrientes	Concentração de nutrientes no solo (%) *	Perdas de nutrientes (t/ano)	Fertilizantes	Kg fert./ kg nutrientes	Perdas de fertilizantes (t/ano)	Preço fertilizantes (em US\$) **	Valor econômico das perdas em US\$/ano
Nitrogênio	0,096750	936.516,7800	uréia (45% N)	2,22	2.079.067,25	215,58	4.482.053,18
Fósforo	0,002614	25.302,8926	Superfosfato. simples.	5,56	140.684,083	146,17	205.637,92
Potássio	0,010058	97.359,0261	cloreto de potássio	1,66	161.615,983	122,25	197.575,54
Cálcio + Magnésio	0,094872	918.338,1907	Calcário dolomítico	2,63	2.415.229,44	20,40	492.646,43
Perdas de solo em t.	9.679.760						5.377.913,07

**Fontes:** (\*) Belinazzi Junior et al. 1981; (\*\*) Anuário Estatístico do Setor de Fertilizantes, 1995.

Na discussão dos resultados obtidos pela presente estimativa, alguns pontos devem ser considerados: 1) as perdas de solo pela erosão não propiciam apenas perdas de nutrientes; 2) a microflora e a microfauna também são afetadas pela erosão; e 3) o próprio solo tem seu potencial produtivo reduzido, principalmente por ter comprometida pela erosão a sua capacidade de reter água. Enfim, um conjunto importante de efeitos negativos ocorre, simultaneamente, em razão do processo erosivo do solo, o qual é de difícil identificação e mensuração. Outra observação importante é que todo o nutriente perdido deve ser repostado. O solo carregado pela erosão apresenta um teor de nutrientes maior que o solo original, uma vez que a parte erodida é a mais superficial, onde se concentram os maiores teores de matéria orgânica e de elementos minerais. Cada solo apresenta um nível tolerável de perdas por erosão, as quais representam as suas capacidades naturais regenerativas, mas que, no caso dos solos tropicais, são muito baixas em relação aos nutrientes erodidos, caso dos latossolos (Bastos Filho, 1995).

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 esses mesmos autores, a hidrelétrica de Itaipu recebe, ao ano, em macronutrientes oriundos somente 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 implantação de um amplo programa de conservação do solo no estado do Paraná.

Para o estado de São Paulo, considerando-se somente os nutrientes perdidos do solo, estimou-se que o valor monetário destes, 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/ano, referentes às perdas de nutrientes em solo paulista, ocupado com atividades agrícolas, pecuárias e florestas. As estimativas feitas para este estudo mostram que os custos internos, gerados pelas perdas de solo na bacia do rio Sapucaí, situam-se ao redor de 3% do montante global do estado.

Por tratar-se de tentativa pioneira, no Brasil, de mensurar os efeitos econômicos externos da erosão do solo, não existindo outras estimativas disponíveis para comparações diretas, estas são apenas indicativos da ordem de grandeza e expressivas, à medida que mostram que, neste estudo, os custos externos situaram-se em torno de duas vezes o valor dos custos internos.

A solução para os problemas da degradação da qualidade do solo e da água extrapola os limites circunscritos a este trabalho, já que se abordou o uso da água como fonte geradora de energia elétrica. Porém, do ponto de vista das áreas agrícolas geradoras de sedimentos, há necessidade de compatibilização das políticas agrícolas, em geral, e de conservação do solo e das recomendações de práticas conservacionistas, em particular, com as políticas de manejo e conservação da qualidade dos recursos hídricos. Em decorrência, uma avaliação de custos internos e externos e dos benefícios de práticas conservacionistas, cuidadosa e ampla, que incorpore os valores ambientais, deve orientar a tomada de decisões. Nesse sentido, o processo de dar valores econômicos às externalidades ambientais deve subsidiar soluções públicas e privadas que caminhem no sentido da busca da sustentabilidade.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANUÁRIO ESTATÍSTICO DO SETOR DE FERTILIZANTES 1987-1996. São Paulo: Anda, 1995
- 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 Mestrado.

- BELINAZZI JUNIOR, R., et al. A ocorrência de erosão rural no Estado de São Paulo. In: *SIMPOSIUM SOBRE O CONTROLE DA EROSAO*, 2., 1981. São Paulo: ABGE, 1981.
- CARVALHO, N. de O. *Curso sobre transporte de sedimentos e cálculo da vida útil de reservatórios*. Florianópolis: ELETROSUL, 1989. Iv.
- CATI - IEA (São Paulo, SP). Levantamento da produção agrícola a nível de município, Estado de São Paulo, Definitiva, 1995.
- 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.
- COMUNE, A. E. Meio ambiente, economia e ecomomistas: 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.
- CONTADOR, C.R. *Avaliação social de projetos*. São Paulo: Atlas, 1981. 301p.
- CPFL (Campinas, SP). *Localização das usinas da CPFL - OMTT - 00-12-47*. Campinas, 1992.
- 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.
- GUERRA, A. T. *Dicionário Geológico-Geomorfológico*, Rio de Janeiro. Fundação IBGE, 1981. 203p.
- INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA (São Paulo, SP). *Economia agrícola paulista: características e potencialidades. Informações Econômicas*, São Paulo, v.21, p.1-201, 1991. Suplemento.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (São Paulo, SP). *Mapa de erosão do solo do Estado de São Paulo. Escala 1:1.000.000 1ª edição*. São Paulo, 1995.
- 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 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 Mestrado.
- MONTOYA, L.J.; MASCHIO, L.M. de A.; RODIGHIERI, 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.
- MULLER, A. C. *Hidrelétricas, meio ambiente e desenvolvimento*. São Paulo: Makron Books, 1996. 412p.

- PEARCE, D. Ethics,irreversibility, future generations and the social rate of discount. Intern. J.Environmental Studies, v.21, p.67-86, 1983.
- 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, 1987. 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.da Estimates of national parameters for the economic analysis of projects in Brazil. *Project Appraisal*, v.8, n.4, p.231-239, Dec. 1993.
- 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.

