



**UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA**

TIAGO SANTOS TELLES

OS CUSTOS DA EROSÃO DO SOLO

Londrina
2010

TIAGO SANTOS TELLES

OS CUSTOS DA EROSÃO DO SOLO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Agronomia.

Orientadora: Profa. Dra. Maria de Fátima Guimarães

Londrina
2010

**Catálogo elaborado pela Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca
Central da Universidade Estadual de Londrina.**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

T274c Telles, Tiago Santos.

Os custos da erosão do solo / Tiago Santos Telles. – Londrina, 2010.
46 f.: il.

Orientador: Maria de Fátima Guimarães.

Co-orientador: Sonia Carmela Falci Dechen.

Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina,
Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia,
2010.

Inclui bibliografia.

1. Solos – Erosão – Teses. 2. Solos – Degradação – Teses. 3. Solos – Manejo
– Viabilidade econômica – Teses. 4. Recursos naturais – Conservação – Teses.
5. Desenvolvimento sustentável – Teses. I. Guimarães, Maria de Fátima. II. Dechen,
Sonia Carmela Falci. III. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências
Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. IV. Título.

CDU 631.459

TIAGO SANTOS TELLES

OS CUSTOS DA EROSÃO DO SOLO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Agronomia.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Maria de Fátima Guimarães
Orientadora
Universidade Estadual de Londrina

Profa. Dra. Sonia Carmela Falci Dechen
Co-Orientadora
Instituto Agronômico de Campinas

Profa. Dra. Isabella Clerici De Maria
IAC

Prof. Dr. João Tavares Filho
Universidade Estadual de Londrina

Profa. Dra. Graziela Moraes de Cesare
Barbosa (IAPAR)

Prof. Dr. Ricardo Ralisch

Londrina, 25 de janeiro de 2010

Dedico à minha mãe, Janete Oliveira Santos Bosa, e à minha avó, Vitalina Rosa de Oliveira Santos (*in memoriam*).

AGRADECIMENTOS

No momento em que me encaminho para finalização desta dissertação de mestrado me resta registrar meus agradecimentos às pessoas que de várias formas contribuíram para que esta se tornasse realidade.

Primeiramente, gostaria de agradecer à minha orientadora professora Dra. Maria de Fátima Guimarães, por toda a dedicação, compreensão e amizade, pelos desafios, estímulo e exigências apresentados para realização deste trabalho. À minha co-orientadora, pesquisadora e professora no Instituto Agronômico de Campinas, Dra. Sonia Carmela Falci Dechen.

Aos professores e funcionários do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, da Universidade Estadual de Londrina, pela excelência acadêmica.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos.

Aos professores que compõem a banca examinadora, Dra. Isabella Clerici De Maria, Dr. João Tavares Filho, Dra. Graziela Moraes de Cesare Barbosa e Dr. Ricardo Ralisch.

Aos meus amigos e colegas, pelas oportunas manifestações de companheirismo.

À minha avó, Vitalina Rosa de Oliveira Santos (*in memoriam*). À minha mãe, Janete Oliveira Santos Bosa. Aos meus irmãos, Kelly Santos Telles e Lucas Santos Telles.

A Deus por todas as suas dádivas, sem as quais eu nada seria!

Sem o fornecimento regular e confiável de *commodities* agrícolas, toda a estrutura econômica entrará em colapso, e nenhum sistema de controle financeiro poderá contê-lo.

Pierre Crosson

TELLES, Tiago Santos. **Os custos da erosão do solo**. 2010. 59 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2010.

RESUMO

O solo é a base para a produção de alimentos e a sustentabilidade de uma sociedade. Da conservação deste recurso depende a humanidade. Entretanto, a inabilidade do homem em reconhecer os limites da natureza o leva a uma inadequada atuação sobre o solo, expressa pelo processo de erosão, que reduz seu potencial produtivo. O processo de erosão, no entanto, não provoca somente perdas físicas, químicas e biológicas, gera também perdas econômicas, com efeitos negativos tanto dentro (*on-site*) quanto fora (*off-site*) da unidade produtiva, impondo um custo a toda sociedade. Assim, o objetivo deste trabalho é apresentar, através de uma ampla revisão da literatura, os custos gerados pelo processo de erosão. Além disso, é proposto um modelo teórico para avaliação dos mesmos. A revisão das estimativas aponta o montante de recursos gastos com o processo de erosão dos solos, criando um senso comum sobre a necessidade de sua conservação. Nos Estados Unidos os custos com a erosão do solo foram estimados em 44 bilhões de dólares ao ano, na União Européia em 32 bilhões de euros ao ano e no Brasil em 30 milhões de dólares ao ano. As análises destes custos mostram, acima de tudo, que medidas conservacionistas devem ser tomadas para o desenvolvimento de um sistema de produção sustentável.

Palavras-chave: Degradação do solo. Perdas por erosão. Custo *on-site*. Custo *off-site*. Desenvolvimento sustentável.

TELLES, Tiago Santos. **The costs of soil erosion**. 2010. 59 p. Dissertation (Master`s degree in Agronomy) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2010.

ABSTRACT

Soil is the basis for food production and sustainability of a society. Conservation of this resource depends on all humanity. However, man's inability to recognize the limits of nature leads to an inappropriate relationship with the soil, expressed by the erosion and degradation, which reduce its productive potential. The process of erosion, however, not only causes physical, chemical and biological losses, it also generates economic losses, with negative effects both inside (*on-site*) and outside (*off-site*) of the plant, imposing a cost to the entire society. So, the objective of this study was to present, through an extensive literature review, the cost estimates generated by the process of erosion. In addition, a model was proposed for evaluation this costs. The revised estimates, in turn, indicate the amount of resources spent on the process of degradation, creating a common sense about the need for its conservation. In the United States of America the costs of soil erosion were estimated at 44 billion dollars a year, in the European Union at 32 billion euros a year and the Brazil at 30 milion dollars a year. The analysis of these costs show, above all, that conservation measures must be taken to the development of a sustainable production system.

Keywords: Soil degradation. Erosion losses. *On-site* costs. *Off-site* costs. Sustainable development.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 ARTIGO A – OS CUSTOS DA EROÇÃO DO SOLO	13
2.1 RESUMO E ABSTRACT	13
2.2 INTRODUÇÃO	15
2.3 POR QUE CONSERVAR O SOLO?	16
2.4 DESENVOLVIMENTO RURAL SUSTENTÁVEL	19
2.5 O MOVIMENTO DE CONSERVAÇÃO DO SOLO E OS CUSTOS DA EROÇÃO: BREVE HISTÓRICO	21
2.6 Os EFEITOS DA EROÇÃO DO SOLO	25
2.7 Os CUSTOS.....	28
2.8 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	34
3 ARTIGO B – AVALIAÇÃO DOS CUSTOS DA EROÇÃO DO SOLO	35
3.1 RESUMO E ABSTRACT	35
3.2 INTRODUÇÃO	36
3.3 AS METODOLOGIAS DE VALORAÇÃO DOS CUSTOS DA EROÇÃO DO SOLO	37
3.4 O MODELO	41
3.5 DISCUSSÃO	43
3.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	46
4 CONSIDERAÇÕES GERAIS	47
5 REFERÊNCIAS	48

1 INTRODUÇÃO

A realidade econômica, social e ambiental está mudando. O modelo de crescimento econômico, baseado na eficiência via ganhos de produção, gerou desequilíbrios entre o consumo e a degradação dos recursos naturais, principalmente na atividade agropecuária. Boa parte dos ganhos de produtividade, obtidos através do progresso técnico, foram anulados pela degradação do solo e da água, em particular pelo processo de erosão. Diante desta constatação, surge a idéia e a necessidade de um modelo pautado na sustentabilidade, buscando conciliar os ganhos econômicos com a preservação ambiental.

A erosão dos solos agrícolas é um problema em escala mundial e embora tenha maior gravidade nos países em desenvolvimento, (BARBIER, 1997; JHA; WHALLEY, 2001; KNOWLER, 2004; BRONICK; LAL, 2005) continua sendo motivo de preocupação nos países desenvolvidos (CROSSON, 1997; 2007).

Nos Estados Unidos os estudos sobre o processo, efeitos e conseqüências da erosão dos solos agrícolas marcaram o início do século XX, período no qual a degradação dos solos configurava-se como um problema disseminado por todo o país (BENNETT, 1939, 1955). Hugh Hammond Bennett foi o precursor de pesquisas multidisciplinares sobre esta questão. Utilizou estudos agrícolas, econômicos e sociais para convencer a nação a proclamar a erosão do solo como uma ameaça nacional, apresentando as práticas conservacionistas como solução ambiental e econômica para os produtores e sociedade (BENNETT, 1929, 1933, 1935, 1939, 1940, 1955).

Os efeitos da erosão dos solos agrícolas podem ocorrer tanto dentro (*on-site*) como fora (*off-site*) da propriedade rural. Entre os efeitos *on-site*, pode-se destacar a redução da produtividade e produção, gastos adicionais com a reposição de fertilizantes, queda na renda do produtor e desvalorização das terras (BENNETT, 1939; PIMENTEL et al., 1995; URI, 2000; CROSSON, 2007). Entre os *off-site*, destacam-se os problemas associados a sedimentação dos recursos hídricos, como a redução da capacidade dos rios e valas de drenagem e o aumento do risco de inundações e enchentes (BENNETT, 1939; CLARK, 1985; PIMENTEL et al., 1995; CROSSON, 1997; URI, 2001).

Para Boardman (2006) a ciência está em um estágio de

compreensão dos processos e efeitos da erosão do solo, sendo necessária a intensificação de pesquisas sobre seus impactos e custos socioeconômicos (BOARDMAN et al., 2003).

Assim, o objetivo deste trabalho é apresentar, através de uma ampla revisão da literatura, os custos gerados pelo processo de erosão. Além disso, é proposto um modelo teórico para avaliação dos custos da erosão do solo.

Para tanto, a dissertação foi composta por dois capítulos que versam sobre os custos da erosão do solo. O primeiro intitulado “Os custos da erosão do solo” e o segundo “Avaliação dos custos da erosão do solo”.

2 ARTIGO A – OS CUSTOS DA EROSÃO DO SOLO

2.1 RESUMO E ABSTRACT

RESUMO

Este estudo teve por objetivo realizar uma revisão sobre estimativas de custos da erosão do solo, uma questão de fundamental importância frente as discussões sobre sustentabilidade ao redor do mundo. Dessa forma, foram elencadas pesquisas sobre os efeitos *on-site* e *off-site* para explicar o processo de perdas por erosão e seus respectivos custos. As estimativas dos custos variaram de 5 dólares a 45,5 bilhões de dólares. Nos Estados Unidos, os valores chegaram em 44 bilhões de dólares ao ano. As estimativas dos custos da erosão do solo, *on-site* ou *off-site*, contribuem para alertar produtores, sociedade e governo na busca de medidas e ações, através de políticas públicas, para o controle da erosão do solo. Isso porque estas estimativas apontam o montante de recursos gastos com o processo de degradação dos solos, criando um senso comum sobre a necessidade de sua conservação. Os custos *on-site*, porque afetam diretamente a unidade produtiva, ampliando custos de produção que serão repassados aos consumidores, e, os *off-site*, porque geram um ônus para economia e sociedade. As estimativas dos custos da erosão do solo, embora realizadas para países em diferentes continentes, ainda são incipientes naqueles em desenvolvimento. São valores que mostram, acima de tudo, que medidas conservacionistas devem ser tomadas para o desenvolvimento de um sistema de produção agropecuário sustentável.

Palavras-chave: Degradação do solo. Economia. Estimativas. Desenvolvimento sustentável.

THE COSTS OF SOIL EROSION

ABSTRACT

This study had for goal to perform a review about the costs estimates of soil erosion, a question of fundamental importance front the discussions about sustainability triggered around the world. Thus, were listed researchs that approached the *on-site* and *off-site* effects to explain the process of losses by erosion, the limitations to the development and their costs. The estimates of the costs of soil erosion vary from 5 dollars to 45,5 billions dollars. The estimates of the costs of soil erosion, *on-site* or *off-site*, although scarce, contribute to alert producers, society and governments in the search for measures and actions, through of public policies, to control soil erosion. This because these estimates point the amount of resources spent with the process of soil degradation, creating a common sense about the necessity of its conservation. The *on-site* costs, because directly affect the productive unit, increasing production costs that will be passed to the consumers, and the *off-site* because they create a onus to economy and society. The costs of soil erosion, although estimated for countries in different continents, still are incipient in the territories in development. Finally, the costs of soil erosion show above all, that conservacionists measures must be taken to the development of a system of production agricultural- livestock worldwide sustainable.

Keywords: Soil degradation. Economy. Estimation. Sustainable development.

2.2 INTRODUÇÃO

A erosão do solo não é apenas um problema agrícola, mas está associada a questões de ordem ambiental, social e econômica, pois há séculos tem sido reconhecida como um sério empecilho para a segurança alimentar e, atualmente, como entrave ao desenvolvimento sustentável.

O processo de erosão antrópica é resultado do manejo inadequado do solo pelo homem, relatado em inúmeros artigos, como os de Ellison (1948), Lal (1997) e Bertoni e Lombardi Neto (2008). Consiste no desprendimento e arraste de partículas, causados pela ação da água ou vento (MILLER, 1931; BENNETT, 1955, FOTH, 1990). A forma hídrica, que atinge a maior parte do planeta (ZACHAR, 1982), é causada pela chuva e pelo escoamento superficial, sendo afetada, principalmente, pelo sistema de manejo (LAL, 2000; 2006). A erosão altera as características químicas, físicas e biológicas do solo, contribuindo para o declínio de sua fertilidade e, conseqüentemente, de sua produtividade (PIMENTEL et al., 1995; MORGAN, 2005).

Os problemas atrelados à terra estão historicamente ligados à economia. Há longo tempo, pesquisadores de diversas áreas têm se preocupado com as perdas e custos gerados pela degradação e erosão do solo.

Nos Estados Unidos, o grande impulso para a investigação científica e econômica sobre a erosão do solo e sua conservação veio de Hugh Hammond Bennett, que liderou o movimento conservacionista entre os anos de 1920 e 1930.

Para os Estados Unidos, os custos anuais da erosão do solo foram estimados entre 44 (PIMENTEL et al., 1995) e 37 bilhões de dólares (URI, 2000, 2001). Para a União Européia, calcula-se em 38 bilhões de euros (MONTANARELLA, 2007). No Brasil, embora a conservação do solo seja uma ciência respeitada e consolidada, têm-se poucos estudos que chegam até os custos da erosão, e estes são restritos a alguns solos e regiões (MARQUES et al., 1961; SILVA et al., 1985; SORRENSON; MONTOYA, 1989; DERPSCHE et al., 1991; MARQUES, 1998; RODRIGUES, 2005; BERTOL et al., 2007; SARCINELLI et al., 2009), e ainda não permitem extrapolação para todo o país.

Os custos foram calculados levando-se em conta os efeitos *on-site*, relativos às perdas que ocorrem no interior da unidade produtiva, e *off-site*, relativo

aos prejuízos que ocorrem fora da propriedade agrícola.

Este trabalho tem como objetivo apresentar uma revisão das estimativas dos custos da erosão do solo.

2.3 POR QUE CONSERVAR O SOLO?

A necessidade crucial de alimentação, que se transformou no problema clássico da relação entre os recursos naturais e a população, preocupa ainda mais o mundo de hoje, tanto em relação ao presente quanto às necessidades futuras – abordado atualmente como uma questão de segurança alimentar.

Essa relação foi enunciada na economia clássica por Adam Smith em “A riqueza das nações”, publicado em 1776 (SMITH, 2008), e posteriormente desenvolvida por Thomas Robert Malthus, no livro “Um ensaio sobre o princípio da população”, de 1798 (MALTHUS, 1999). Malthus partiu do pressuposto de que os recursos naturais, como o solo, são limitados e, se as condições se mantivessem constantes, a população tenderia a se multiplicar ao ponto em que não haveria alimentos suficientes para atender a todos. Dessa forma, enquanto a produção de alimentos cresceria em progressão aritmética, a população cresceria em progressão geométrica. Esse economista deduziu que não haveria aumento no custo de produção até que toda a terra disponível tivesse sido usada. Além disso, ele acreditava que a qualidade das terras aráveis era uniforme.

Em 1817, David Ricardo, no livro “Princípios da Economia Política e Tributação” (RICARDO, 2006), introduziu algumas modificações no modelo malthusiano. Concordou com Malthus em que havia um limite para a quantidade da terra, mas considerou a variabilidade da terra em relação à sua qualidade. Segundo sua teoria, as melhores terras seriam usadas em primeiro lugar, passando-se, quando necessário, para as terras piores. Em consequência, o custo de produção subiria demasiadamente, antes que o limite máximo das terras aráveis tivesse sido alcançado. O ponto em que os custos começariam a subir, bem como a velocidade dessa subida, dependeria da qualidade das terras disponíveis e do aumento da população, isto é, da demanda. Possibilidade de avanços tecnológicos foi reconhecida por esses autores, mas acreditava-se que estes poderiam, no máximo,

adiar o “dia fatal”, não resolvendo o problema da escassez dos recursos naturais e, muito menos, relacionava-se a escassez ao consumo destes recursos.

A evolução tecnológica foi a base para os estudos de Barnett e Morse (1963). Segundo a teoria dinâmica desses autores, esta evolução tornaria improvável a escassez dos recursos naturais.

Entretanto, nem todos os economistas aceitaram a formulação de Barnett e Morse, mesmo quando aplicada em países tecnologicamente avançados (SIMPSON et al., 2005). Todavia, o papel da tecnologia, tornando disponíveis recursos que de outro modo seriam inaproveitáveis, é importante e largamente reconhecido (TAYLOR; YOUNG, 1985; SAMPSON; KNOFF, 1994; ALDY et al., 1998; PIMENTEL et al., 1999). Mas, nem a tecnologia nem a extração do valor da natureza se fazem de graça, pois muitas coisas são possíveis, mas não são economicamente viáveis (REGANOLD et al., 1990; PRETTY; WARD, 2001). O solo pode ser revitalizado quando suas substâncias nutritivas estão esgotadas e mesmo quando parte deste foi levada pela erosão ou destruída de outra forma qualquer. Contudo, se o processo de degradação não for interrompido, torna-se irreversível (LAL, 2001; GISLADOTTIR; STOCKING, 2005).

As mudanças introduzidas pelo homem, muitas vezes, resultam em importantes modificações na produtividade do solo, para melhor ou para pior (BENNETT, 1940; MENZEL, 1991; PIMENTEL et al., 1995; KNOWLER, 2004). Isso faz com que muitas discussões a respeito da conservação do solo sejam ofuscadas. Há uma incapacidade de se distinguir entre os investimentos periódicos para uma produção corrente e os investimentos destinados a alterar-lhe a estrutura básica (CHAVAS; ALIBER, 1993; RUTTAN, 2002).

Segundo Uri (2001), o produtor pode ajustar a produção em resposta às variações nos custos e preços sem modificar sua estrutura física ou tecnológica, em busca de um sistema mais econômico. Por outro lado, pode tomar outras medidas para afetar a capacidade produtiva do solo, ou para alterar a função de produção e a relação entre insumos e produção (JHONSON, 1950; SCHMIDT, 1985; BATTESE, 1992; BRAVO-URETA; PINHEIRO, 1993; SOUZA et al., 1999).

A terra não pode ser considerada isoladamente, ela só é produtiva quando combinada com trabalho, capital, materiais de produção e sistema de manejo (MATSUYAMA, 1992, 1999; URI, 1999; CHAVAS, 2001). Na análise microeconômica encontram-se diferentes combinações dos fatores de produção.

Mas, para muitos produtores, todos esses fatores podem ser fixos. Para Crosson (1985, 2007) a conservação é uma questão de valores: um investimento para manter o nível de produção, diminuir a deterioração da produtividade e aumentar o potencial produtivo.

Assim, os programas de conservação do solo envolvem comparações intertemporais, interespaciais e interpessoais (PAGOULATOS et al., 1989; POPP et al., 2001), bem como diferenças entre níveis e tendências de produção (BARBIER, 1997; BERGSMA, 2000). Barlowe (1986) demonstrou as variações nas rendas futuras dos agricultores, com e sem a adoção de investimentos em conservação do solo. Para o autor, se a conservação do solo é definida como o esforço para modificar uma tendência em sua produtividade, de modo a torná-la melhor do que seria normalmente, esta implicaria em distribuição dos investimentos e da produção anual diferente da que existiria de outra forma que não a conservacionista.

Entretanto, essa análise foi feita exclusivamente em termos da renda anual esperada pelo produtor, sendo válida apenas nesses termos, pois não leva em conta a possibilidade de valorização das terras em consequência da estabilização da produtividade. Se o mercado de terras fosse perfeito, as diferenças futuras na produtividade seriam refletidas perfeitamente no valor atual da terra.

Um motivo importante para a conservação do solo é o aumento da renda (SALIBA, 1985; PAGOULATOS et al., 1989). Devido à defasagem entre o tempo de investimento e o de produção que a conservação quase sempre provoca, as comparações significativas devem ocorrer sempre em termos de valor atual e de custos futuros (HOAG; YONG, 1986). Isso, por sua vez, envolve necessariamente uma taxa de interesse ou depreciação, quase sempre difícil de avaliar corretamente (WU et al., 1997). O equilíbrio entre os valores atuais de investimentos e rendas futuras mede a rentabilidade do programa de conservação escolhido (BENNETT, 1940; CHAVAS et al., 1983; URI, 1999), sendo, portanto, na maioria dos casos, um fator extremamente importante, senão decisivo.

Para muitos produtores, a taxa de depreciação é uma questão de intuição, e não de cálculos e estimativas. Por isso, sua preferência pelo lucro imediato, em detrimento dos lucros futuros, é um fato bem estabelecido. Porém, a conservação do solo, ou a falta desta, não está baseada unicamente na rentabilidade.

2.4 DESENVOLVIMENTO RURAL SUSTENTÁVEL

O mundo passa por um momento de reflexão sobre seus problemas ambientais e desdobramentos econômicos. A partir destas discussões, é lícito especular e concluir que a degradação ambiental, principalmente dos solos agrícolas, só não é maior porque grande parte da população mundial vive à margem da sociedade de consumo. No ápice encontram-se questões ligadas as limitações do setor agropecuário, cuja planta outrora alicerçada em uma ideologia histórico-econômica, na qual interessavam a produção e o consumo, enquanto fenômenos de geração e utilização de valor no âmbito do mercado, que pensava os recursos naturais como fonte inesgotável de matéria e energia, perde espaço para um modelo que busca o desenvolvimento sustentável do sistema.

Existem momentos durante os quais a ideologia de desenvolvimento alcança um campo de singularidade histórica, introduzindo-se como uma idéia-força que atrai generalizado interesse, intensamente discutidas, orientando programas governamentais, instigando sofisticados debates intelectuais e, em especial, motivando grupos sociais interessados nos benefícios das mudanças associadas à esta noção. Nesses momentos o tema do desenvolvimento adentra o campo da política e, assim, passa a permear e a determinar as expectativas e o jogo das disputas sociais (JANVRY et al., 2002).

O primeiro nasceu sob o impacto do notável crescimento econômico do período de 1950 a 1975 (MEIER; RAUCH, 2000), com uma nova e acabada compreensão da agricultura que gradualmente se tornou hegemônica em todo o mundo, não apenas no plano científico, mas nos diferentes sistemas agrícolas dos países que a ela aderiram. Alicerçada no que foi genericamente intitulado de “revolução verde”, materializou-se em um sofisticado padrão tecnológico de produção, mercantilizando gradualmente a vida social. Com a disseminação de tal padrão na agricultura, desde então chamado de “moderno”, o mundo passou a subordinar-se, como mera peça dependente, a novos interesses, classes e formas de vida e de consumo, majoritariamente urbanas, que a expansão econômica do período ensejou em graus variados nos diferentes países (SANTOS, 2005).

Em tal contexto, a transformação social e econômica – e a melhoria do bem-estar das populações rurais mais pobres – foi entendida como o resultado

natural do processo de mudança produtiva na agricultura. Este último foi meramente identificado como a absorção das novas tecnologias então difundidas, acarretando aumentos da produção e da produtividade, e assim, uma suposta e virtuosa associação com aumentos de renda familiar, portanto, “desenvolvimento rural”, mas não necessariamente sustentável.

O segundo momento sob o qual o tema ressurgiu caracteriza-se por uma percepção acerca da aparente impossibilidade do desenvolvimento ou, pelo menos, suas imensas dificuldades de materialização. Um complexo conjunto de novos processos sociais e econômicos – associados usualmente à expressão “globalização”. Assim, o tema desenvolvimento – e desenvolvimento rural – gradualmente reapareceu nos debates e disputas sociais em escala global. Observe-se, por exemplo, o atual e vigoroso debate sobre mudanças climáticas advindas do encontro de Copenhague, decorrente da culminação dos impactos ambientais experimentados nas últimas décadas, os quais têm nas formas predatórias de uso da terra um de seus componentes relevantes. Portanto, o desenvolvimento sustentável refere-se ao plano ambiental, indicando a necessidade de estratégias.

Nessa perspectiva, o antigo problema da erosão do solo ganha destaque, uma vez que o processo de erosão limita a produção de alimentos (PIMENTEL et al., 1995; CROSSON, 2007). Por isso, para Pimentel et al. (1995), a erosão é uma das maiores ameaças ao desenvolvimento sustentável e à capacidade produtiva da agricultura.

Considerando que a relação entre erosão e produção reflete em dados de interesse público, ligados diretamente a rendimentos e custos, pesquisadores ao longo do século XX e nesta primeira década do século XXI, estudaram os efeitos e realizaram diferentes estimativas dos custos da erosão do solo.

O levantamento dos estudos que abordaram esta questão é de fundamental importância, já que há que se analisar a capacidade de direcionamento do conhecimento acumulado no campo das ciências para soluções práticas para a sociedade, pois a cada dia têm-se demonstrações que este é o caminho para a “sustentabilidade do desenvolvimento”.

2.5 O MOVIMENTO DE CONSERVAÇÃO DO SOLO E OS CUSTOS DA EROSÃO: BREVE HISTÓRICO

Apesar das idéias conservacionistas terem raízes tanto na Europa quanto nos Estados Unidos, optou-se por relatar o movimento americano, uma vez que a conservação do solo no Brasil teve maior influência deste.

Nos Estados Unidos, entre 1890-1920, surgiu o primeiro movimento conservacionista, uma cruzada política e social, interessada nos recursos naturais (BARNETT; MORSE, 1963; MILLER, 2001; JUDD, 2006). O desperdício e a especulação foram rejeitados, enquanto a poupança e a conservação de recursos, estimuladas. O movimento incluiu uma grande campanha de propaganda para esclarecer a população acerca do perigo da destruição dos recursos naturais. Entretanto, as avaliações monetárias foram desprezadas.

As origens do movimento remontam a um período no qual os recursos naturais eram abundantes e não tinham alto valor em comparação com a mão-de-obra e o capital (MINTTEER; MANNING, 2003). O baixo custo e a grande disponibilidade desses recursos encorajavam seu uso irracional.

O movimento iniciou-se com as idéias de Charles Darwin (LENNOX, 1993) e George Perkins Marsh (MITCHELL; DIAMANT, 2005). A influência de Darwin foi indireta. O evolucionista não defendeu a conservação, mas chamou a atenção para a luta pelos alimentos e pelas leis da natureza em geral. A contribuição de Marsh foi direta: em seu livro *O Homem e a Natureza*, de 1865, um estudo pioneiro das relações entre o homem e o ambiente, reconheceu o solo como parte integrante do ecossistema e a capacidade humana de modificar o ambiente, destacando sua dependência em relação à natureza para a obtenção de alimentos e outras necessidades vitais.

O mais importante conservacionista, no período de 1890-1920, foi Gifford Pinchot (MILLER, 2001; NEWTON; FREYFOGLE, 2005). Responsável por grandes contribuições pessoais atraiu e liderou os outros conservacionistas ativos do seu tempo, agindo em múltiplos campos: da publicidade e educação, para despertar o civismo; da ciência e conhecimento, para mostrar o que podia ser feito em campos específicos; na administração de recursos, para ajudar a proteger as florestas nacionais e, mais tarde, para administrá-las; e na política, pela sua influência.

O desperdício de recursos naturais era uma preocupação importante, assim como os efeitos sociais e econômicos da escassez de recursos – considerada iminente. Acreditava-se que a escassez levasse aos monopólios, os preços subiriam, inibindo o desenvolvimento econômico (MONTGOMERY, 2007) e o bem-estar geral (BENGSTON; IVERSON, 2003).

Embora esse movimento tenha gerado muitos programas públicos e reconhecido a erosão do solo como um problema, e sua conservação como um plano necessário, o trabalho desses homens não resultou em um projeto contínuo para a conservação do solo (BENNETT, 1939; BARNETT; ORSE, 1963). Como programa público efetivo, a conservação do solo nos Estados Unidos começou com o “Soil Erosion Service”, um dos muitos programas do “New Deal”, no início de 1933. Seu idealizador foi Hugh Hammond Bennett, que desempenhou papel fundamental entre 1920 e 1950 (BENNETT, 1929, 1933, 1935, 1939, 1940, 1955).

Antes de 1930 já existiam alguns trabalhos sobre a erosão do solo e questões correlatas. Entretanto, naquela época, segundo Bennett (1929), havia poucas provas claras e aceitáveis da natureza e extensão dos problemas relacionados à erosão do solo. Além do mais, existia uma indiferença geral quanto à erosão, tanto por parte dos produtores como dos especialistas.

A primeira preocupação do programa de conservação do solo em formação foi o incentivo à pesquisa. Esta foi, praticamente, a única atividade até 1933. Bennett sabia que as causas da erosão do solo eram muitas e, a interação entre estas, complexa. Uma sólida base teórica seria necessária para evitar erros e convencer os céticos. Além do mais, nesse período a pesquisa era encarada com respeito nos círculos profissionais e políticos.

A primeira pesquisa consistiu na tentativa de medir as perdas do solo em diversas situações experimentais. Com a fase mais ativa da conservação do solo, iniciada em 1933, o interesse se deslocou para o ato de medir e classificar a intensidade da erosão do solo, em um estudo nacional. Nessa fase, deu-se grande importância ao uso de terraços agrícolas para controlar a erosão.

Ainda no início de 1933, grandes programas governamentais de conservação do solo foram implementados em terras particulares, como meio de criar empregos, especialmente para os desempregados advindos da Grande Depressão, em um trabalho que ajudaria a proteger e melhorar a terra, seguindo o escopo da política econômica keynesiana.

Em 1935, o Congresso Americano votou uma lei estabelecendo o trabalho da conservação do solo em base permanente, fundando o Serviço de Conservação do Solo (SCS). A Lei de 1935 foi de grande importância por estabelecer a conservação do solo como um programa nacional, servindo de modelo para muitos outros países (BENNETT, 1939), inclusive para o Brasil.

No início de 1936, a Corte Suprema Americana estabeleceu uma nova Lei de Conservação do Solo e Distribuição Doméstica, que formalizava um sistema de auxílios e subsídios a produtores que adotassem o programa de conservação do solo. Criou-se, assim, um duplo aspecto governamental da conservação, que persiste até hoje.

Bennett reconheceu o caráter mutável dos aspectos da natureza, especialmente nas variações produzidas pela erosão do solo; ajudou a criar e aplicar novas técnicas para a manutenção e aumento da produtividade do solo; demonstrou, por meio da análise de custos da erosão, que a conservação do solo era economicamente viável. E, acima de tudo, procurou mudar as metas e objetivos do uso da terra: de simples exploração, visando ao lucro, à administração de um recurso que pertence a toda a comunidade e que o indivíduo apenas tem o direito de usar.

Bennett (1933) foi um dos primeiros autores a visualizar a seriedade do problema, sistematizando, dessa forma, quais seriam os prejuízos gerados pela erosão do solo, inclusive os econômicos. Suas pesquisas buscaram alertar o Governo e os produtores rurais americanos sobre a importância das práticas conservacionistas do solo, estudos estes necessários frente a uma situação catastrófica, instaurada desde as primeiras décadas do século XX naquele país. Apresentando a economia gerada com as práticas conservacionistas do solo, bem como seu arcabouço teórico, convenceu o Estado a adotar políticas de incentivo à conservação do solo (BENNETT, 1940). Para ele, a conservação do solo era uma questão religiosa (de fé e ética) e econômica (de negócios e comparação entre investimentos e lucros). Seus esforços lhe conferiram o título de Pai da Conservação do Solo.

Em 1951, Baver enfatizou a seriedade dos problemas gerados pela erosão do solo, alertando o mundo todo. O pesquisador demonstrou a importância de se estudar os custos da erosão do solo, de forma contínua, buscando estabelecer uma base de dados internacional, que precisasse o montante total dessas perdas.

Para ele, esta era a forma mais eficiente de convencer os agricultores e a sociedade sobre o planejamento e a importância da conservação do solo.

Ainda no ano de 1951, foi desenvolvido nos Estados Unidos o sistema de capacidade de uso dos solos, proposto por Klingbiel e Montgomery (KLINGBIEL, 1958; KLINGBIEL; ONTGOMERY, 1961). Para eles, era importante investigar, para cada tipo de solo, a sua localização, extensão e adequação aos diversos usos. Esse trabalho foi de fundamental importância para a conservação do solo e compreensão dos padrões de organização do espaço agrícola, cada vez mais alterado pela ação do homem e pelo desenvolvimento tecnológico. Permitiu, inclusive, o planejamento das formas de utilização e ocupação, bem como a identificação dos efeitos do mau uso da terra.

Em 1965, com base em um grande volume de pesquisas e informações sobre os fatores do processo de erosão do solo, Wischmeier e Smith desenvolveram a Equação Universal de Perdas de Solo (USLE), um modelo para estimar as perdas de solo por erosão hídrica. Considerada um grande marco para o desenvolvimento da conservação do solo e da água, possibilitou e impulsionou a pesquisa e o controle da erosão do solo em várias partes do mundo (WISCHMEIER; MITH, 1978).

No Brasil a preocupação com o combate a erosão do solo data da década de 30, como resultado do esforço conjunto de pessoas e instituições de diversas partes do país.

O Instituto Agrônomo, localizado em Campinas, no estado de São Paulo, é a instituição brasileira com maior tradição e experiência em pesquisa nessa área. Desde 1943 realiza estudos em erosão do solo de forma contínua, sempre alertando sobre a necessidade de utilização dos manejos conservacionistas. João Quintilliano de Avellar Marques foi um dos pioneiros nesta instituição.

Marques et al. (1961) foram os primeiros pesquisadores brasileiros a associar a erosão do solo a questões de ordem econômica, estimando o custo-benefício entre o uso do solo e os retornos financeiros de sua conservação. Bertoni e Lombardi Neto (2008) também abordaram a importância econômica da conservação do solo.

No Nordeste brasileiro, Silva et al. (1985) buscaram relacionar os efeitos da erosão do solo à produtividade, demonstrando os efeitos da conservação do mesmo sobre as despesas e rendimentos dos agricultores.

O Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR) foi pioneiro na abordagem “direta” dos custos da erosão solo. Estes estudos geraram o livro “Controle da erosão no Paraná, Brasil” (DERPSCH et al., 1991) e o boletim técnico “Implicações econômicas da erosão do solo e do uso de algumas práticas conservacionistas no Paraná” (SORRENSON; NTOYA, 1989), além de diversos relatórios internos.

Marques (1998), pesquisador da Embrapa Meio Ambiente, utilizou as metodologias dos custos de reposição de nutrientes e da produção sacrificada para avaliar os efeitos *on-site* e *off-site* da erosão do solo em uma bacia hidrográfica do estado de São Paulo.

Rodrigues (2005) estudou os custos da erosão do solo comparando os sistemas plantio direto e convencional para as culturas de soja e milho, na região dos Cerrados, importante demonstração dos benefícios econômicos e sociais de práticas agrícolas que visam à conservação do solo.

Bertol et al. (2007) realizaram trabalho de valoração dos custos da erosão do solo através das perdas de água, solo e nutrientes em três sistemas de manejo e diferentes culturas, no sul do Planalto Catarinense.

Sarcinelli et al. (2009) realizaram um estudo sobre os custos e benefícios da adoção de práticas conservacionistas na microbacia do córrego Oriçanguinha.

A pesquisa tem avançado. É inegável o progresso técnico obtido na agricultura brasileira voltada ao controle da erosão do solo. Entretanto, ainda há muito a avançar e, por isso, pesquisa e desenvolvimento devem seguir em discussões interdisciplinares e obstinadas sobre a degradação do solo e seus custos para o produtor e para a sociedade.

2.6 OS EFEITOS DA EROSÃO DO SOLO

O processo erosivo leva à destruição gradativa das propriedades do solo (CASSOL; LIMA, 2003), pois, além das partículas, transporta nutrientes, matéria orgânica e defensivos agrícolas (BERTOL et al., 2007), impedindo ou retardando o desenvolvimento normal das plantas (PIERCE et al., 1984; OSTERMAN; ICKS,

1988; CHRISTENSEN; ELYEA, 1988; MONTGOMERY, 2007).

A erosão do solo é influenciada pelo clima, pelo solo, pela topografia, pelo uso e pelo manejo da terra. A influência do homem no ambiente, através das práticas agrícolas, acelera as ações erosivas, levando a grandes prejuízos (BENNETT, 1939; ZACHAR, 1982; MORGAN, 2005). Desta forma, o processo acelerado de erosão ocorre quando há alteração do equilíbrio natural entre a perda e a recuperação do solo, potencializando prejuízos, inclusive monetários (BENNETT, 1929, 1933).

As perdas de solo por erosão tendem a aumentar, no médio e longo prazo, os custos de produção, pois demandam cada vez mais corretivos e fertilizantes, reduzem o rendimento operacional das máquinas gerando gastos com as práticas para seu controle (URI, 2000; BERTONI; OMBARDI NETO, 2008). Esse conjunto de fatores resulta em redução do potencial produtivo do solo (TENBERG et al., 1998; KNOWLER, 2004) significando, em última análise, menor valor da terra (ERVIN; MILL, 1985; FLETCHER, 1985; HERTZLER et al., 1985; PALMQUIST; ANIELSON, 1989).

A erosão do solo provoca efeitos negativos tanto dentro (*on-site*) quanto fora (*off-site*) da unidade produtiva (Quadro 2.1), e esses efeitos têm consequências econômicas relevantes para os produtores e para a sociedade (BENNETT, 1935; PIMENTEL et al., 1995; URI, 1999, 2000, 2001).

On-site

- Perda de solo
- Perda de nutrientes
- Perda de matéria orgânica
- Perda da fertilidade química, física e biológica do solo
- Danos às plantações e benfeitorias
- Queda de produtividade
- Perda de produção
- Redução da área disponível para plantar
- Redução da renda do produtor

Off-site

- Sedimentação
- Assoreamento de lagos e rios
- Redução da capacidade dos corpos hídricos em receber água
- Alagamentos
- Enchentes
- Inundações
- Soterramentos
- Destruição de rodovias, ferrovias, hidrovias e outros bens públicos
- Obstrução das vias hidroviárias de navegação
- Eutrofização
- Perda de biodiversidade
- Limitações às atividades de recreação nos corpos d'água
- Redução da qualidade da água
- Prejuízos ao tratamento da água
- Prejuízos à geração de energia elétrica
- Redução da oferta de alimentos
- Aumento do preço dos alimentos

Quadro 2.1 – Relação de perdas *on-site* e *off-site* geradas pela erosão do solo Fonte: elaborado a partir de Clark (1985), Pimentel et al. (1995), Uri (2001) e Crosson (2007).

Os efeitos *on-site* atingem diretamente as terras agricultáveis através, principalmente, da perda, desestruturação e redução da matéria orgânica e de nutrientes do solo. Também, levam a uma diminuição da profundidade dos solos cultiváveis e da umidade disponível para as plantas. Como consequência, há uma limitação quanto o que pode ou não ser cultivado, além disso, resulta no aumento das despesas com fertilizantes para manutenção da produtividade (COLACICCO et al., 1989; MORGAN, 2005). Este entrave apresenta como efeito a instabilidade na produção de alimentos, o aumento dos preços dos produtos derivados de commodities (BAVER, 1951; FLETCHER, 1985), a desvalorização no valor das terras e, até mesmo, seu abandono (FLETCHER, 1985; PALMQUIST; ANIELSON, 1989; TEGTMEIER; UFFY, 2004). O declínio no valor das terras, por sua vez, pode gerar uma desvalorização imobiliária generalizada (ERVIN; MILL, 1985). Existem, também, outros impactos ligados à produção, como: gastos adicionais com irrigação;

custos de replantio; perdas de investimentos em sistemas de produção melhorados, que se tornam ineficientes em solos com erosão acelerada; e custos com mão-de-obra, necessária para reparar os danos gerados pela erosão do solo. Além disso, as pessoas que vivem das atividades rurais, quando sujeitas à processos contínuos de erosão do solo, gradativamente empobrecem.

Nas áreas onde a erosão limita ou inviabiliza a produção, o trabalho no campo deixa de compensar o esforço e os investimentos, assim, famílias e trabalhadores rurais acabam migrando para os centros urbanos, que por sua vez, recebem uma mão-de-obra, muitas vezes, despreparada para outro tipo de trabalho que não aquele ligado ao campo, dando origem a bolsões de pobreza (SANTOS, 2005), que passam a demandar assistência governamental para sua sobrevivência. Estabelece-se, de fato, uma verdadeira desorganização econômico-social.

Os efeitos *off-site* surgem, principalmente, da sedimentação, pois esta reduz a capacidade de rios e valas de drenagem, aumenta o risco de inundações, bloqueia canais de irrigação e encurta a vida útil das represas (FORSTER et al., 1987; ROBERTSON; COLLETTI, 1994; PIMENTEL et al., 1995; URI, 2001). Muitas hidrelétricas e projetos de irrigação foram abandonados em consequência da erosão (CROWDER, 1987; COLACCICO et al., 1989). Os sedimentos são poluentes, pois carregam consigo produtos químicos podendo aumentar os níveis de nitrogênio e fósforo nos corpos d'água, resultando em eutrofização, aumento no custo da geração de energia elétrica e da captação de água para o abastecimento urbano e redução de recursos hídricos para regiões que necessitem de projetos de irrigação (PIMENTEL; KOUNANG, 1998). Ainda, por meio do processo de degradação dos solos e de seus agregados, é liberado o CO₂ na atmosfera (LAL, 2007; SALVATI; ZITTI, 2009).

Assim, todos esses efeitos podem ser expressos em custos.

2.7 Os Custos

As estimativas dos custos da erosão do solo vêm sendo realizadas, em diversas partes do mundo, desde o início do século XX. Estes valores são apresentados nas Tabelas 2.1.

As primeiras estimativas dos custos da erosão do solo foram

realizadas por Bennett (1933), nos Estados Unidos. Preocupado com as conseqüências dos efeitos da erosão do solo naquele país, o pesquisador utilizou informações sobre os custos da erosão do solo para indicar aos produtores, sociedade e governo a necessidade e importância de se adotar as práticas de manejo conservacionista. Desta maneira, convenceu a nação a proclamar a erosão do solo como uma ameaça nacional.

Os estudos de Bennett consistiram inicialmente no levantamento das perdas de solo, expressas pelo decréscimo de matéria orgânica, nutrientes e produtividade. O autor usou uma aproximação dos gastos com reposição de nutrientes em equivalentes de fertilizantes comerciais para estimar os custos da erosão. Desta forma, os cálculos representavam a quantidade de fertilizantes que o produtor precisava aplicar nas culturas para compensar os nutrientes carregadas pela erosão.

Os procedimentos metodológico-científicos não foram delineados nos moldes atuais, isto porque os trabalhos de Bennet assumiram uma conotação político-legislativa. Talvez, por isso, a iniciativa do pesquisador em estudar os custos da erosão não gerou grande interesse por parte da academia. Estes estudos se tornaram quase que tarefa exclusiva do Serviço de Conservação do Solo, nos Estados Unidos, até meados de 1960. Contudo, ele desenvolveu grande parte dos conceitos sobre perdas e custos *on e off-site* do processo de erosão.

Os avanços nas estimativas dos custos da erosão do solo foram observados após o desenvolvimento do sistema de capacidade de uso dos solos (KLINGBIEL, 1958; KLINGBIEL; MONTGOMERY, 1961) e da Equação Universal de Perdas de Solo – USLE (WISCHMEIER; SMITH, 1978).

A maioria dos trabalhos apresentados na Tabelas 2.1 utilizou a USLE para calcular as perdas de solo, para posteriormente mensurar outros danos gerados pela erosão. Eles estabeleceram um custo por tonelada de solo carregado considerando um valor para o mesmo através das perdas de matéria orgânica e nutrientes. Alguns autores calcularam a perda de N e P (STOCKING, 1988; COLACICCO et al., 1989), outros incluíram também o K (MARQUES et al., 1961; LARSON et al., 1983; CROSSON, 1986; TROEH et al., 1991; PIMENTEL et al., 1995; HEIN, 2007; MONTANARELLA, 2007), e após, foram incluídos ainda Mg e Ca (SORRENSON; MONTOYA, 1989; MARTIN et al., 1991; MARQUES, 1998; RODRIGUES, 2005; BERTOL et al., 2007; SARCIANELLI et al., 2009).

Tabela 2.1 – Estimativas dos custos da erosão do solo em dólares ao ano.

REFERÊNCIA	ÁREA DE ESTUDO	ESTIMATIVA (em dólares ao ano)	CUSTOS	PERDAS
Bennett, 1933	USA	400.10 ⁶	<i>on-site</i>	Nutrientes
Marques et al., 1961	Brasil, São Paulo	27 a 1,5.10 ^{3**}	<i>on-site</i>	Solo (3 bilhões de t ano ⁻¹) Nutrientes (N, P e K) Produtividade
Larson et al., 1983	USA	500.10 ⁶ a 1.10 ⁹	<i>on-site</i>	Solo (0,9 a 26,6 t ha ⁻¹ ano ⁻¹) Matéria orgânica Nutrientes (N, P e K)
Hitzhusen et al., 1984	USA	1.10 ⁹ a 3.10 ⁹	<i>off-site</i>	Drenagem Tratamento de água
Clark, 1985	USA	1.10 ⁹ a 13.10 ⁹	<i>off-site</i>	Sedimentos
Huszar ; Piper, 1986	USA, New México	466.10 ⁶	<i>off-site</i>	Solo (6 a 100 t ha ⁻¹ ano ⁻¹)
Crosson, 1986	USA	1,7.10 ⁹ a 1,8.10 ⁹	<i>on-site</i>	Nutrientes Produtividade Controle da erosão
Stocking, 1986	Zimbabwe	117.10 ⁶	<i>on-site</i>	Solo (50 t ha ⁻¹ ano ⁻¹)
Crowder, 1987	USA	597.10 ⁶ a 819.10 ⁶	<i>off-site</i>	Sedimentos
Moore; Carl, 1987	USA, Willamette Valley	55.10 ³	<i>off-site</i>	Sedimentos
Stocking, 1988	Zimbabwe	1,5.10 ⁹	<i>on-site</i>	Nutrientes (N e P)
Bishop; Ien, 1989	Mali	29.10 ³ a 112.10 ³	<i>on-site</i>	Solo (6.5 t ha ⁻¹ ano ⁻¹)
Colacicco et al., 1989	USA	5.10 ⁶ a 1,2.10 ⁹	<i>on-site</i>	Matéria orgânica Nutrientes (N e P) Produtividade Solo (8 a 32 milhões de acres ano ⁻¹)
Magrath;rens, 1989	Indonésia, Java	340.10 ⁶ a 406.10 ⁶	<i>on-site</i>	Produtividade
Ribaudo et al., 1989	USA	7.10 ⁹	<i>off-site</i>	Armazenamento e distribuição de água Enchentes Irrigação Navegação Pesca comercial Recreação Tratamento da água
Sorrenson; Montoya, 1989	Brasil, Paraná	242.10 ⁶ a 30.10 ⁹	<i>on-site</i>	Nutrientes (N, P, K, Ca e Mg) Solo (20 t ha ⁻¹ ano ⁻¹)
Martin et al., 1991	Brasil, São Paulo	212.10 ⁶	<i>on-site</i>	Nutrientes (N, P, K, Ca e Mg)
Troeh et al., 1991	USA	20.10 ⁹	<i>on-site</i>	Nutrientes (N, P e K)
Margulis, 1992	México	500.10 ³	<i>on-site</i>	Produtividade (milho, soja e trigo) Solo (10 a 15 t ha ⁻¹ ano ⁻¹)

Boj6; Cassells, 1995	Ethiopia	130.10 ⁶	<i>on-site</i>	Solo (42 t ha ⁻¹ ano ⁻¹)
Pimentel et al., 1995	USA	44.10 ⁹	<i>on-site</i> <i>off-site</i>	6gua Mat6ria org6nica Nutrientes (N, K e P) Produtividade Solo (17 t ha ⁻¹ ano ⁻¹) Sedimentos
Steiner et al., 1995	USA	120.10 ³ a 330.10 ³	<i>off-site</i>	Sedimentos
Marques, 1998	Brasil, S6o Paulo	151.10 ³ a 258.10 ⁶	<i>on-site</i> <i>off-site</i>	Nutrientes (N, P, K, Ca e Mg) Solo (9,6 t ha ⁻¹ ano ⁻¹) Assoreamento
Pretty et al., 2000	UK	156.10 ⁶	<i>on-site</i> <i>off-site</i>	Mat6ria org6nica e CO ₂ (1,42 t de C ha ⁻¹ ano ⁻¹) Sedimentos
Uri, 2000	USA	37,6.10 ⁹	<i>off-site</i>	Sedimentos (5,5 t ha ⁻¹ ano ⁻¹)
Hansen et al., 2002	USA	5 ^{***}	<i>off-site</i>	Navega66o
Riksen; Graaff, 2001	EU (4 membros)	60,36 ^{**}	<i>on-site</i>	Produtividade (beterraba a6ucareira e colza)
Tegtmeier ; Duffy, 2004	USA	2,2.10 ⁹ a 13,3.10 ⁹	<i>off-site</i>	Sedimentos (958 milh6es t ano ⁻¹)
Rodrigues, 2005	Brasil, Goi6s	38,39 a 165,73 ^{**}	<i>on-site</i> <i>off-site</i>	Nutrientes (N, P, K, Ca e Mg) Produtividade (milho e soja) Solo (1,1 a 4,4 t ha ⁻¹ ano ⁻¹) Sedimentos
Cohen et al., 2006	Kenya	390.10 ⁶	<i>on-site</i> <i>off-site</i>	Macroecon6mica
Montanarella, 2007	EU (25 membros)	45,4.10 ⁹	<i>on-site</i> <i>off-site</i>	Mat6ria org6nica Nutrientes Solo (0,5 a 10 t ha ⁻¹ ano ⁻¹) Sedimentos
Bertol et al., 2007	Brasil, Santa Catarina	14,83 a 24,94 ^{**}	<i>on-site</i>	Nutrientes (N, P, K, Ca e Mg) Solo (1,04 a 8,9 t ha ⁻¹ ano ⁻¹)
Hein, 2007	Espanha, Puentes	5,12 a 66,54 ^{**}	<i>on-site</i>	Nutrientes (N, P e K) Solo (7,1 a 206,9 t ha ⁻¹ ano ⁻¹)
Sarcinelli et al., 2009	Brasil, S6o Paulo	28,32 a 72,65 ^{**}	<i>on-site</i>	Nutrientes (N, P, K, Ca e Mg)
Kuhlman et al., 2010	EU (25 membros)	165,85 a 409,10 ^{**}	<i>on-site</i>	Solo (0,5 t a 10 t ha ⁻¹ ano ⁻¹)

^{**} por hectare, ^{***} por tonelada de solo erodido, respectivamente. Todos os valores das estimativas dos custos da eros6o do solo foram convertidos em d6lares americanos, utilizando-se a taxa de c6mbio da data de refer6ncia de cada pesquisa.

Os custos foram avaliados em diferentes escalas geográficas. Parte dos trabalhos mais importantes, embora generalistas, realizou suas estimativas para blocos econômicos e países. Nestes trabalhos os autores, normalmente, utilizaram dados secundários sobre perdas de solo, nutrientes e produtividade, para determinar o custo médio da erosão por hectare e, de posse destes dados, extrapolar para toda área agricultável de uma determinada região (BENNETT, 1933; LARSON et al, 1983; CROSSON, 1986; STOCKING, 1986, 1988; BISHOP; ALLEN, 1989; COLACICCO et al., 1989; TROEH et al., 1991; MARGULIS, 1992; BOJÖ; CASSELLS, 1995; PIMENTEL et al., 1995; PRETTY et al., 2000; URI, 2000; RIKSEN; GRAAFF, 2001; HANSEN et al., 2002; COHEN et al., 2006; MONTANARELLA, 2007; KUHLMAN et al., 2010). A grande limitação desses estudos é, em muitas das vezes, a supressão de peculiaridades regionais de cada espaço geográfico, como os diferentes tipos de solo. Desta forma, embora impactantes, estes trabalhos são metodologicamente menos precisos.

Outros realizaram suas pesquisas em estados, municípios e, principalmente, bacias hidrográficas (MARQUES et al., 1961; HUSZAR; PIPER, 1986; MOORE; McCARL, 1987; MAGRATH; ARENS, 1989; SORRENSON; MONTOYA, 1989; MARTIN et al., 1991; MARQUES, 1998; RODRIGUES, 2005; BERTOL et al., 2007; HEIN, 2007; SARCINELLI et al., 2009). Esses trabalhos são metodologicamente mais precisos e consideram todos os fatores da USLE.

Um outro procedimento para o cálculo dos custos da erosão consiste nas perdas de produtividade das commodities de maior importância econômica, de determinada região, como por exemplo: café, cana-de-açúcar, milho, soja e trigo. Através das taxas de perdas de produtividade, obtidas por regressão, os autores calcularam os custos através da renda que o produtor deixou de auferir (MARQUES et al., 1961; CROSSON, 1986; COLACICCO et al., 1989; MAGRATH; ARENS, 1989; MARGULIS, 1992; PIMENTEL et al., 1995; RIKSEN; GRAAFF, 2001; RODRIGUES, 2005). No entanto, não se pode atribuir a perda de produtividade apenas a erosão, pois, outras variáveis também contribuem para que isso ocorra.

Crosson (1995), Pimentel e Kounang (1998) e Pimentel et al. (1999) apontaram, ainda, as perdas biológicas do solo como custos associados ao processo erosivo, pois, embora sua mensuração seja incipiente e imprecisa, ao se tentar determinar os custos totais da erosão do solo, estes precisariam ser contabilizados.

Após o estabelecimento das práticas conservacionistas ao redor do mundo, muitas pesquisas buscaram apresentar os custos da erosão do solo em relação ao sistema de manejo, sendo esta uma forma de confirmar que essas minimizam os efeitos do processo erosivo e são, além de mais econômicas, mais lucrativas (URI; LEWIS, 1998; RODRIGUES, 2005; BERTOL et al., 2007; HEIN, 2007; KUHLMAN et al., 2010).

Os custos *off-site* foram estimados de formas diversas. Contudo, as principais externalidades estão ligadas a sedimentação (CLARK, 1985; HUSZAR; PIPER, 1986; CROWDER, 1987; PIMENTEL et al., 1995; STEINER et al., 1995; MONTANARELLA, 2007). Nesse caso os pesquisadores determinam, com base na USLE, o montante potencial de sedimentos que atingem os corpos d'água, assim, seus custos podem ser estimados, por exemplo, quando atingem as hidroelétricas ou estações de tratamento de água, pelo aumento dos gastos com a geração de energia elétrica (MARQUES, 1998) e de tratamento da água (HITZHUSEN et al., 1984). Também podem ser realizadas por meio dos custos operacionais do desassoreamento dos recursos hídricos (HITZHUSEN et al., 1984; MARQUES, 1998), já que esse potencializa prejuízos à irrigação, navegação, recreação e armazenamento e distribuição de água (RIBAUDO et al., 1989; HANSEN et al., 2002), além de enchentes e inundações, sendo que esses são calculados através das despesas com os reparos dos danos nas áreas atingidas por estes fenômenos. Além disso, os custos *off-site* podem ser determinados pelo aumento no preço das commodities agrícolas, que tem por conseqüência instabilidades macroeconômicas (ALFSEN et al., 1996; COHEN et al., 2006).

Desta forma a operacionalização dos custos *off-site* é feita pela agregação dos gastos efetuados na reparação dos efeitos negativos provocados por algum distúrbio na produção ou pelo benefício gerado pela reparação de um dano.

O custo da erosão não depende apenas da quantidade física de terra perdida, mas dos efeitos econômicos dessas perdas. De certa forma, os dados físicos dão a grandeza qualitativa do processo erosivo, mas não são suficientes para indicar as medidas econômicas de seus impactos. A idéia principal é conhecer o montante do valor das perdas

Diante desse cenário, reconhece-se a urgência de prevenir e controlar os processos de degradação do solo. Para tanto, as informações sobre os custos da erosão são de fundamental importância, principalmente em países em

desenvolvimento que, normalmente, tem grande dependência econômica no setor agropecuário.

2.8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O processo de erosão não gera, somente, perdas físicas, químicas e biológicas, mas também, financeiras. Nos Estados Unidos os custos com a erosão do solo foram estimados em 44 bilhões de dólares ao ano e no Brasil chegam a 30 milhões de dólares ao ano. Os valores das estimativas dos custos da erosão do solo variam de 5 dólares por tonelada de solo erodido para navegação à 45,4 bilhões de dólares ao ano na União Européia em razão dos efeitos decorrentes da perda de fertilidade do solo e da sedimentação dos recursos hídricos.

Nesta perspectiva, surge a necessidade de técnicas de cultivo que considerem os impactos ambientais (conservacionistas), que causam menor desgaste do solo, reduzindo os efeitos da erosão. Além disso, as práticas conservacionistas causam uma redução, a médio e longo prazo, dos custos on e *off-site* da erosão solo, sendo de interesse público e privado, estando em consonância com os pressupostos da sustentabilidade da atividade agrícola.

As estimativas dos custos da erosão do solo auxiliam os agentes econômicos na tomada de suas decisões sobre a conservação do solo, e permitem ao governo visualizar a necessidade de implantação ou implementação de políticas públicas com o objetivo de garantir a sustentabilidade das atividade econômicas.

3 ARTIGO B – AVALIAÇÃO DOS CUSTOS DA EROSÃO DO SOLO

3.1 RESUMO E ABSTRACT

RESUMO

O solo é um recurso natural importante para a humanidade. Entretanto, é manejado e utilizado, muitas vezes, de forma inadequada, resultando na erosão. A erosão do solo traz uma série de conseqüências negativas, dentre elas as econômicas. O objetivo deste trabalho é apresentar, por meio da definição dos efeitos da erosão do solo, um modelo teórico para avaliação dos seus custos, tendo em conta que a limitação de informações sobre os prejuízos econômicos gerados pelo processo erosivo dificulta uma avaliação mais precisa dos custos gerados pelo processo erosivo. Apesar de difícil e pouco usual, a valoração econômica dos efeitos da erosão do solo tem grande importância para a sociedade, permitindo a conscientização da necessidade de implantação de políticas que incentivem a adoção de práticas de manejo conservacionistas.

Palavras-chave: Degradação do solo. Perda de solo. Conservação do solo.

ASSESSMENT THE COST OF SOIL EROSION

ABSTRACT

The soil is a natural resource very important for the humanity. However, many times it is used and managed inappropriately, leading to degradation. The erosion of the soil has a series of negative consequences, and one of them is the economic one. The objective of this work is to present, thru the definition of the effects of the soil erosion, on a teorical model that allows the measurement of the costs, taking into account that the limited data about the economic losses generated by the erosion process makes a more accurate assessment of the costs generated by the erosive process. Although difficult and unusual, economical assessment of the effects of soil erosion is of great importance to society, allowing awareness of the need to implement policies that encourage the adoption of conservation management practices.

Keywords: Soil degradation. Soil losses. Soil conservation.

3.2 INTRODUÇÃO

Um dos recursos naturais mais importantes para a humanidade é o solo. Recurso estratégico, limitado, com grande importância social, econômica e ambiental. Entretanto, sua utilização em atividades agropecuárias, quando inadequadas, pode levar a erosão, e limitar a sua capacidade produtiva (BENNETT, 1935; LAL, 2006; CASSOL; LIMA, 2003; SPAROVEK; DE MARIA, 2003).

A erosão do solos agrícolas rompe o equilíbrio natural, tendo por consequência a diminuição do potencial produtivo das terras (PIMENTEL et al., 1995; CROSSON, 1995); perda das camadas superiores do solo (COLLACCICO et al., 1989; CASSOL; LIMA, 2003; BERTOL et al., 2007); perda da fertilidade do solo (BERTOL et al., 2007; CROSSON, 2007; URI, 2000); declínio da produção por unidade de insumos aplicados (PIMENTEL et al., 1995; BERTOL et al., 2007); perda de receitas e lucros do agricultor (PIMENTEL et al., 1995; GARDNER; BARROWS, 1985); em casos extremos, o declínio ou o colapso da atividade agrícola (LAL, 2006); perda de valor das terras agrícolas (GARDNER; BARROWS, 1985); poluição dos recursos hídricos (CLARK, 1985); destruição de recursos hídricos e do patrimônio público, como estradas e pontes (PIMENTEL et al., 1995; CROSSON, 1995; MARQUES, 1998); alagamento de terras e assoreamentos (CLARK, 1985; PIMENTEL et al., 1995; MARQUES, 1998); e êxodo rural (GARDNER; BARROWS, 1985).

Conceitos básicos sobre a erosão do solo são utilizados com diferentes denotações por diversos autores, e a maioria das definições se referem às mudanças na qualidade deste recurso, apresentando focos variados: químicos (BENNETT, 1935; BERTOL et al., 2007), físicos (BENNETT, 1935; CASSOL; LIMA, 2003), biológicos (CROSSON, 1995), socioeconômicos (PIMENTEL et al., 1995; CROSSON, 1995; BOARDMAN, 2006), histórico (BENNETT, 1935; BOARDMAN, 2006) e político (LAL, 2006; BOARDMAN, 2006).

Os custos da erosão do solo podem ser divididos em *on-site* (direto ou interno – produtor), consistem nas perdas que ocorrem na propriedade agrícola; e *off-site* (indireto ou externo – sociedade), perdas que ocorrem fora da propriedade agrícola e que atingem toda a sociedade (PIMENTEL et al., 1995; CROSSON, 1995; MARQUES, 1998)

Cada perda adicional, decorrente da erosão do solo, impõe valores aditivos, gerando custos marginais para a sociedade. A sociedade se responsabilizará pelas perdas econômicas internas e externas da degradação do solo. Isto porque, os custos marginais privados serão transferidos pelos produtores para os consumidores no preço dos produtos agrícolas. E os custos marginais sociais serão transferidos a todos os cidadãos (MARQUES, 1998). O resultado é uma perda de bem-estar social.

Por meio de práticas conservacionistas, que controlem a erosão, estes custos podem ser minimizados, garantindo a sustentabilidade dos sistemas de produção (LAL, 2006; MONTGOMERY, 2007).

Assim, o objetivo deste trabalho é apresentar, por meio da definição dos efeitos da erosão do solo, um modelo teórico para avaliação dos seus custos.

3.3 AS METODOLOGIAS DE VALORAÇÃO DOS CUSTOS DA EROSÃO DO SOLO

O processo de erosão dos solos tem basicamente dois tipos de efeitos: *on-site* (Quadro 3.1) e *off-site* (Quadro 3.2). O principal desafio é valorar esses efeitos e responder aos agentes econômicos quais são os reais prejuízos causados pela erosão.

Para tanto, diferentes variáveis e metodologias vem sendo testadas em diversos países, de acordo com a disponibilidade de informações, numa tentativa de incluir o solo como *proxy* nas relações econômicas e sociais (STROOSNIJDER, 2005; BOARDMAN, 2006).

Bennett (1929, 1933, 1935, 1939, 1940, 1955), Pimentel et al. (1995) e Uri (2000, 2001) estão entre os mais importantes pesquisadores que se dedicaram a estudar os custos da erosão *on-site* (por meio das perdas de nutrientes e produtividade) e *off-site* (através das externalidades geradas).

Os custos *on-site* podem ser calculados pelo custo de reposição de nutrientes, avaliando-se a quantidade física de erosão associada à perda de nutrientes do solo carregada neste processo – normalmente os macronutrientes: cálcio, fósforo, magnésio, nitrogênio e potássio – calculada com base nos preços de mercado dos fertilizantes comerciais e na quantidade necessária para repor os

nutrientes perdidos, além do seu custo de aplicação. Podem ser contabilizados pela produção sacrificada, ou seja, pela redução na produtividade em consequência das limitações do solo, computada através da redução dos lucros. E, em casos mais graves, pode-se ainda considerar a desvalorização do preço da terra.

A valoração da erosão, com base no conceito de reposição de nutrientes, é considerada como uma variável do valor do bem ou serviço (HARTWICK, 1977). Entretanto, este tipo de abordagem não mede os danos sobre outros bens e serviços ambientais, como perdas da biodiversidade, nem os demais efeitos decorrentes do processo erosivo, que afetam outras partes do ecossistema como, por exemplo, a qualidade dos recursos hídricos (STEVENS et al., 1991). No Brasil, utilizaram-se desta metodologia Marques (1998), Rodrigues (2005), Bertol et al. (2007) e Sarcinelli et al. (2009).

Já o valor da produção sacrificada, que representa o custo econômico da oportunidade de uso do solo, normalmente, não incorpora os custos associados às questões intertemporais, que consideram a disponibilidade dos recursos naturais para gerações futuras. Para tal, seria necessário estimar os impactos econômicos futuros, no caso dos recursos não renováveis, o que exigiria uma gama variada de informações pouco disponíveis. Assim, sempre que tais custos diretamente estimados representarem pequena parte dos custos totais, não autorizando uma tomada de decisões, outros procedimentos metodológicos devem ser adotados (WALKER, 1982; VAN KOOTEN et al., 1990), além disso, a perda de produtividade não é devida unicamente ao processo de erosão. No Brasil, entre os pesquisadores que empregaram esta metodologia, podemos citar Marques et al. (1961), Silva et al. (1985), Sorrenson e Montoya (1989) e Derpsch et al. (1991).

Para calcular os custos a partir da desvalorização da terra seria necessária a utilização de uma série histórica ampla e consistente sobre o preço das terras, dificultando a aplicação desta metodologia (FLETCHER, 1985; ERVIN; MILL, 1985; HERTZLER et al., 1985; PALMQUIST; DANIELSON, 1989).

Hertzler et al. (1985), realizaram um estudo sobre o custo do uso do solo, com base numa função generalizada de Leontief, dividido em duas partes: as perdas de nutrientes e a degradação física do solo. As estimativas foram feitas por meio das informações sobre o rendimento anual da cultura, a profundidade inicial do solo, a umidade média anual do solo, o estoque de nutrientes, a taxa de erosão, o estoque anual remanescente de nutrientes na camada superficial suscetível à

erosão e o preço dos fertilizantes.

Pimentel et al. (1995) e Uri (2000, 2001) estimaram os custos da erosão considerando, além das perdas de nutrientes, variáveis como tipo de manejo e perda de produtividade e qualidade dos produtos agrícolas, bem como seus custos *off-site*, estendendo suas estimativas para todo o território americano.

DANOS	AUTOR
Reposição de nutrientes	Crosson, 1985 e 2007 Colacicco et al., 1989 Pimentel et al., 1995 Marques, 1998 Rodrigues, 2005 Bertol et al., 2007
Produção sacrificada	Pimentel et al., 1995 Tenberg et al., 1998 Uri, 1999, 2000 e 2001 Knowler, 2004
Desvalorização do preço das terras	Ervin & Mill, 1985 Fletcher, 1985 Hertzler et al., 1985 Palmquist & Danielson, 1989 Michelon & Reidon, 2006

Quadro 3.1 – Autores que estudaram danos para estimar custos *on-site* da erosão do solo

Os efeitos *off-site* são muitos, estão relacionados, fundamentalmente, aos processos de sedimentação e assoreamento dos recursos hídricos, e causam sérios desdobramentos para sociedade como: aumento no custo de geração de energia elétrica (CLARK, 1985; MARQUES, 1998), aumento no custo da captação e tratamento de água para o abastecimento urbano, redução da disponibilidade de recursos hídricos para regiões que necessitam de projetos de irrigação, manutenção de estradas e, em última instância, socorro às vítimas de catástrofes naturais (CLARK, 1985). O processo de erosão do solo impõe à sociedade a obrigação de arcar com despesas de prevenção, reparação e repressão. Os custos, neste caso, são pagos pelo Estado e absorvidos pelos contribuintes.

As avaliações econômicas dos efeitos *off-site*, em sua maioria, analisam os efeitos da sedimentação de reservatórios que, por sua vez, são geralmente estimados em termos da redução na geração de hidroeletricidade e suplemento de água para irrigação (QUADRO 3.2).

DANOS	AUTOR
Assoreamento	Clark, 1985 Crosson, 1985 e 2007 Pimentel et al., 1995 Marques, 1998 Uri, 1999, 2000 e 2001 Montanarella, 2007
Enchentes	Forster et al., 1987 Robertson & Colletti, 1994 Pimentel et al., 1995 Uri, 2001 Montanarella, 2007
Tratamento de água	Clark, 1985 Marques, 1998 Montanarella, 2007
Geração de energia elétrica	Clark, 1985 Crowder, 1987 Colaccico et al., 1989 Marques, 1998 Montanarella, 2007
Reparação do patrimônio público	Clark, 1985 Marques, 1998 Montanarella, 2007
Perdas biológicas	Clark, 1985 Pimentel et al., 1995 Crosson, 1995 Pimentel e Kounang, 1998
Aquecimento global	Lal, 2007 Montanarella, 2007 Salvati & Zitti, 2009
Calamidade pública	Lal, 2006
Aumento no preço dos alimentos	Baver, 1951 Fletcher, 1985 Alfsen et al., 1996 Bandara et al., 2001 Pimentel, 2006 Montanarella, 2007

Quadro 3.2 – Autores que estudaram danos para estimar custos *off-site* da erosão do solo

Para uma análise mais precisa e completa dos custos da erosão, os efeitos *off-site* devem ser incluídos. Se não forem passíveis de quantificação, devem ser, ao menos, listados.

Os impactos econômicos da erosão e conservação do solo podem ser, assim, avaliados por meio de análises financeiras e de custo-benefício. Os estudos podem ser empregados, utilizando-se uma ou ambas as formas de análises, em escala local (unidade produtiva ou bacia hidrográfica), municipal, estadual, regional ou nacional. Sua aplicação pode ser feita para verificar os efeitos *on-site* e/ou *off-site*.

3.4 O MODELO

A partir da revisão da literatura foi determinado um modelo para estimar os custos gerados pela erosão do solo, expresso por:

$$C = C_{\text{ON-SITE}} + C_{\text{OFF-SITE}} \quad [3.1]$$

onde: C são os custos totais da erosão do solo, em função da soma de seus custos *on-site* e *off-site*.

A perda de solo e nutrientes decorrente da erosão do solo, são estimadas, principalmente, pela Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS) (WISCHMEIER & SMITH, 1965, 1978). E, embora, os custos *on-site* representem prejuízos, principalmente em termos de reposição de nutrientes do solo e produção sacrificada, é possível, determinar com maior precisão, apenas, os custos relacionados aos valores do teor médio de nutrientes carreados junto à carga de sedimentos, pois a redução da produtividade está associada a outros fatores. Desta forma, os custos *on-site* podem ser calculados através da equação:

$$C_{\text{ON-SITE}} = \alpha + \beta \left(\sum_{i=1}^N (Q_i \cdot P_i) \right) + \varepsilon \quad [3.2]$$

sendo: $C_{\text{ON-SITE}}$ os custos *on-site* da erosão do solo; α um parâmetro da função; β a inclinação da função; Q_i a quantidade de nutrientes carreados pela erosão do solo; P_i o preço dos fertilizantes; i os diferentes nutrientes; N o número de nutrientes a serem avaliados; Q_j a quantidade produzida em sistema com erosão do solo (calculada pela diferença entre a produção esperada e a produção observada em decorrência da erosão); P_j o preço da produção agrícola; j um intervalo de tempo; e ε o erro. Neste modelo, consideraram-se as condições ideais de produção.

Essas variáveis representam o conjunto de efeitos *on-site* causado pela erosão do solo, podendo ser incluídos, ainda, os custos operacionais de reaplicação dos fertilizantes necessários para suprir os nutrientes carreados pelo escoamento superficial e a redução do valor das terras erodidas.

A perda do valor das terras agrícolas, em função do processo erosivo, decorre de dois fatores: perda da capacidade produtiva do solo, que implica em queda nos rendimentos, já que o produtor terá um custo mais elevado na aplicação de fertilizantes (BERTOL et al., 2007); e alto custo para a recuperação das áreas já degradadas, expresso não apenas por valores monetários, mas também, pelo fator tempo (TRIMBLE; CROSSON, 2000).

A perda de solo determinada pela EUPS também auxilia a visualização dos problemas *off-site*, desencadeados pelo processo erosivo. Isto porque, permite determinar o volume de sedimentos carreados que impactam diretamente sobre os recursos hídricos. Neste caso, as estimativas podem ser representadas pelo aumento dos custos operacionais no tratamento de água, geração de energia elétrica e reparação dos danos ao patrimônio público, como pontes, estradas e desassoreamento de rios e lagos.

Os impactos dos efeitos *off-site* são muitos, e estimar, neste caso, os custos associados ao processo de erosão, depende de um grande volume de informações, nem sempre disponíveis, principalmente nos países em desenvolvimento (JHA; WHALLEY, 2001; CROSSON, 2007), assim temos que:

$$C_{\text{OFF-SITE}} = \alpha^* + \beta^* \left(\sum_{i=1}^N E_i \right) + \varepsilon \quad [3.3]$$

onde: $C_{\text{OFF-SITE}}$ os custos *off-site* da erosão do solo; α^* é o parâmetro da função; β^* é a inclinação da função; E os custos gerados pelas externalidades do processo de erosão do solo; i as diferentes externalidades e ε o erro. No entanto, o modelo fica limitado às variáveis disponíveis.

Mas, para uma primeira tentativa de estimar os custos *off-site* da erosão do solo, pode-se considerar os custos gerados para a retirada dos sedimentos dos corpos d'água, neste caso a equação seria:

$$C^*_{\text{OFF-SITE}} = \alpha^{**} + \beta^{**} [(E_{\text{SEDIMENTOS}})(V)] + \varepsilon \quad [3.4]$$

onde: $C^*_{\text{OFF-SITE}}$ os custos *off-site* da erosão do solo gerados para a retirada dos sedimentos dos corpos d'água; α^{**} um parâmetro de distribuição da função ; β^{**} o

parâmetro de inclinação da curva; $E_{\text{SEDIMENTOS}}$ os custos gerados pelo processo de remoção de sedimentos do corpos d'água, por tonelada; V o volume de sedimentos removidos dos corpos d'água; e ϵ o erro.

3.5 DISCUSSÃO

A Figura 3.1 (adaptada de PYNDICK; RUBINFELD, 2001) apresenta a consequência dos custos da erosão do solo. Nesta, a curva ascendente C' representa os custos da produção agrícola, expressos em termos da quantidade de trabalho e insumos necessários para o cultivo. D representa a procura por produtos agrícolas e equivale aos benefícios sociais marginais. C representa os custos da erosão do solo, expresso pela Equação 3.1, ou seja, a somatória dos custos *on-site* e *off-site*. O preço e a produção são referentes as *commodities* agrícolas.

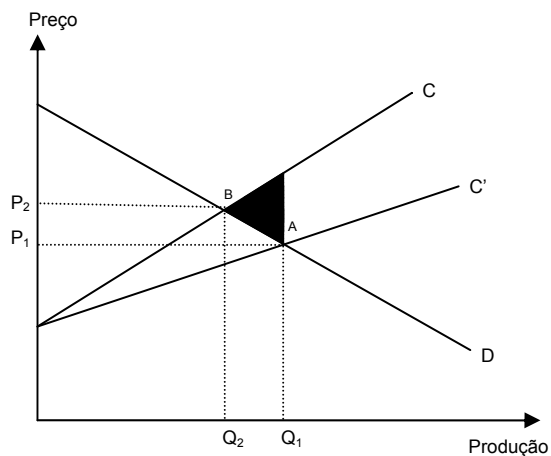


Figura 3.1 – Alterações nos preços e na produção gerados pelos custos da erosão do solo.

C' – custos da produção agrícola; C – custos da erosão do solo; D – procura por produtos agrícolas; P – preço das *commodities* agrícolas; Q – produção das *commodities* agrícolas.

Para o produtor, as perdas geradas pela erosão do solo podem ser computadas como o custo marginal social, que é maior que o seu custo marginal de produção. Inicialmente o agricultor maximiza seus lucros em C' , produzindo na quantidade Q_1 ao preço P_1 , igual ao custo marginal. Entretanto, com o processo de erosão, haverá uma redução da fertilidade e da capacidade produtiva do solo, pressionando o produtor para C . Esse deslocamento cria uma nova intersecção, na qual a quantidade produzida é reduzida para Q_2 e o preço é ampliado para P_2 (Figura 3.1).

Os impactos da erosão começam com a alteração de características físicas, químicas e biológicas do solo, gerando uma redução progressiva da produtividade potencial do mesmo. Na tentativa de solucionar este problema, o agricultor adota tecnologias de compensação da perda de fertilidade do solo com a aplicação de nutrientes e práticas de manejo, que ampliam os custos de produção. Entretanto, os impactos sobre a biota do solo, que também geram grande prejuízo à agricultura, não podem ser compensadas com o uso adicional de insumos (CROSSON, 1995, 1997).

Para a sociedade, o processo de erosão do solo desestimula a demanda, pois cada unidade produzida resultará em custos externos à atividade agropecuária. Isso porque ao preço do produto é acrescido o valor gasto com taxas e impostos necessários para reparar os danos que a erosão do solo gera fora da fazenda (representado pela área sombreada na Figura 3.1). Essa externalidade desloca C' para C , gerando um deslocamento ao longo da curva D do ponto A para o ponto B , fazendo com que a quantidade produzida sofra redução de Q_1 para Q_2 , e aumento do preço de P_1 para P_2 (Figura 3.1). Assim, o deslocamento da curva C' para C ocorrerá tanto pela redução da produtividade e aumento nos custos de produção quanto pelos custos das externalidade geradas pela erosão do solo.

O processo de erosão determina, ainda, a perda de qualidade do solo (BLASCHKE et al., 2000), e uma das formas de minimizar e até mesmo corrigir as consequências da erosão do solo é a adoção de práticas conservacionistas, que possibilitam a sustentabilidade da atividade agrícola (MONTGOMERY, 2007; NI & LI, 2003). Mas, apesar disto, alguns produtores apresentam resistência em adotá-las. Isto porque a exploração do solo, com determinado estoque de fertilidade natural, pode parecer suficiente a esses produtores, enquanto as receitas líquidas excederem os custos de produção ou os custos da adoção do manejo

conservacionista.

A Figura 3.2 (desenvolvida a partir de PYNDICK; RUBINFELD, 2001) aponta a relação entre a degradação do solo (S') e o benefício de sua conservação (R') para a manutenção da qualidade do mesmo, considerando o custo estável (C^e). O nível ótimo da qualidade do solo é dado pela intersecção das curvas S' e R' ao custo C , no ponto A, estágio no qual o custo total é minimizado, pois esses estarão divididos entre os custos de degradação e os custos de conservação do solo, representados pela área $1A4$. Os custos da conservação estão concentrados na área $4AL_1$ e os da degradação em $1AL_1$. Entretanto, se as práticas de manejo adotadas pelo produtor favorecerem o processo de erosão, a curva de degradação do solo sofrerá um deslocamento de S' para S'' , deslocando o equilíbrio do ponto A para o ponto B – que corresponde a intersecção de R' e S'' , tendo por efeito a redução da qualidade do solo de L_1 para L_2 . Este fenômeno gera uma perda da qualidade do solo que, se não for controlada poderá comprometer o nível de produção nos médio e longo prazos. Para evitar que isso ocorra, são necessários novos investimentos com conservação do solo, deslocando R' para R'' , dando origem a intersecção de S'' e R'' no ponto C, fazendo com que a qualidade do solo retorne ao seu nível de equilíbrio, ou seja, de L_2 para L_1 .

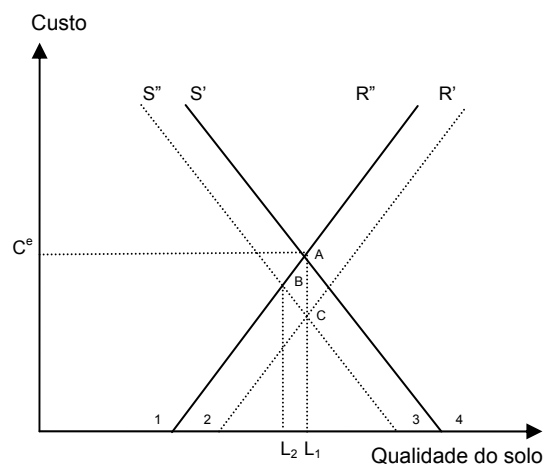


Figura 3.2 – Alterações na qualidade do solo em função de sua degradação e da conservação.

C^e – custo estável; L – qualidade do solo; S' – degradação do solo; R' – conservação do solo.

É certo afirmar que a conservação do solo, ao longo do tempo, sempre se tornará economicamente vantajosa para o produtor. Entretanto, muitas vezes, este apresenta certa resistência em adotar as práticas conservacionistas, pois a falta de informações econômicas sobre os custos da erosão o leva a pensar de forma equivocada sobre os efeitos que este processo de degradação gera sobre suas receitas. Contudo, os custos gerados pela não adoção destas práticas não afetarão somente a ele, mas toda a sociedade.

Desta forma, mesmo em uma situação na qual a conservação do solo não fosse economicamente vantajosa para o produtor, esta o seria para sociedade, já que sem sua implantação os retornos líquidos sociais seriam menores que os privados, pois a estes são repassados os custos dos reparos dos danos externos gerados pela erosão.

3.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apesar de difícil e pouco usual, a valoração econômica dos efeitos da erosão do solo tem grande importância para a sociedade, permitindo a conscientização da necessidade de implantação de políticas que incentivem a adoção de manejos conservacionistas. Entretanto, a aplicação empírica do modelo, visando a estimação dos custos da erosão do solo, demanda dados não somente dos problemas que a erosão gera dentro da propriedade agrícola, mas também daqueles causados fora da propriedade, e muitas vezes, indisponíveis.

4 CONSIDERAÇÕES GERAIS

O processo de erosão não gera, somente, perdas físicas, químicas e biológicas, mas também, financeiras. Trata-se de prejuízos que afetam toda a economia de um país, impossibilitando um desenvolvimento sustentável.

Nos Estados Unidos os custos com a erosão do solo foram estimados em 44 bilhões de dólares ao ano e no Brasil chegam a 30 milhões de dólares ao ano. Os valores das estimativas dos custos da erosão do solo variam de 5 dólares por tonelada de solo erodido para navegação à 45,4 bilhões de dólares ao ano na União Européia em razão dos efeitos decorrentes da perda de fertilidade do solo e da sedimentação dos recursos hídricos.

A erosão do solo, mediante os impactos *on-site* e *off-site*, tem gerado altos custos à atividade agropecuária e para a sociedade. E, a partir das diferentes variáveis e possibilidades metodológicas é possível a valoração desses custos.

A apresentação de informações econômicas aos agricultores, sociedade e governo facilita a compreensão sobre a importância da conservação do solo para o desenvolvimento das atividades agropecuárias, pois orienta sobre a possibilidade de manter a qualidade do solo, e de economizar um grande volume de recursos.

REFERÊNCIAS

ALDY, J.E; HRUBOVCAK, J; VASAVADA, U. The role of technology in sustaining agriculture and the environment environment. *Ecological Economics*, v. 26, n. 1, p. 81-96, 1998.

ALFSEN, K. H; DE FRANCO, M. A; GLOMSRØD, S; JOHNSEN, T. The cost os soil erosion em Nicarágua. *Ecological Economics*, v. 16, n. 2, p. 129-145, 1996.

BANDARA, J.S; CHISHOLM, A; EKANAYAKE, A; JAYASURIYA, S. Environmental cost of soil erosion in Sri Lanka: tax/subsidy policy options. *Environmental Modelling & Software*, v. 16, n. 6, p. 497-508, 2001.

BARBIER, E.B. The economic determinants of land degradation in developing countries. *Philosophical Transactions of Royal Society London B*, v. 352, n. 1356, p. 891-899, 1997.

BARLOWE, R. *Land resource economics: the economics of real estate*. 4 ed. New Jersey: Prentice-Hall. 1986.

BARNETT, H.J; MORSE, C. *Scarcity and growth: the economics of natural resource availability*. Baltimore: Johns Hopkins Press, 1963.

BATTESE, G.E. Frontier production functions and technical efficiency: a survey of empirical applications in agricultural economics. *Agricultural Economics*, v. 7, n. 1, p. 185-208, 1992.

BAVER, L.D. How serious is soil erosion? *Soil Science Society of American Journal*, v. 15, n. C, p. 1-5, 1951.

BENGSTON, D.N; IVERSON, D.C. Reconstructing conservation in an age of limits: an ecological economics perspective. In: MINTEER, B.A; MANNING, R.E. *Reconstructing conservation: finding common ground*. Washington: Island Press, 2003. p. 223-238.

BENNETT, H.H. Some aspects of soil erosion as a national problem. *Soil Science Society of America Journal*, v. B10, n. 1-2, p. 55-74, 1929.

BENNETT, H.H. The cost of soil erosion. *The Ohio Journal of Science*, v. 33, n. 4, 271-279, 1933.

BENNETT, H.H. Facing the erosion problem. *Science*, v. 81, n. 2101, p. 321-326, 1935.

BENNETT, H.H. *Soil conservation*. New York : McGraw-Hill, 1939.

BENNETT, H.H. Soil changes due to erosion. *Soil Science Society of America Journal*, v. 4, n. 1, p. 399-401, 1940.

BENNETT, H.H. *Elements of soil conservation*. 2 ed. New-York: McGraw-Hill, 1955.

BERGSMA, E. Incentives of land users in projects of soil and water conservation, the weight of intangibles. *GeoJournal*, v. 50, n. 1, p. 47-59, 2000.

BERTOL, I; COGO, N. P; SCHICK, J; GUDAGNIN, J. C; AMARAL, A. J. Aspectos financeiros relacionados às perdas de nutrientes por erosão hídrica em diferentes sistemas de manejo do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 31, n. 1, p. 133-142, 2007.

BERTONI, J; LOMBARDI NETO, F. *Conservação do solo*. 6 ed. São Paulo: Ícone, 2008.

BISHOP, J; ALLEN, J. *The on-site costs of soil erosion in Mali*. Washington: The World Bank, 1989. (Environment Working Paper 21).

BLASCHKE, P.M; TRUSTRUM, N.A.; HICKS, D.L. Impacts of mass movement erosion on land productivity: a review. *Progress in Physical Geography*, v. 24, n. 1, p. 21-52, 2000.

BOARDMAN, J. Soil erosion science: reflections on the limitations of current approaches. *CATENA*, v. 68, n. 1, p. 73-86, 2006.

BOARDMAN, J; POESEN, J; EVANS, R. Socio-economic factors in soil erosion and conservation. *Environmental Science and Policy*, v. 6, n. 1, p. 1-6, 2003.

BOJÖ, J; CASSELLS, D. Land degradation and rehabilitation in Ethiopia: a re-assessment. Washington: The World Bank, 1995.

BRAVO-URETA, B.E; PINHEIRO, A.E. Efficiency analysis of developing country agriculture: a review of the frontier function literature. *Agricultural and Resource Economics Review*, v. 22, n. 1, p. 88-101, 1993.

BRONICK, C.J; LAL, R. Soil structure and management: a review. *Geoderma*, v. 124, n. 1-2, p. 3-22, 2005.

CASSOL, E.A.; LIMA, V.S. Erosão em entressulcos sob diferentes tipos de preparo e manejo do solo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 38, n. 1, p. 117-124, 2003.

CHAVAS, J-P. Structural change in agricultural production: economics, technology and policy. In: BRUCE, L.G; GORDON, C.R. *Handbook of Agricultural Economics. Volume 1A – Agricultural production*. Amsterdam: North Holland, 2001, p. 263-285.

CHAVAS, J-P; ALIBER, M. An analysis of economic efficiency in agriculture: a nonparametric approach. *Journal of Agricultural and Resource Economics*, v. 18, n. 1, p. 1-16, 1993.

CHAVAS, J-P; POPE, R.D; KAO, R.S. An analysis of the role of futures prices, cash prices and government programs in acreage response. *Western Journal of Agricultural Economics*, v. 8, n. 1, p. 27-33, 1983.

CHRISTENSEN, L.A; MCELYEA, D.E. Toward a general method of estimating productivity-soil depth response relationships. *Journal of Soil and Water Conservation*, v. 43, n. 2, p. 199-202, 1988.

CLARK, E.H. II. The off-site costs of soil erosion. *Journal of Soil and Water Conservation*, v. 40, n.1, p. 19-22, 1985.

COHEN, M.J.; BROWN, M.T; SHEPHERD, K.D. Estimating the environmental costs of soil erosion at multiple scales in Kenya using emergy synthesis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 114, n. 2-4, p. 249-269, 2006.

COLACICCO, D; OSBORN, T; ALT, K. Economic damage from soil erosion. *Journal of Soil and Water Conservation*, v. 44, n. 1, p. 35-39, 1989.

CROSSON, P. Agricultural land: a question of values. *Agriculture and Human Values*, v. 2, n. 4, p. 6-13, 1985.

CROSSON, P. Sustainable food production: interactions among natural resources, technology and institutions. *Food Policy*, v. 11, n. 2, p. 143-156, 1986.

CROSSON, P. Soil erosion estimates and costs. *Science*, v. 269, n. 5223, p. 461-464, 1995.

CROSSON, P. Will erosion threaten agricultural productivity? *Environment*, v. 39, n. 8, p. 4-31, 1997.

CROSSON, P. Soil Quality and agricultural development. In: EVENSON, R.; PINGALI, P. (eds.). *Handbook of Agricultural Economics*. Volume 3 – Agricultural Development: farmers, farm production and farm markets. Amsterdam: North-Holland, 2007, p. 2911-2932.

CROWDER, B.M. Economic costs of reservoir sedimentation: a regional approach to estimating cropland erosion damages. *Journal of Soil and Water Conservation*, v. 42, n. 3, p. 194-197, 1987.

DERPSCH, R; ROTH, C.H; SIDIRAS, N; KÖPKE, U. *Controle da erosão no Paraná, Brasil: sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo*. Eschborn, GTZ/IAPAR, 1991. 272p. (Sonderpublikation der GTZ, 245)

ELLISON, W.D. Soil Erosion. *Soil Science Society of America Journal*, v. 12, n. 1, p. 479-484, 1948.

ERVIN, E.D; MILL, J.W. Agricultural land markets and soil erosion: policy relevance and conceptual issues. *American Journal of Agricultural Economics*, v.67, n.5, p. 938-947, 1985.

FLETCHER, J.J. Soil erosion and land prices: discussion. *American Journal of Agricultural Economics*, v.67, n.5, p. 954-956, 1985.

FOSTER, D.L; BARDOS, C.P; SOUTHGATE, D.D. Soil erosion and water treatment costs. *Journal of Soil and Water Conservation*, v. 42, n. 5, p. 349-352, 1987.

FOTH, H.D. *Fundamentals of soil science*. 8 ed. New York: John Wiley; Sons, 1990.

GISLADOTTIR, G.; STOCKING, M. Land degradation control and its global environmental benefits. *Land Degradation & Development*, v. 16, n. 2, p. 99-112, 2005.

GARDNER, K; BARROWS, R. The impact of soil conservation investments on land prices. *American Journal of Agricultural Economics*, v. 67, n. 5, p. 943-947, 1985.

HANSEN, L.T; BRENNEMAN, V.E; DAVISON, C.W.; DICKEN, C.W. The cost of soil erosion to downstream navigation. *Journal of Soil and Water Conservation*, v. 57, n. 4, p. 205-212, 2002.

HARTWICK, J. Intergenerational equity and the investing of rents of exhaustible resources. *American Economic Review*, v. 67, n. 5, p. 972-974, 1977.

HEIN, L. Assessing the costs of land degradation: a case study for the Puentes catchment, southeast Spain. *Land Degradation & Development*, v. 18, n. 6, p. 631-642, 2007.

HERTZLER, G; IBAÑEZ-MEIER, C. A; JOLLY, R. W. User cost of soil erosion and their effect on agricultural land prices: cost variables and capitalized Hamiltonians. *American Journal of Agricultural Economics*, v. 67, n. 5, p. 948-953, 1985.

HITZHUSEN, F; MACGREGOR, B; SOUTHGATE, D. Private and social cost-benefit perspectives and a case application on reservoir sedimentation management. *Water International*, v. 9, n. 4, p. 181-189, 1984.

HOAG, D.L.; YOUNG, D.L. Commodity and conservation policy impacts on risk and returns. *Western Journal of Agricultural Economics*, v. 11, n. 2, p. 211-220, 1986.

HUSZAR, P.C; PIPER, S.L. Estimating the off-site costs of wind erosion in New Mexico. *Journal of Soil and Water Conservation*, v. 41, n. 6, p. 414-416, 1986.

JANVRY, A; SADOULET, E; MURGAI, R. Rural development and rural policy. In: GARDNER, B.L.; RAUSSER, G.C (eds.). *Handbook of Agricultural Economics*. Volume 2A – Agricultural and its External Linkages. Amsterdam: North-Holland, 2002, P. 1593 -1658.

JHA, R; WHALLEY, J. The environmental regime in developing countries. In: CARRARO, A.; METCALF, G.E. (eds.). *Behavioral and distributional effects of environmental policy*. Chicago: The University of Chicago Press, 2001, p. 217-250.

JHONSON, D.G. The nature of the supply function for agricultural products. *The American Economic Review*, v. 40, n. 4, p. 539-564, 1950.

JUDD, R.W. A 'wonderfull order and balance': natural history and the beginnings of forest conservation in America – 1730-1830. *Environmental History*, v. 11, n. 1, p. 8-36, 2006.

KLINGEBIEL, A.A. Soil survey interpretation: capability groupings. *Soil Science of Society American Journal*, v. 22, n. 1, p. 160-163, 1958.

KLINGEBIEL, A.A.; MONTGOMERY, P.H. Land-capability classification. Washington: USDA, 1961. (Agriculture Handbook, 210)

KNOWLER, D.J. The economics of soil productivity: local, national and global perspectives. *Land Degradation & Development*, v. 15, n. 6, p. 543-561, 2004.

KUHLMAN, T; REINHARD, S; GAAFF, A. Estimating the costs and benefits of soil conservation in Europe. *Land Use Policy*, v. 27, n. 1, p. 22-32, 2010.

LAL, R. Degradation and resilience of soils. *Philosophical Transactions of Royal Society London B*, v. 352, n. 1356, p. 997-1010, 1997.

LAL, R. Soil management in the developing countries. *Soil Science*, v. 165, n. 1, p. 57-72, 2000.

LAL, R. Soil degradation by erosion. *Land Degradation & Development*, v. 12, n. 6, p. 519-539, 2001.

LAL, R. Managing soils for feeding a global population of 10 billion. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, v. 86, n. 14, p. 2273-2284, 2006.

LAL, R. Soil science and the carbon civilization. *Soil Science Society of America Journal*, v. 71, n. 5, p. 1425-1437, 2007.

LARSON, W.E.; PIERCE, F.J.; DOWDY, R.H. The Threat of Soil Erosion to Long-Term Crop Production. *Science*, v. 219, n. 4584, p. 458-465, 1983.

LENNOX, J.G. Darwin was a teleologist. *Biology and Philosophy*, v. 8, n. 4, p. 409-421, 1993.

MAGRATH, W; ARENS, P. *The costs of soil erosion on Java: a natural resource accounting approach*. Washington: The World Bank, 1989. (Environment Working Paper 18)

MALTHUS, T.R. *An essay on the principle of population*. Oxford: New York, 1999. (Oxford World's Classics)

MARGULIS, S. Back of the envelope of environmental damage costs in Mexico. Washington: The Word Bank, 1992.

MARQUES, J.F. Custos da erosão do solo em razão dos seus efeitos internos e externos à área de produção agrícola. *Revista Brasileira de Economia e Sociologia Rural*, v. 36, n. 1, p. 61-79, 1998.

MARQUES, J.Q.A; BERTONI, J; BARRETO, G.B. Perdas por erosão no estado de São Paulo. *Bragantia*, v. 20, n. 2, p. 1143-1182, 1961.

MARTIN, N.B; MATSUNAGA, M; VEIGA FILHO, A.A; DONZELLI, P.L; SALVIO NETO, J; BERTOLLINI, D; LOMBARDI NETO, F; WEILL, M.A.M.; PEDRO JÚNIOR, M; BERTON, R.S; OLIVEIRA, J.B; CARVALHO, Y.C; GATTI, E.V.; VIEIRA, J.L.T.M. Economia agrícola paulista: características e potencialidades. *Informações Econômicas*, v. 21, n. 1, p. 1-201, 1991.

MATSUYAMA, K. Agricultural productivity, comparative advantage, and economic growth. *Journal of Economic Theory*, v. 58, n. 2, p. 317-334, 1992.

MATSUYAMA, K. Growing through cycles. *Econometrica*, v. 67, n. 2, p. 335-347, 1999.

MEIER, G.M.; RAUCH, J.E. *Leading Issues in Economic Development*. 7 ed. Oxford: Oxford University Press, 2000.

MENZEL, R.G. Soil science: the environmental challenge soil science. *Soil Science*, v. 151, n. 1, p. 24-29, 1991.

MICHELLON, E.; REYDON, B. P. As políticas públicas de controle da erosão e o mercado de terras: uma análise a partir do Paraná. In: REYDON, B. P.; CORNÉLIO; F.N.M. (Org.). *Mercado de terras no Brasil: estrutura e dinâmica*. Brasília: NEAD, 2006, p. 287-311.

MILLER, C. *Gifford Pinchot and the making of modern environmentalism*. Washington: Island Press, 2001.

MILLER, M. F. Erosion as a factor in soil determination. *Science*, v. 73, n. 1882, p. 79-83, 1931.

MINTEER, B.A; MANNING, R.E. Conservation: from deconstruction to reconstruction. In: MINTEER, B.A; MANNING, R.E. (eds.). *Reconstructing Conservation: finding Common Ground*. Washington: Island Press: 2003, p. 3-16.

MITCHELL, N.J.; DIAMANT, R. The necessity of stewardship: George Perkins Marsh and the Nature of Conservation. *Forest History Today*, v. 11, n. 1, p. 4-9, 2005.

MONTANARELLA, L. Trends in Land Degradation in Europe. In: SIVAKUMAR, M.V.K; NDIANG'UI, N. (eds.). *Climate and Land Degradation*. New York, Springer, 2007, p. 83-104.

MONTGOMERY, D.R. Soil erosion and agricultural sustainability. *PNAS*, v. 104, n. 33, p. 13268-13272, 2007.

MOORE, W.B.; McCARL, B.A. *Off-site costs of soil erosion: a case study in the Willamette Valley*. *Western Journal of Agricultural Economics*, v. 12, n. 1, p. 42-49, 1987.

MORGAN, R.P.C. *Soil erosion and conservation*. 3 ed. Oxford: Blackwells, 2005.

NEWTON, J.L.; FREYFOGLE, E.T. Sustainability: a dissent. *Conservation Biology*, v. 19, n. 1, p. 23-32, 2005.

NI, J.R; LI, Y.K. Approach to soil erosion assessment in terms of land-use structure changes. *Journal of Soil and Water Conservation*, v. 58, n. 3, p. 158-169, 2003.

OSTERMAN, D.A; HICKS, T.L. Highly erodible land: farmer perceptions versus actual measurements. *Journal of Soil and Water Conservation*, v. 43, n. 2, p.177-182, 1988.

PAGOULATOS, A; DEBERTIN, D.L; SJARKOWI, F. Soil erosion, intertemporal profit, and the soil conservation decision. *Southern Journal of Agricultural Economics*, v. 21, n. 2, p. 55-62, 1989.

PALMQUIST, R.B; DANIELSON, L.E. A hedonic study of the effects of erosion control and drainage on farmland values. *American Journal of Agricultural Economics*, v. 71, n. 1, p. 53-62, 1989.

PIERCE, F.J; DOWDY, W.E; LARSON, W.E; GRAHAM, W.A.P. Soil productivity in the Corn Belt: an assessment of erosion's long-term effects. *Journal of Soil and Water Conservation*, v. 39, n. 2, p. 131-136, 1984.

PIMENTEL, D. Soil erosion: a food and environmental threat. *Environment, Development and Sustainability*, v. 8, n. 1, p. 119-137, 2006.

PIMENTEL, D; BAILEY, O; KIM, P; MULLANEY, E; CALABRESE, J;WALMAN, L.; NELSON, F; YAO, X. Will limits of the earth's resources control human numbers? *Environment, Development and Sustainability*, v. 1, n. 1, p. 19-39, 1999.

PIMENTEL, D; HARVEY, C; RESOSUDARMO, P; SINCLAIR, K; KURZ, D; MCNAIR, M.; CRIST, S.; SPHPRITZ, L.; FITTON, L.; SAFFOURI, R.; BLAIR, R. Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits. *Science*, v. 267, n. 5201, p. 1117-1123, 1995.

PIMENTEL, D.; KOUNANG, N. Ecology of soil erosion in ecosystems. *Ecosystems*, v. 1, n. 5, p. 416-426, 1998.

PRETTY, J.N; BRETT, C; GEE, D; HINE, R.E; MASON, C.F; MORISON, J.I.L.; RAVEN, H; RAYMENT, M.D.; VAN DER BIJL, G. An assessment of the total external costs of UK agriculture. *Agricultural Systems*, v. 65, n. 2, p. 113-136, 2000.

PYNDICK, R.S.; RUBINFELD, D.L. *Microeconomics*. London: Printece Hall, 2001.

POPP, J.; HOAG, D; HYATT, D.E. Sustainability indices with multiple objectives. *Ecological Indicators*, v. 1, n. 1, p. 37-47, 2001.

PRETTY, J.; WARD, H. Social capital and the environment. *World Development*, v. 29, n. 2, p. 209-227, 2001.

REGANOLD, J.P; PAPENDICK, R.I; PARR, J.F. Sustainable agriculture. *Scientific American*, v. 262, n. 6, p. 112-120, 1990.

RIBAUDO, M.O; COLACICCO, D; BARBARIKA, A; YOUNG, E. The economic efficiency of voluntary soil conservation programs. *Journal of Soil and Water Conservation*, v. 44, n. 1, p. 40-43, 1989.

RICARDO, D. *Principles of political economy and taxation*. Cosmo: New York, 2006.

RIKSEN, M.J.P.M; GRAAFF, J. *On-site and off-site effects of wind erosion on European light soils*. *Land Degradation & Development*, v. 12, n. 1, p. 1-11, 2001.

ROBERTSON, R.A; COLLETTI, J.P. *Off-site impacts of soil erosion on recreation : the case of Lake Red Rock Reservoir in central Iowa*. *Journal of Soil and Water Conservation*, v. 49, n. 6, p. 576-581, 1994.

RODRIGUES, W. Valoração econômica dos impactos ambientais de tecnologias de plantio em Região de Cerrados. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, v. 43, n. 1, p. 135-153, 2005.

RUTTAN, V.W. Productivity growth in world agriculture: sources and constraints. *Journal of Economic Perspectives*, v. 16, n. 4, p. 161-184, 2002.

SALIBA, B.C. Soil productivity and farmers erosion control incentives: a dynamic modeling approach. *Western Journal of Agricultural Economics*, v. 10, n. 2, p. 354-364, 1985.

SALVATI, L.; ZITTI, M. Assessing the impact of ecological and economic factors on land degradation vulnerability through multiway analysis. *Ecological Indicators*, v. 9, n. 2, p. 357-363, 2009.

SAMPSON, F; KNOFF, F. Prairie conservation in North America. *BioScience*, v. 44, n. 6, p. 418-421, 1994.

SANTOS, M. A urbanização brasileira. 5 ed. São Paulo: Edusp, 2005.

SARCINELLI, O; MARQUES, J.F; ROMEIRO, A.R. Custos e benefícios da adoção de práticas e medidas para conservação do solo agrícola: um estudo de caso na microbacia hidrográfica do córrego Oriçandinha. *Informações Econômicas*, v. 39, n. 4, p. 5-16, 2009.

SCHMIDT, P. Frontier production functions. *Econometric Reviews*, v. 4, n. 2, p. 289-328, 1985.

SILVA, J.R.C; COELHO, M.A; MOREIRA, E.G.S; OLIVEIRA NETO, P.R. Efeitos da erosão na produtividade de dois solos da classe Latossolo vermelho-amarelo. *Revista Ciência Agronômica*, v. 16, n. 1, p. 55-63, 1985.

SIMPSON, R.D; TOMAN, M.A; AYRES, R.U. *Scarcity and growth revisited: natural resources and the environment in the new millennium*. New York: Resources for the Future, 2005.

SMITH, A. *Wealth of nations*. Oxford: New York, 1998. (Oxford World's Classics)

SORRENSON, W.J; MONTOYA, L.J. *Implicações econômicas da erosão do solo e do uso de algumas práticas conservacionistas no Paraná*. Londrina: IAPAR/GTZ, 1989. (IAPAR – Boletim Técnico, 21)

SOUZA, G.S; ALVES, E.; AVILA, A.F.D. Technical efficiency of production in agricultural research. *Scientometrics*, v. 46, n. 1, p. 141-160, 1999.

SPAROVEK, G; DE MARIA, I.C. Multiperspective analysis of erosion tolerance. *Scientia Agricola*, v. 60, n. 2, p. 409-416, 2003.

STEINER, R; McLAUGHLIN, L; FAETH, P; JANKE, R. Incorporating externality costs in productivity measures: a case study using US agriculture. In: BARBETT, V.; PAYNE, R.; STEINER, R. (eds.). *Agricultural Sustainability: environmental and statistical considerations*. New York: John Wiley, 1995, p. 209-230.

STEVENS, T. H; ECHEVERRIA, J; GLASS, R. J; HAGER, T; MORE, T. A. Measuring the existence value of wildlife: what do CVM estimates really show? *Land Economics*, v. 67, n. 4, p. 390-400, 1991.

STOCKING, M. The Cost of Soil Erosion in Zimbabwe in Terms of the Loss of Three Major Nutrients. Rome: FAO, 1986. (Consultant's Working Paper 3)

STOCKING, M. Socioeconomics of soil conservation in developing countries. *Journal of Soil and Water Conservation*, v. 43, n. 5, p. 381-385, 1988.

STROOSNIJDER, L. Measurement of erosion: is it possible? *CATENA*, v. 64, n. 2-3, p. 162-173, 2005.

TAYLOR, D.B; YOUNG, D.L. The influence of technological progress on the long run farm level economics of soil conservation. *Western Journal of Agricultural Economics*, v. 10, n. 1, p. 63-76, 1985.

TEGTMEIER, E.M; DUFFY, M.D. External costs of agricultural production in the United States. *International Journal of Agricultural Sustainability*, v. 2, n. 1, p. 1-20, 2004.

TENBERG, A; VEIGA, M; DECHEN, S.C.F; STOCKING, M.A. Modelling the impact of erosion on soil productivity: a comparative evaluation of approaches on data from southern Brazil. *Experimental Agriculture*, v. 34, n. 1, p. 55-71, 1998.

TRIMBLE, S.W; CROSSON, P. U.S. Soil erosion rates : myth and reality. *Science*, v. 289, n. 5477, p. 248-250, 2000.

TROEH, F.R; HOBBS, J.A; DONAHUE, R.L. Soil and water conservation. 2 ed. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall, 1991.

URI, N.D. Factors affecting the use of conservation tillage in the United States. *Water, Air, & Soil Pollution*, v. 116, n. 3-4, p. 621-638, 1999.

URI, N.D. Agriculture and environment: the problem of soil erosion. *Journal of Sustainable Agriculture*, v. 16, n. 4, p. 71-94, 2000.

URI, N.D. The environmental implications of soil erosion in the United States. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 66, n. 3, p. 293-312, 2001.

URI, N.D.; LEWIS, J.A. The dynamics of soil erosion in US agriculture. *Science of the Total Environment*, v. 218, n. 1, p. 45-58, 1998.

VAN KOOTEN, G.C; WEISENSEL, W.P; CHINTHAMMIT, D. Valuing trade-offs between net returns and stewardship practices: the case of soil conservation in

Saskatchewan. *American Journal of Agricultural Economics*, v. 72, n. 1, p. 104-113, 1990.

WALKER, D.J. A damage function to evaluate erosion control economics. *American Journal of Agricultural Economics*, v. 64, n. 4, p. 690-698, 1982.

WISCHMEIER, W.H; SMITH, D.D. *Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning*. Washington: USDA, 1978. (Agriculture Handbook, 537)

WISCHMEIER, W.H; SMITH, D.D. *Rainfall-erosion losses from cropland east of the Rock Mountains: guide for selection of practices for soil and water conservation*. Washington: USDA, 1965. (Agriculture Handbook, 282)

WU, S; WALKER, D.J; BRUSVEN, M.A. Economic and environmental impacts of planting flexibility and conservation compliance: lessons from the 1985 and 1990 farm bills for future farm legislation. *Agricultural and Resource Economics Review*, v. 26, n. 2, p. 216-218, 1997.

ZACHAR, D. *Soil erosion*. Amsterdam: Elsevier, 1982. (Developments in Soil Science 10)