



Serviço Público Federal  
Ministério da Educação  
Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul



FACULDADE DE ENGENHARIAS, ARQUITETURA E URBANISMO E GEOGRAFIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIAS AMBIENTAIS

## TESE DE DOUTORADO

# ***INDICADORES PARA GESTÃO AMBIENTAL NA CONSERVAÇÃO DE SOLO E ÁGUA***

*Doutoranda **Célia Santos de Souza Pereira**  
Engenheira Civil  
Prof<sup>ª</sup>. Unicentro/PR.*

*Orientador **Teodorico Alves Sobrinho**  
Agrônomo  
Prof. Titular UFMS*

Campo Grande/MS

2015

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL  
FACULDADE DE ENGENHARIAS, ARQUITETURA E URBANISMO E GEOGRAFIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIAS AMBIENTAIS

CÉLIA SANTOS DE SOUZA PEREIRA

INDICADORES PARA GESTÃO AMBIENTAL NA  
CONSERVAÇÃO DE SOLO E ÁGUA

Campo Grande/MS  
2015

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL  
FACULDADE DE ENGENHARIAS, ARQUITETURA E URBANISMO E GEOGRAFIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIAS AMBIENTAIS

**Célia Santos de Souza Pereira**

**INDICADORES PARA GESTÃO AMBIENTAL NA CONSERVAÇÃO DE  
SOLO E ÁGUA**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais, área de concentração em Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos, da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, para obtenção do título de Doutora em Tecnologias Ambientais.

**ORIENTADOR: Prof. Dr. Teodorico Alves Sobrinho**

Aprovada em: 18/12/2015

**Banca Examinadora:**

Prof. Dr. Teodorico Alves Sobrinho  
Orientador

Dr<sup>a</sup>. Claudia Gonçalves Vianna Bacchi  
UFMS

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Synara Aparecida Olendzki Broch  
UFMS

Prof. Dr. Eloi Panachuki  
UEMS

Prof. Dr. Artur Lourival da Fonseca Machado  
Unicentro/PR

Campo Grande/MS  
2015

## **AGRADECIMENTOS**

Tese de Doutorado é, sem dúvida, resultado de muito estudo, dedicação e sacrifícios. Para sua realização são necessárias pessoas que auxiliam, indicando caminhos com críticas e sugestões, repassando conhecimentos científicos ou simplesmente dando aquele apoio humano necessário em muitos momentos.

Não vou explicitar nomes, nem a forma como cada um me ajudou nessa caminhada. Assim não corro o risco de cometer alguma injustiça. Pois todos, sem exceção, desde meu orientador, as várias pessoas com suas contribuições profissionais através de simples dica ou a execução de muitas tarefas e também a minha família, merecem ser valorizados. A todas essas pessoas vou fazer um único agradecimento:

“Que Deus abençoe todos vocês e minha eterna gratidão”...

Célia...

## SUMÁRIO

<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	<b>ii</b>
<b>SUMÁRIO</b> .....	<b>iii</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	<b>v</b>
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	<b>vi</b>
<b>RESUMO</b> .....	<b>1</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>2</b>
<b>INTRODUÇÃO GERAL</b> .....	<b>3</b>
Objetivo Geral .....	5
Objetivos Específicos .....	5
<b>ARTIGO 1 - PROGRAMAS DE CONTROLE DA EROSÃO HÍDRICA NO ÂMBITO RURAL: um breve panorama brasileiro</b>	
RESUMO .....	6
ABSTRACT .....	7
1 – INTRODUÇÃO.....	7
2 – EROSÃO DOS SOLOS BRASILEIROS E OS RECURSOS HÍDRICOS .....	8
3 – PAGAMENTOS POR SERVIÇOS AMBIENTAIS (PSAS) NA GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS .....	10
3.1 – Programa Produtor de Água .....	11
4 – OUTRAS AÇÕES BRASILEIRAS CONTRA EROSÃO HÍDRICA .....	13
5 – DISCUSSÃO .....	16
6 – CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	22
7 – REFERÊNCIAS .....	23
<b>ARTIGO 2 - PANORAMA DO PROGRAMA PRODUTOR DE ÁGUA NO BRASIL</b>	
RESUMO .....	26
ABSTRACT .....	26
1 – INTRODUÇÃO .....	27
2 – METODOLOGIA .....	29
3 – RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	30
3.1 – Da valoração de bens ambientais ao Programa Produtor de Água no Brasil .....	30
3.2 – Análise Temporal e Espacial dos Projetos .....	34
3.3 – Instituições e Formas de Pagamentos .....	36
3.4 – Abrangência do Programa .....	39

3.5 – Manutenção de Controle do Programa .....	48
4 – CONCLUSÕES .....	44
5 – REFERÊNCIAS .....	45
<b>ARTIGO 3 - ANÁLISE MULTIVARIADA DO PROGRAMA PRODUTOR DE</b>	
<b>ÁGUA NO BRASIL</b>	
RESUMO .....	48
ABSTRACT .....	48
1 – INTRODUÇÃO .....	48
2 – MATERIAIS E MÉTODOS .....	50
2.1 – Análise Multivariada .....	51
3 – RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	55
4 – CONCLUSÃO .....	59
5 – REFERÊNCIAS .....	60
<b>ARTIGO 4 - MODELO IEP PARA MONITORAR PROJETOS DE</b>	
<b>CONSERVAÇÃO DE SOLO E ÁGUA</b>	
RESUMO .....	63
ABSTRACT .....	63
1 – INTRODUÇÃO .....	64
2 – MODELO USLE .....	67
2.1 – Fator Erosividade da Chuva (R) .....	67
2.2 – Fator Erodibilidade do Solo (K) .....	69
2.3 – Fator Topográfico (LS) .....	71
2.4 – Fator Uso e Manejo do Solo (C) .....	72
2.5 – Fator Práticas Conservacionistas (P) .....	74
2.6 – Integração dos Fatores da USLE .....	75
3 – MODELO PROPOSTO .....	76
4 – VALIDAÇÃO DO MODELO IEP .....	79
5 – VANTAGENS E LIMITAÇÕES DO MODELO IEP .....	85
6 – CONCLUSÕES .....	86
7 – REFERÊNCIAS .....	86
<b>DISCUSSÃO GERAL .....</b>	<b>91</b>
<b>CONCLUSÃO GERAL .....</b>	<b>94</b>
<b>REFERÊNCIAS GERAIS.....</b>	<b>95</b>

## LISTA DE FIGURAS

### ARTIGO 1

Figura 1 - Relação entre as áreas inspecionadas e as áreas que apresentaram erosão ..... 29

### ARTIGO 2

Figura 1 - Frequência em que os projetos do Programa Produtor de Água são formalizados junto à ANA ..... 41

Figura 2 - Tempo de negociação para formalizações dos projetos do Programa Produtor de Água ..... 42

Figura 3 - Distribuição dos projetos do Programa Produtor de Água por Estados ..... 42

Figura 4 - Distribuição dos projetos do Programa Produtor de Água por Regiões ..... 43

Figura 5 - Distribuição dos Proponentes (a) e Fomentadores dos PSAs (b) do Programa Produtor de Água ..... 45

Figura 6 - Distribuição das formas de pagamentos aos produtores rurais do Programa Produtor de Água ..... 45

Figura 7 - Formas de Educação Ambiental dos projetos do Programa Produtor de Água . 49

Figura 8 - Formas de Monitoramento dos projetos do Programa Produtor de Água ..... 50

### ARTIGO 3

Figura 1 - Agrupamento dos projetos do Programa Produtor de Água com maiores similaridades ..... 57

Figura 2 - Agrupamento dos projetos do Programa Produtor de Água com linha de corte a 0.65 ..... 57

Figura 3 - Agrupamento dos projetos do Programa Produtor de Água com linha de corte a 0.74 ..... 57

Figura 4 - Agrupamento dos projetos do Programa Produtor de Água com retirada de projetos ..... 58

### ARTIGO 4

Figura 1 – Tipos de erosão quanto ao agente causador ..... 62

Figura 2: Abatimento da Erosão como critério de elegibilidade para os PSAs ..... 70

Figura 3: Modelo Indicador de Eficácia de Projetos para monitoramento de Projetos ou Programas de Conservação de Solo e Água ..... 72

Figura 4: Localização da área teste para validação do modelo proposto ..... 74

Figura 5 – Mapas de Eficácia do Projeto Produtor de Água Manancial Vivo na Bacia Córrego Guariroba considerando todos os Fatores R, K, LS, C e P da USLE (a) e apenas os fatores antrópicos C e P (b) ..... 77

Figura 6 – Mapas de Eficácia do Projeto Produtor de Água Manancial Vivo Córrego Guariroba nas áreas de implantação considerando todos os Fatores R, K, LS, C e P da USLE (a) e apenas os fatores antrópicos C e P (b) ..... 77

## LISTA DE TABELAS

### ARTIGO 2

Tabela 1 - Projetos do Programa Produtor de Água registrados na ANA .....	41
Tabela 2 – Órgãos proponentes e formas de pagamentos aos produtores rurais .....	44
Tabela 3 – Abrangência do Programa Produtor de Água .....	46
Tabela 4 – Manutenção e Monitoramento do Programa Produtor de Água .....	48

### ARTIGO 3

Tabela 1 – Questionário e variáveis respostas dos projetos do Programa Produtor de Água .....	60
---	----

### ARTIGO 4

Tabela 1 – Fatores Naturais da Bacia Hidrográfica do Córrego Guariroba .....	75
Tabela 2 – Fatores Antrópicos da Bacia Hidrográfica do Córrego Guariroba .....	76
Tabela 3 – Validação do Modelo IEP .....	78

### DISCUSSÃO GERAL

Tabela 1 – Indicadores para o Programa Produtor de Água (2001-2014).....	83
--	----

## RESUMO

PEREIRA, C. S S. *Indicadores para gestão ambiental na conservação de solo e água, 2015. 88 p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Brasil.*

A erosão é fenômeno complexo que não causa somente prejuízos no interior das propriedades rurais (on-site). Os processos erosivos também causam efeitos externos (off-site) quando as águas da chuva não infiltram e escoam. Diante desse fenômeno natural, que é intensificado pelas ações humanas, nosso principal objetivo foi buscar indicadores que contribuam para a gestão ambiental na conservação de solo e água. Agimos em três frentes: i) análise dos Programas e Projetos brasileiros contra a erosão hídrica rural; ii) detalhamento do Programa Produtor de Água através de indicadores obtidos pelas análises univariada e multivariada; e iii) desenvolvimento do modelo denominado Indicador de Eficácia de Projeto (Modelo IEP). Concluímos que no Brasil os Programas e Projetos de Conservação de Solo e Água buscam a implementação de técnicas de desenvolvimento sustentável e se fundamentam basicamente em três políticas: a educação, a punição e a compensação financeira. E que, mesmo diante de várias leis, projetos e programas brasileiros, os processos erosivos no Brasil ainda são considerados um problema de ordem social, econômica e ambiental. Em relação à política de compensação financeira, verificamos que os projetos do Programa Produtor de Água estão espalhados pelo território nacional e são pouco similares entre si porque cada projeto possui estrutura própria, com arranjos locais e uma forma de participação da ANA. Concluímos ainda que a abrangência do Programa Produtor de Água é baixa e o empenho político-administrativo dos gestores dos projetos deveria ser revisto, principalmente, no que se refere à mobilização junto aos produtores rurais, às ações de Educação Ambiental e ao Monitoramento dos projetos. Também concluímos que a atual falta de monitoramento com critérios mais quantitativos para esses projetos não permite afirmar quais são os efeitos da valoração ambiental originados pelos pagamentos por serviços ambientais sobre os recursos naturais solo e água. Assim, o Modelo IEP proposto permitirá preencher essa lacuna do monitoramento através da construção de indicadores baseados no abatimento da perda de solo considerando o grau de ação antrópica e densidade de cobertura vegetal. Esses indicadores poderão ser definidos tanto pelos gestores dos projetos do Programa Produtor de Água, como de outros projetos que não envolvam pagamentos por serviços ambientais.

**Palavras-Chave:** Erosão, Serviços Ambientais, USLE, Modelo Indicador de Eficácia.

## ABSTRACT

PEREIRA, C. S S. *Indicators for environmental management in soil and water conservation, 2015. 88 p. Theory (Doctorate) – Federal University of Mato Grosso of the South, Brazil.*

Erosion is a complex phenomenon that not only cause damage inside the farms (on-site). The erosion also cause external effects (off-site) when rainwater does not seep and flow. Given this natural phenomenon, which is intensified by human actions, our main objective was to get indicators that contribute to environmental management in soil and water conservation. We act on three fronts: i) analysis of programs and projects against the Brazilian rural water erosion; ii) detailing the Water Producer Program through indicators obtained by univariate and multivariate analyzes; and iii) development of model called Project Effectiveness Indicator (Model IEP). We conclude that in Brazil Programs, and Soil and Water Conservation Projects seek to implement sustainable development techniques and are based essentially on three policies: education, punishment and compensation. And that, even in the face of several laws, projects and Brazilian programs, the erosive processes in Brazil are still considered a problem of social, economic and environmental. In relation to financial compensation policy, we find that the projects of the Water Producer Program are spread throughout the country and are somewhat similar to each other because each project has its own structure, with local arrangements and a form of participation of the ANA. We conclude also that the scope of the Water Producer Program is low and the political and administrative commitment of the managers of the projects should be reviewed, especially as regards the mobilization along to farmers, to the actions of environmental education and monitoring of projects. We also conclude that the current lack of monitoring with quantitative criteria for these projects does not allow state what are the effects of environmental valuation originated by payments for environmental services on the natural resources soil and water. Thus, the model proposed IEP will fill this gap monitoring through the construction of indicators based on reduction of soil loss considering the degree of human activities and land cover density. These indicators can be defined both by the managers of the projects of the Water Program, as other projects that do not involve payments for environmental services.

**Keywords:** Erosion, Environmental Services, USLE, Model Effectiveness Indicator.

## INTRODUÇÃO GERAL

*“Os processos naturais (formação dos solos, lixiviação, erosão, deslizamentos, modificação do regime hidrológico, da cobertura vegetal) ocorrem nos ambientes naturais mesmo sem a intervenção humana. No entanto, quando o homem desmata, planta, constrói, transforma o ambiente, esses processos, ditos naturais tendem a ocorrer com intensidade muito mais violenta e, nesses casos, as consequências para a sociedade são quase sempre desastrosas”.*  
(Cunha e Guerra, 1996).

As preocupações com a intervenção humana nos recursos naturais não são fato novo. Tanto que no Brasil, mesmo sem conhecer a fundo a estreita relação entre cobertura vegetal e a conservação do solo, as primeiras Legislações sobre o uso da terra datam do início de 1800, quando foram estabelecidas as primeiras instruções para o reflorestamento e manutenção de reservas florestais no Brasil mediante alvará com força de Lei (Avanzi *et al.*, 2009).

Um século depois, em 1934, surge o primeiro código florestal brasileiro para delinear a exploração florestal e racionalizar os avanços da agricultura sobre as florestas. Contudo, diante da demanda por alimentos, fibras, carne e bioenergia aliada aos incentivos do governo pelo aumento da produção agrícola, agricultores brasileiros continuavam transformando florestas em terras agricultáveis sem controle das reservas florestais e sem os devidos manejos corretos no uso dos solos. Assim, a retirada da cobertura vegetal nativa aliada aos procedimentos usados para o preparo do plantio deixava o solo exposto e suscetível à erosão.

Visando diminuir os impactos negativos da agricultura brasileira, em 1969 surgem no sul do país os primeiros estudos científicos sobre manejo conservacionista seguindo a tendência mundial de preservação ambiental. Pois, a partir da década de 1960 a concepção de exploração dos recursos naturais ganha preocupações globalizadas e o ambiente deixa de ser tratado apenas pelos amantes da natureza e torna-se assunto da sociedade civil mais ampla.

Hoje, para regular o uso dos recursos naturais, a valoração monetária da natureza é realidade mundial para a conscientização pública acerca dos problemas decorrentes do consumo ambiental globalizado (Ferraro, 2001; Cooper, 2003; Wunder, 2007; Pattanayak, 2010, Hartmann, 2010). Os conceitos atuais da valoração ambiental também tem origem remota, pois se fundamentam na teoria de Pigou (1920), na qual, as externalidades, positivas ou negativas, correspondem aos efeitos sociais decorrentes da decisão de um agente privado. Esse autor afirma que os custos dos efeitos sociais (valoração) devem ser adicionados aos custos privados através do processo de internalização das externalidades. No caso de

externalidades negativas, propôs a utilização de mecanismos de cobrança (impostos, taxas e multas). Se externalidades positivas, defendeu subsídios para as atividades realizadas. Em ambos os casos, argumentou que a existência de externalidades é justificativa suficiente para a intervenção do poder público.

As valorações ambientais sempre se voltaram para as externalidades negativas através dos instrumentos econômicos, como impostos, taxas, cobranças pelo uso, mecanismos de mercado de quotas, que atribuem preços de acordo com a escassez e custo social (Godoy, 2011). Mas somente os referidos instrumentos econômicos aplicados ao uso e/ou danos de bens ambientais não se fizeram suficientes para a regulação dos recursos naturais e a valoração das externalidades positivas se fez necessária. Portanto, na economia ambiental mundial, também vigora a política preventiva em que ocorre pagamento financeiro às atividades humanas que visem à preservação/conservação dos bens ambientais. Assim, os mecanismos de valoração ambiental atuais seguem três princípios: (i) atribuição de valores pelo uso (usuário-pagador); (ii) em caso de danos ambientais, atribuição pelo impedimento do uso (poluidor-pagador); e (iii) atribuição de valores pela proteção dos recursos naturais (protetor-recebedor). Dentre os quais, por meio de ações preventivas de estímulos e não de sanções para a conservação dos recursos hídricos, conservação de carbono e também da biodiversidade, o princípio do protetor-recebedor vem se destacando como forma complementar e não de substituição aos mecanismos de comando e controle.

O princípio de pagar a quem protege o meio ambiente surgiu pela necessidade de recuperar bacias hidrográficas americanas que sofriam com os impactos negativos das atividades agrícolas. Então, em 1985, os Estados Unidos implementaram o programa de Pagamentos por Serviços Ambientais (PSAs), denominado *Conservation Reserve Program* (CRP), o qual promovia incentivo econômico para práticas de conservação do solo em propriedades rurais visando a proteção dos recursos hídricos (FSA, 1985; Claassen, 2004). Essa política americana de proteção hídrica espalhou-se mundialmente. No Brasil é aplicada em nível Federal através do Programa Produtor de Água. Esse Programa principia no protetor-recebedor e visa complementar as políticas do usuário-pagador e/ou poluidor-pagador.

Mesmo que ainda não haja Lei Federal sancionada para regulamentar os PSAs no Brasil, o Programa Produtor de Água pauta-se na compensação financeira aos produtores rurais que se proponham, voluntariamente, a adotar práticas e manejos conservacionistas para redução da erosão hídrica rural. Esse Programa foi criado em 2001 pela Agência Nacional de

Águas (ANA). Difundiu-se por quase todos os estados do Brasil e mais intensamente em Minas Gerais, Estado que implementou, em 2006, o primeiro projeto desse Programa, o Conservador das Águas.

Até 2014, identificamos 22 projetos que seguem as premissas do Programa Produtor de Água. Eles possuem como meta comum a revitalização e normalização dos recursos hídricos em bacias hidrográficas que possuem baixa disponibilidade e qualidade hídrica. Adotam ações preservacionistas e/ou conservacionistas do solo nas propriedades rurais. Geram externalidades positivas que justificam a compensação financeira aos produtores rurais através dos PSAs. A participação dos produtores é voluntária e flexível no que diz respeito a práticas e manejos propostos. E utilizam os PSAs como estratégia de estímulo à conservação dos ecossistemas que não constituem subsídios e nem prática assistencialista, pois os pagamentos são baseados no cumprimento de metas.

Como as políticas de PSAs são recentes, estudos e levantamentos para avaliar as consequências dessas políticas são necessários. No caso do Programa Produtor de Água não é diferente. O que sabemos é que produtores rurais estão implementando usos e manejos com práticas conservacionistas, estão preservando nascentes e recuperando florestas. Mas não sabemos quantitativamente qual é essa real contribuição. Em se tratando de erosão hídrica, não sabemos quanto os projetos do Produtor de Água interferem nas perdas de solo no âmbito rural. E, se esses projetos que envolvem pagamentos aos produtores são mais eficazes que os tradicionais projetos de conservação de solo e água que não envolvem PSAs. Diante dessas afirmações, nossos objetivos foram:

**Objetivo geral:** buscar indicadores para a gestão ambiental na conservação de solo e água.

**Objetivos específicos:**

- i. Descrever e analisar o panorama dos Programas brasileiros de conservação de solo contra a erosão hídrica no meio rural. (Tratado no Artigo 1).
- ii. Investigar o panorama atual do Programa Produtor de Água no Brasil através de indicadores obtidos pelas análises univariada e multivariada. (Artigo 2 e Artigo 3).
- iii. Estabelecer metodologia para gerar Indicadores que permitam avaliação e monitoramento da erosão hídrica rural como contribuição à gestão e implementação dos projetos do Programa Produtor de Água e de outros Projetos ou Programas de Conservação de Solo e Água. (Artigo 4).

## ARTIGO 1

### PROGRAMAS DE CONTROLE DA EROSÃO HÍDRICA NO ÂMBITO RURAL: um breve panorama brasileiro<sup>1</sup>

### PROGRAMS OF WATER EROSION CONTROL IN RURAL CONTEXT: a brief overview Brazilian

#### RESUMO

A erosão é um fenômeno complexo que não causa somente prejuízos no interior das propriedades rurais (*on-site*). Os processos erosivos também causam efeitos externos (*off-site*) quando as águas da chuva não infiltram e escoam. Transportam partículas de solo em suspensão e elementos em dissolução até os cursos d'água causando turbidez e redução da qualidade d'água. Como a água é recurso natural limitado, o mecanismo utilizado para sua conservação é a dotação de valor econômico. Nesse mecanismo de valoração sempre imperou a política punitiva com o princípio do usuário-pagador ou poluidor pagador. No entanto, apenas essa política punitiva não foi suficiente para a manutenção em qualidade e quantidade desse recurso natural limitado. Surge então a política preventiva com o princípio do protetor-recebedor para a conservação dos recursos hídricos pelo controle da erosão hídrica rural. O nosso objetivo foi descrever o panorama dos Programas e Projetos brasileiros de conservação de solo contra a erosão hídrica no meio rural. Observamos que os referidos Programas e Projetos buscam a implementação de técnicas de desenvolvimento sustentável e se fundamentam basicamente em três aspectos: a educação, a punição e a compensação financeira. E, mesmo diante de várias leis, projetos e programas brasileiros, também observamos que os processos erosivos no Brasil ainda são considerados um problema de ordem social, econômica e ambiental.

**Palavras-chave:** Produtor de Água, Conservação de Solo, Serviços Ambientais, Bens Ambientais.

---

<sup>1</sup> Artigo publicado na revista *Ambiência Guarapuava* (PR) v.10 n.3 p. 851 - 867 Set/Dez. 2014. ISSN 1808 – 0251. DOI: 10.5935/ambiencia.2014.03.15rb. Recebido para publicação em 27/08/2014 e aceito em 24/09/2014.

## ABSTRACT

Erosion is a complex phenomenon that not only causes damage within the rural (on-site) properties. The erosion also cause external effects (off-site) when rainwater does not seep and flow. Carry soil particles in suspension and dissolved elements to the watercourses causing turbidity and reduced water quality. As water is limited natural resource, the mechanism used for its conservation is the appropriation of economic value. In this valuation mechanism always prevailed punitive policy with the principle of user pays or polluter pays. However, just this punitive policy was not sufficient to maintain quality and quantity of this limited natural resource. Then comes the preventive policy with the principle Guard-receiver for the conservation of water resources for control of rural water erosion. Our objective was to describe the panorama of Brazilian Programs and Projects conservation of soil against erosion in rural areas. We note that such programs and projects seeking to implement sustainable development techniques and are based mainly on three aspects: education, punishment and compensation. And, even in the face of several laws, projects and Brazilian programs, we also noted that the erosion processes in Brazil are still considered a problem of social, economic and environmental order.

**Keywords:** Water Producer, Soil Conservation, Environmental Services, Environmental Goods.

## 1 – INTRODUÇÃO

No Brasil, apesar da relativa abundância<sup>2</sup> de água, na condição de recurso natural limitado, seu uso é regulamentado pela Política Nacional de Recursos Hídricos que se fundamenta no princípio do usuário-pagador e constitui-se em política punitiva. Mais recentemente, fundamentada no princípio do protetor-recebedor, a construção da Política Nacional de Serviços Ambientais vem estimulando ações que visem à conservação dos recursos hídricos. Tais ações são preventivas e adotam pagamentos às atividades humanas que contribuam para a diminuição de processos erosivos dos solos.

A política preventiva de conservação dos recursos hídricos pelo controle da erosão hídrica, por meio de compensação financeira, foi criada nos Estados Unidos e é desenvolvida

---

<sup>2</sup> Segundo a UNESCO, cerca de 13,7% de toda a água doce do planeta encontra-se em território brasileiro (Hartmann, 2010).

no Brasil através do Programa Produtor de Água. Esse programa foi criado pela Agência Nacional de Águas (ANA) e já conta com vários projetos em todo o Brasil.

Além das políticas punitivas (usuário-pagador ou poluidor pagador) e das políticas preventivas de compensação financeira (protetor recebedor), no Brasil também vigoram as políticas preventivas de orientações (educação ambiental) através de ações extensionistas em propriedades rurais. Diante dessas políticas (punitivas e preventivas), buscamos descrever e discutir o panorama dos Programas brasileiros de conservação de solo contra a erosão hídrica no meio rural com vistas à conservação dos recursos hídricos. Tal descrição ocorreu de forma qualitativa a partir das informações obtidas nos sítios dos órgãos governamentais e através de contatos com esses órgãos via e-mail. Também buscamos informações em revistas especializadas para maiores detalhamentos e obtenção de dados que indicassem qual a real contribuição e avanços das políticas brasileiras voltadas para conservação de solo e água.

Com nossas discussões, procuramos fornecer indicações para a formulação de políticas públicas que possam provocar mudanças no comportamento dos usuários dos recursos naturais. No caso aqui investigado tratamos, em especial, do modo como os produtores rurais utilizam o solo e a água no que se refere ao controle da erosão hídrica dos solos com vistas a diminuir a poluição difusa aos recursos hídricos.

## **2 - EROSÃO DOS SOLOS BRASILEIROS E OS RECURSOS HÍDRICOS**

A erosão é o processo natural de degradação do solo pela ação da água ou vento. Esse processo natural divide-se em desprendimento, arraste e sedimentação das partículas do solo e pode ser intensificado pela ação antrópica, principalmente no que se refere à retirada da vegetação.

Segundo Crepani *et al.* (1996) e Crepani *et al.* (2000), a cobertura vegetal representa a defesa da unidade de paisagem contra os efeitos dos processos modificadores das formas de relevo (erosão). Estes autores descrevem ainda que a ação da cobertura vegetal na proteção da paisagem se dá de diversas maneiras: (i) evita o impacto direto das gotas de chuva contra o terreno, impedindo a desagregação das partículas; (ii) impede a compactação do solo e aumenta a capacidade de absorção de água; (iii) aumenta a capacidade de infiltração do solo pela difusão do fluxo de água da chuva; (iv) suporta a vida silvestre que, pela presença de estruturas biológicas como raízes de plantas, perfurações de vermes e buracos de animais, aumenta a porosidade e a permeabilidade do solo.

Morgan e Duzant (2008) após trabalharem no modelo Morgan-Morgan-Finney (MMF), que considera os efeitos de culturas e da vegetação na proteção contra a erosão, também afirmam que a vegetação é um fator importante, pois promove a deposição de sedimentos antes de alcançarem os corpos hídricos. Para Bertol *et al* (2007), a erosão é um fenômeno complexo e, para Pimentel *et al.* (1995), é uma das maiores ameaças para o desenvolvimento sustentável e para a capacidade produtiva da agricultura.

Quando consideramos somente o interior das propriedades rurais (*on-site*), verificamos que a erosão causa o depauperamento acelerado das terras e reduz a produtividade agrícola (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1990). Mas não são somente os efeitos internos, os processos erosivos também causam efeitos externos (*off-site*) às propriedades (BENNETT, 1935). Por exemplo, se o solo não for manejado corretamente, as águas da chuva não infiltram e escoam transportando partículas de solo em suspensão e elementos em dissolução até os cursos d'água causando turbidez e redução da qualidade d'água.

Para Martini e Lanna (2003), as atividades agrícolas são produtoras de poluição não-pontual ou difusa, cujos termos são empregados para definir a poluição proveniente de diversas fontes distribuídas espacialmente. E reconhecem que, mesmo que o Brasil disponha de grande oferta de água doce, a poluição difusa rural representa risco aos recursos hídricos brasileiros, em especial se é manancial de abastecimento urbano. Assim, ao ultrapassar os limites das propriedades e externalizar suas ações, os processos erosivos causam prejuízos tanto de ordem econômica como social.

Segundo ANA (2012), os prejuízos econômicos da erosão hídrica em terras agrícolas no Brasil configuram: (i) impactos nas propriedades através de perdas de nutrientes carreados pela erosão e queda da produtividade dos solos pela degradação somam cerca de R\$ 7,9 bilhões por ano; (ii) impactos externos, pois a erosão aumenta os custos de tratamento de água, conservação de estradas e depreciação de reservatórios, estimando-se valor de R\$ 5,4 bilhões por ano. Totalizando prejuízos internos e externos de R\$ 13,3 bilhões por ano.

Quanto aos prejuízos sociais da erosão hídrica em terras agrícolas no Brasil, ANA (2012) ressalta: (i) a queda da produtividade agrícola gera desvalorização das terras e empobrecimento de agricultores que resulta em doenças, baixa-estima, baixa escolaridade e migração para centros urbanos; (ii) a transmissão de doenças por via hídrica adoce a população e encarece os custos de saúde pública; (iii) a destruição dos *habitats* naturais de reprodução dos peixes reduz a fonte de alimentos e a renda da população ribeirinha.

### 3 - PAGAMENTOS POR SERVIÇOS AMBIENTAIS NA GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

Diante das transformações impostas ao meio ambiente por ações antrópicas, a dotação de valor econômico é realidade global para regular o uso dos recursos naturais e traz o conceito que os recursos naturais são bens ambientais (FERRARO, 2001; COOPER, 2003; WUNDER, 2007; SOMMERVILLE *et al.*, 2010; PATTANAYAK, 2010). A valoração monetária desses bens se dá pela atribuição de valores pelo uso ou, em caso de danos ambientais, pelo impedimento do uso.

Mas além da cobrança pelo uso ou impedimento do uso de bens ambientais (usuário-pagador ou poluidor pagador, respectivamente), já é realidade na economia ambiental o princípio do pagamento às atividades humanas que visem à preservação/conservação dos bens ambientais (protetor-recebedor). Esse princípio de pagar a quem protege o meio ambiente surgiu nos Estados Unidos diante dos impactos negativos das atividades agrícolas em bacias hidrográficas americanas. Isso fez com que os Estados Unidos, em 1985, implementassem um programa de PSA, denominado *Conservation Reserve Program* (CRP), que promovia incentivo econômico para práticas de conservação do solo em propriedades rurais (FSA, 1985, citado por RODRIGUES *et al.*, 2011; CLAASSEN, 2004). Tal programa americano tem como exemplo a cidade de Nova York que, para atender aos padrões do *Safe Drinking Water Act* de 1986, optou por adquirir e recuperar áreas da bacia de Castkill para conservar o manancial de abastecimento, ao invés de investir em estação de tratamento (THE CATSKILL CENTER, 2004).

No Brasil, a regulamentação dos PSAs é alvo de muitas discussões e vem sendo tratada pela construção da Política Nacional de Serviços Ambientais (iniciada em 2007 e ainda em tramitação na Câmara dos Deputados). A proposta de Política Nacional prevê o estabelecimento de pagamento às atividades humanas de restabelecimento, recuperação, manutenção e melhoria dos ecossistemas que geram serviços ambientais. Nesse processo de construção é proposto o Programa Federal de Pagamento por Serviços Ambientais (PFPSA), o qual é subdividido no Subprograma Floresta, Subprograma RPPN (Reserva Particular do Patrimônio Natural) e no Subprograma Água.

O Subprograma Água, discutido neste artigo, principia no âmbito da União na compensação financeira aos ocupantes regulares de áreas situadas em bacias hidrográficas utilizadas para abastecimento e com baixa disponibilidade e baixa qualidade hídrica. Os

produtores rurais são compensados quando promovem voluntariamente ações para diminuição de processos erosivos, redução de sedimentação, aumento da infiltração de água no solo, melhoria da qualidade e quantidade de água, constância do regime de vazão e diminuição da poluição (PL 5487/2009).

A construção da política brasileira de PSAs teve início em 2001 diante das discussões para aplicação dos recursos arrecadados com a cobrança pelo uso da água. Quando as discussões para implantação da cobrança pelo uso da água iniciaram-se, a ANA buscou projetar ações que pudessem reduzir o prejuízo social causado pelo uso da água como sugestão para aplicação de parte dos recursos arrecadados pela referida cobrança. Essa Agência criou, então, o Programa de Despoluição de Bacias Hidrográficas (PRODES) que, ao invés de financiar a fase de obras ou equipamentos para implantação e operação de Estações de Tratamento de Esgotos (ETE), somente concedia estímulo financeiro aos Prestadores de Serviço de Saneamento na forma de pagamento pelo esgoto efetivamente tratado. Ampliando suas ações, a ANA desenvolveu o Programa Produtor de Água, uma ferramenta de articulação entre a Agência, os usuários e o setor rural, sob a ótica principal de proteção hídrica e que buscava incentivar a adoção de práticas sustentáveis a partir de PSAs.

Para a criação do Produtor de Água, a ANA considerou que toda vez que um ou mais produtor rural adota práticas sustentáveis, gera benefícios sociais na medida em que os usuários da bacia hidrográfica passam a dispor de água em qualidade e quantidade mais adequadas às suas demandas. Assim, o produtor rural está prestando serviços ambientais e devem receber por esses serviços, ou seja, há um prestador de serviço (vendedor), há usuários (comprador) e há água de qualidade em quantidade (produto), possuindo os pressupostos necessários (produto-vendedor-comprador) dos mecanismos de PSAs.

### **3.1 – Programa Produtor de Água**

O Programa Produtor de Água brasileiro desenvolve ações para a melhoria da qualidade e quantidade de água em bacias hidrográficas de abastecimento. Propicia incentivo financeiro aos produtores rurais que se proponham, voluntariamente, a adotar práticas e manejos conservacionistas para redução da erosão hídrica (ANA, 2014).

Idealizado em 2001, somente após a criação da Lei Municipal nº 2.100 de 21 de dezembro de 2005, em Extrema/MG, através do projeto “Conservador das Águas”, o Programa Produtor de Água teve sua primeira experiência prática em 2006. Isso foi possível

com o início da cobrança pelo uso da água nas bacias hidrográficas do rio Paraíba do Sul e dos rios Piracicaba, Capivarí e Jundiá (PCJ), quando os Comitês do PCJ decidiram alocar parte desses recursos no pagamento dos incentivos financeiros aos produtores rurais (ANA, 2008).

Até 2014, os projetos do Programa Produtor de Água registrados na ANA eram:

1. Pioneiro: Projeto Conservador das Águas na Bacia do Rio Piracicaba, desenvolvido pelo município de Extrema/MG;
2. Programa Produtor de Água nas Bacias PCJ - Rios Piracicaba, Capivarí e Jundiá – Joanópolis/SP e Nazaré Paulista/SP;
3. Produtor de Água na Bacia do Ribeirão Pipiripau – Brasília/DF;
4. Produtor de Água Bacia do Ribeirão Guaratinguetá – Guaratinguetá/SP;
5. Projeto Oásis nas Bacias dos rios Ivaí, Pirapó e Tibagi – Apucarana/PR;
6. Projeto ProdutorES de Água nas Bacias dos Rios Benevente, Guandu e São José – Secretaria de Estado – Vários Municípios/ES;
7. Produtor de Água na Bacia do Ribeirão João Leite - Ministério Público de Goiás – Consórcio de Municípios/GO;
8. Produtor de Águas na Bacia do Rio Camboriú - Balneário Camboriú/SC;
9. Produtor de Água na Bacia do Ribeirão Abóbora – Rio Verde/GO;
10. Produtor de Água e Floresta na Bacia Guandu – Rio Claro/RJ;
11. Produtor de Água na Bacia do Córrego Guariroba – Campo Grande/MS;
12. Produtor de Água na Bacia do Rio Rola – Rio Branco/AC;
13. Produtor de Água na Bacia do Ribeirão Taquarussu – Palmas/TO;
14. Produtor de Água na Bacia do Córrego Feio – Patrocínio/MG;
15. Produtor de Água na Bacia do Ribeirão Marinheiro – Votuporanga/SP;
16. Produtor de Água na Bacia do Rio Macaé – Araruama/RJ;
17. Produtor de Água na Bacia do Rio Pardo - Protetor de Água – Vera Cruz/RS;
18. Produtor de Água nas Bacias do São Francisco – Cedro do Abaeté/MG;
19. Produtor de Água na Sub-bacia do Rio Misericórdia – Ibiá/MG;
20. Produtor de Água na Bacia do Rio Doce – Viçosa/MG;
21. Produtor de Água na Bacia do Rio Uberabinha – Uberlândia/MG;
22. Produtor de Água na Bacia do Rio Claro – Rio Claro/MG;
23. Produtor de Água na Bacia do Rio Juliana – Pratigi/BA.

Todos esses projetos objetivam primordialmente a melhoria da qualidade da água e o aumento das vazões médias dos rios em suas bacias hidrográficas. Isto é possível através de ações para aumentar a cobertura vegetal e minimizar a poluição difusa e todos se baseiam no princípio provedor-recebedor. No entanto, cada projeto possui suas peculiaridades quanto à forma de beneficiar seus produtores rurais que vão:

- i. desde a utilização de recursos municipais no pagamento de incentivos aos produtores rurais que se disponham a fazer adequação ambiental de suas propriedades (Projeto Conservador das Águas – Extrema/MG);
- ii. prefeitura que incentiva os proprietários rurais a reflorestarem áreas de nascentes existentes em suas propriedades e pagam aos produtores com base no volume de litros por hora de cada nascente (Projeto Oásis nas Bacias dos Rios Ivaí, Pirapó e Tibagi/PR);
- iii. instituto de meio ambiente e recursos hídricos que cria fundo estadual de recursos hídricos para compensação financeira a proprietários rurais que possuem remanescentes de floresta nativa (floresta em pé) em áreas estratégicas para os recursos hídricos (Projeto ProdutorES de Água nas Bacias dos Rios Benevente, Guandu e São José/ES);
- v. até empresas particulares que realizam recompensa financeira aos proprietários rurais que contribuem com a preservação e recuperação do meio ambiente, enquanto os agricultores se tornam também produtores de água (Produtor de Água na Bacia do Rio Pardo - Protetor de Água – Vera Cruz/RS).

#### **4 – OUTRAS AÇÕES BRASILEIRAS CONTRA A EROSÃO HÍDRICA**

Precursor na preocupação com o manejo correto dos recursos naturais, o Paraná, em 1963, elaborou o Projeto Noroeste que objetivava controlar a erosão hídrica e, em 1975, criou o Programa Integrado de Conservação dos Solos (Proics) implementando práticas de terraceamento e plantio em curva de nível (OLIVEIRA; NEVES NETO, 2008). Esses autores também descreveram o Programa de Manejo Integrado dos Solos (1983-1986), que pretendia incentivar os produtores rurais paranaenses a usarem o solo adequadamente e ressaltaram o Programa Paraná Rural (1989-1996) que serviu de inspiração para outras políticas públicas.

O Programa Paraná Rural ganhou destaque nacional e possuía as seguintes características:

- i. denominado Programa de Manejo das Águas, Conservação dos Solos e Controle da Poluição em Microbacias Hidrográficas, o Paraná Rural foi financiado pelo Banco Mundial e pelo governo do Estado do Paraná;
- ii. seu principal objetivo era controlar a erosão hídrica e reverter o processo de degradação dos recursos naturais renováveis, baseando-se em alternativas tecnológicas que aumentassem a produção vegetal, a produtividade agrícola e a renda do agricultor do Estado do Paraná;
- iii. possuía gestão descentralizada e participativa, envolvendo vários agentes da sociedade;
- iv. estimulava as práticas conservacionistas na agricultura, alterando o modo de produzir do agricultor;
- v. adotou a microbacia hidrográfica como unidade de planejamento.

O Estado de Santa Catarina também foi pioneiro em elaborar projetos a fim de manejar melhor os recursos naturais, tais como o Programa Estadual de Conservação dos Solos (1965-1970), Programa de Conservação e uso da Água e dos Solos (1979-1983), Programa de Conservação e Manejo Integrado do Solo e da Água (1986-1991) e o Projeto Microbacias (1991-1999) (OLIVEIRA; NEVES NETO, 2008).

O Projeto Microbacias, inspirado no Programa Paraná Rural, também ganhou destaque nacional e suas características eram:

- i. denominado Projeto de Recuperação, Conservação e Manejo de Recursos Naturais em Microbacias Hidrográficas, o Microbacias resultou de um acordo entre o governo de Santa Catarina e o Banco Mundial;
- ii. como no Paraná Rural, também objetivava o controle da erosão hídrica, estimulando a participação dos agricultores, líderes, autoridades e instituições;
- iii. alcançou resultados como o aumento da produtividade e da renda do agricultor, a redução do processo erosivo, uso menos intensivo de agrotóxicos com maior utilização de adubos orgânicos e o aumento de residências rurais com fossas sépticas.

A adoção da microbacia hidrográfica e da filosofia participativa dos produtores rurais foram instituídas pelo Governo Federal quando lançou o Programa Nacional de Microbacias Hidrográficas (PNMH) em 1987, que sucedeu o Programa Nacional de Conservação de Solos, implantado em 1975. Mas, segundo Neves Neto e Hespanhol (2009), foram os Programas Paraná Rural e Microbacias que instituíram na prática a filosofia participativa, tanto no planejamento das ações como na motivação dos agricultores para que intervissem coletivamente nas práticas conservacionistas.

O Paraná Rural e o Microbacias disseminaram na sociedade a mentalidade conservacionista, ou seja, instituíram comportamento diferente de como produzir e como cuidar dos recursos naturais e também impulsionaram políticas conservacionistas em outros estados como Rio Grande do Sul, Minas Gerais, Rio de Janeiro e São Paulo (NEVES NETO; HESPANHOL, 2009).

No Estado de São Paulo, o Programa Estadual de Microbacias Hidrográficas (PEMBH) foi criado em 1987. Restringiu-se até 1999 a ações pontuais de conservação de solos por meio da construção de terraços e da adequação de estradas rurais. Somente no ano de 1994 o governo paulista inspirado no Paraná Rural encaminhou o pedido de financiamento ao Banco Mundial para implementar o programa de microbacias hidrográficas, sendo aprovado cinco anos depois, quando as ações previstas para o PEMBH enfim puderam iniciar em 2000 e prorrogar-se até 2008 (HESPANHOL, 2011).

Na região nordeste, destacamos o Projeto de Desenvolvimento Hidroambiental (Prodhm), desenvolvido entre 1999 a 2009 pela Secretaria dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará com apoio financeiro do Banco Mundial. Teve como objetivo desenvolver, em caráter piloto e experimental, ações articuladas e sustentáveis de recuperação e preservação dos recursos hidroambientais em quatro microbacias hidrográficas do semiárido cearense. Além de obras físicas (barragens, cisternas, reflorestamento, terraceamento, recuperação de áreas degradadas), também foram introduzidas ou testadas atividades econômicas (apicultura, artesanato e sistema de exploração agrossilvipastoril) e práticas visando o desenvolvimento humano e institucional como a capacitação em educação (PRODHAM, 2014).

Na região norte destacamos o Programa de Desenvolvimento Socioambiental da Produção Familiar Rural (Proambiente), programa federal do Ministério do Meio Ambiente desenvolvido na Amazônia no período de (2004-2007). Seu objetivo foi compatibilizar a conservação do meio ambiente aos processos de desenvolvimento rural, com aproveitamento social e econômico da terra sob baixos riscos de degradação ambiental. Buscou unir, num mesmo programa, atividades de ordenamento territorial por meio da formação de polos, crédito rural, gestão de estabelecimentos rurais com sistemas sustentáveis de produção rural, fortalecimento de organizações sociais, assessoria técnica e extensão rural, certificação e remuneração dos serviços ambientais (PROAMBIENTE, 2014).

Por fim, fora da filosofia participativa preconizada nos Programas Paraná Rural e Microbacias, porém adotando uma filosofia punitiva, destacamos as ações da Coordenadoria de Defesa Agropecuária (CDA) do Estado de São Paulo em parceria com o Programa

Estadual de Microbacias Hidrográficas. Os técnicos da Defesa Agropecuária atuam fiscalizando o uso e a conservação do solo das microbacias, proporcionando, além da transformação de pastagens degradadas em culturas produtivas, também a conservação dos mananciais (CDA, 2014).

As ações do CDA são pautadas na Lei Estadual nº 6.171, criada em 1988, que dispõe do uso, conservação e preservação do solo agrícola. Quando da sua criação, essa lei foi considerada moderna e coerente, pois dava oportunidade aos agropecuaristas autuados de recuperação desses solos. Após sua reestruturação em 2002, a Defesa Agropecuária afirma que com as autuações vem conseguindo a recuperação de solos degradados, diminuindo as perdas de solo e reduzindo o índice de erosão no território Paulista, mas com prioridade para a Região Oeste que apresenta maior índice de susceptibilidade à erosão (CDA, 2014).

## 5 – DISCUSSÃO

Dentre as práticas conservacionistas vigentes no Brasil, observamos que o reconhecimento da importância da manutenção da cobertura vegetal contra a erosão hídrica vem de muito tempo, pois Avanzi *et al.* (2009) afirmam que:

- i. mesmo sem conhecer a fundo a estreita relação entre cobertura vegetal e a conservação do solo, já em 1802 foram estabelecidas as primeiras instruções para o reflorestamento no Brasil mediante alvará com força de Lei;
- ii. em 1821 surgiram as instruções relativas à Legislação sobre a terra, prevendo a manutenção de reservas florestais em 1/6 das áreas vendidas ou doadas, onde não se poderia haver derrubada ou queima sem que houvesse nova brotação de bosque; e
- iii. um século depois, em 1934 surge o primeiro código florestal brasileiro para delinear a exploração florestal e tentar racionalizar os avanços da agricultura sobre as florestas, regulamentando as queimadas e as derrubadas de árvores, tanto para garantir a retirada de lenha, como também tinha viés de preservação ambiental, para proteger rios, lagos e áreas de risco.

Contudo, diante da demanda por alimentos, fibras, carne e bioenergia, agricultores brasileiros continuavam transformando florestas em terras agricultáveis sem controle algum das reservas florestais e sem os devidos manejos corretos no uso dos solos. Assim, a retirada da cobertura vegetal nativa aliada aos procedimentos usados comumente no preparo do plantio, como a aração e uso de herbicidas, deixava o solo exposto e suscetível à erosão.

Visando diminuir os impactos negativos da agricultura, surgem no sul do Brasil os primeiros estudos científicos sobre manejo conservacionista do solo. Quando em 1969, no campo experimental do Ministério da Agricultura localizado no município de Não-Me-Toque – RS, foi implantada área pioneira de semeadura direta de sorgo sobre resíduos culturais, mas foi no Paraná, em 1972, a primeira adoção do plantio direto em escala comercial (CASÃO JR. *et al.*, 2012).

Porém, a ampliação da adoção de sistemas de produção agrícola baseados em técnicas conservacionistas (plantio direto, rotação de culturas, cobertura do solo e plantas de cobertura) somente veio ocorrer quase vinte anos mais tarde. Isso se deu quando os Programas Paraná Rural (1989-1996) e Microbacias (1991-1996) inovaram e conseguiram criar algumas “redes conservacionistas” e alterar o modo de produzir do agricultor. Esses programas introduziram a dimensão ambiental na sua operacionalização e a descentralização das ações, com gestão participativa envolvendo diversos setores da sociedade e adotando a microbacia hidrográfica como unidade de operação. E são essas características que fundamentam os Programas e Projetos brasileiros atuais voltados à conservação do solo contra a erosão hídrica rural.

No entanto, Hespanhol (2011) alerta que a gestão participativa em programas de microbacias hidrográficas pode constituir grande desafio, pois a desconfiança e o desconhecimento dos agricultores e autoridades municipais podem dificultar o envolvimento e a participação dos produtores rurais na realização das ações conservacionistas propostas nos programas. Cabe ressaltar que a aversão a mudanças é fator limitante na adoção das técnicas adequadas de uso e manejo do solo. Isso, porque os costumes dos agricultores brasileiros de arar a terra, utilizar herbicidas, queimadas e plantar morro abaixo, que vem de gerações, dificultam em muito convencê-los a adotar as práticas conservacionistas em suas atividades agrícolas.

Como exemplo, podemos citar o caso do Prodham que encontrou dificuldades em convencer os pequenos agricultores cearenses que o certo é plantar em curva de nível e não morro abaixo. Somente com a experimentação desse projeto por alguns produtores rurais, e após reconhecerem os resultados positivos, é que as técnicas conservacionistas de manejo do solo e água no Semiárido do Ceará se disseminaram para vários produtores.

Generalizando a situação atual dos Programas e Projetos brasileiros para o controle da erosão hídrica rural, observamos que eles buscam a implementação de técnicas de

desenvolvimento sustentável e se fundamentam basicamente em três aspectos: a educação, a punição e a compensação financeira.

No aspecto educação há o investimento financeiro por parte das instituições promotoras do projeto para a execução das obras físicas e para as atividades educativas necessárias para o manejo e uso correto do solo. Os primeiros produtores rurais decidem participar do projeto pelas orientações educativas recebidas e a continuidade desses e a adesão de outros produtores ocorrem em função da observação dos resultados positivos alcançados.

No aspecto punição os produtores rurais, que não adotam as práticas adequadas de manejo e uso do solo, são multados em função dos danos ambientais causados em suas propriedades e são obrigados a recuperar tais danos (princípio poluidor-pagador).

No aspecto compensação financeira os produtores rurais adotam voluntariamente as práticas adequadas de manejo e uso do solo, recuperam florestas e preservam nascentes e recebem compensação financeira em troca (princípio protetor-recebedor). Nesse aspecto de controle da erosão hídrica rural utilizando os PSAs, o Estado de Minas Gerais vem se destacando no Brasil na aplicação do princípio do protetor-recebedor. Esse Estado, que participa da Rede Iberoamericana de Bosques Modelo<sup>3</sup> e teve em 2005 os bosques de Pandeiros e da Mata Atlântica reconhecidos como Bosques Modelo, acredita que para conservar esses bosques os produtores rurais deixam de produzir em suas próprias terras. Então, desde 2006, Minas Gerais vem adotando a recompensa financeira a esses produtores para minimizar as possíveis perdas econômicas que esses produtores teriam.

Em termos de Brasil, cujos processos erosivos dos solos ainda causam grandes prejuízos (econômicos e sociais), onde os impactos negativos junto aos recursos hídricos superam os prejuízos internos de uma propriedade rural, o Programa Produtor de Água vem se destacando dentro do panorama brasileiro para o controle da erosão hídrica rural. Esse Programa conta com vinte e três projetos espalhados pelo Brasil, em que Minas Gerais possui a maioria absoluta da adesão ao Programa e em termos de região o sudeste possui maior adesão.

Seguindo a linha da compensação financeira, na região norte foi desenvolvido o Programa Proambiente que também adotou políticas de PSAs voltadas para ações articuladas

---

<sup>3</sup> Modelo surgido no Canadá na década de 1990, o estado de Minas Gerais participa da Rede Iberoamericana de Bosques Modelo que prevê a recuperação e conservação das florestas através da participação das comunidades que habitam as áreas rurais, incentivando o desenvolvimento de atividades produtivas, educativas e de pesquisa.

e sustentáveis de recuperação e preservação dos recursos hidroambientais em microbacias hidrográficas. Porém, com enfoque mais social e ambiental e menos aplicado para a recuperação de áreas degradadas e controle da erosão hídrica que o Programa Produtor de Água.

Diferentemente das políticas de PSAs do Programa Produtor de Água e do Proambiente, também destacamos as versões atualizadas dos Programas Paraná Rural, Microbacias em Santa Catarina e Programa Estadual de Microbacias Hidrográficas em São Paulo. Segundo o Instituto Agrônomo do Paraná (Iapar), em 2014, o Governo do Estado do Paraná está retomando o programa de Manejo de Solos e Águas em Microbacias, mais conhecido como Paraná Rural, que na década de 1980 colocou o Paraná à frente do desenvolvimento sustentável com medidas de conservação implantadas no âmbito rural.

A partir de 2014 serão aplicados cerca de R\$ 30 milhões ao longo de quatro anos para resgatar as práticas consagradas de conservação de solos e água que foram abandonadas ao longo do tempo e pelo menos uma microbacia por município receberá apoio do Estado, cujas ações servirão de modelo para as demais 6.000 microbacias no Paraná (IAPAR, 2014).

Como o Paraná Rural possui filosofia educativa, a ideia é que as ações realizadas nas microbacias selecionadas tenham efeito multiplicador para a comunidade que pode, inclusive, procurar outras fontes de financiamento para alavancar as ações iniciadas pelo governo estadual. Entre as ações previstas estão os terraceamentos, plantio em contorno nas propriedades, estradas rurais integradas com as lavouras, plantio direto com qualidade, proteção de fontes d'água e a utilização de imagens de satélite para identificar as áreas com passivo ambiental (como a falta de reserva legal, de área de preservação permanente e de proteção de fontes) que serão trabalhadas junto com o produtor rural (IAPAR, 2014).

No Estado de Santa Catarina, o Programa Microbacias iniciado em 1991 encontra-se em sua terceira fase. Denominado Santa Catarina Rural (SC Rural) ou Microbacias III, será executado de 2010 a 2016. Possui investimentos do Governo do Estado de US\$ 189 milhões e apoia as iniciativas direcionadas à melhoria da competitividade da agricultura familiar, à gestão dos recursos hídricos e ao aprimoramento de forma sustentável das ações relacionadas ao desenvolvimento rural.

O foco principal do Microbacias III é aumentar a competitividade das organizações dos agricultores familiares em Santa Catarina, mas a questão ambiental não foi deixada de lado, pois são desenvolvidas: (i) ações para mudar conceitos e valores na relação das pessoas com o meio ambiente através de atividades de Gestão Ambiental e Educação Ambiental

Rural; (ii) ações de Gestão de Recursos Hídricos são previstas para efetivar a Política Estadual de Recursos Hídricos através da implementação de instrumentos de gestão e o fortalecimento da capacidade de integração e participação nos comitês de bacias em bacias hidrográficas do Estado de Santa Catarina; (iii) ações de Gestão de Ecossistemas também são previstas para estruturar e implementar os Corredores Ecológicos adotando os mecanismos de incentivo para o pagamento de serviços ambientais. Contudo, não observamos no Microbacias III planos de ações voltadas especificamente para a conservação do solo e água como foi previsto no Microbacias I realizado no período de (1991-1999).

No Estado de São Paulo, o Microbacias II, com investimento de US\$ 130 milhões, abrange o período de (2011-2015). Tem como principal objetivo promover o desenvolvimento rural sustentável no Estado, ampliando as oportunidades de emprego e renda, a inclusão social, a preservação dos recursos naturais e o bem-estar da comunidade. Busca fortalecer a posição dos agricultores familiares nas cadeias produtivas e aumentar a competitividade da agricultura familiar paulista, considerando a sustentabilidade ambiental (CATI, 2014).

Porém, ao contrário da sua primeira fase denominada Programa Estadual de Microbacias Hidrográficas, realizada entre 1987 e 2008, que focou práticas conservacionistas, recuperação de matas ciliares e combate à erosão no campo, o Microbacias II paulista apresenta características mais econômicas e tem foco no apoio às iniciativas de negócio para facilitar o acesso do pequeno e médio agricultor ao mercado. Assim, o Microbacias II peca ao minimizar a atenção dada à implantação de práticas agrícolas sustentáveis, à recuperação de áreas degradadas e à conservação dos recursos naturais, pois, como o Estado de São Paulo é coberto em sua maior parte por solos suscetíveis à erosão (CATI, 2014), a ausência de práticas de manejo de solos contribui para o aumento dos processos erosivos.

Comparando as três versões atualizadas (Programas Paraná Rural, Santa Catarina Rural e Microbacias II do Estado de São Paulo), a versão do Paraná Rural é a que mais se aproxima da versão original, pois mantém como foco principal o desenvolvimento de ações para o controle dos processos erosivos dos solos. Já a versão SC Rural e Microbacias II focam a questão econômica da agricultura familiar, com a inserção e a permanência dos pequenos e médios produtores rurais no mercado competitivo, sendo que o SC Rural ainda mantém várias ações ambientais, mas que não são específicas para o controle da erosão. Já o projeto Microbacias II é basicamente voltado apenas para a questão econômica da agricultura familiar paulista.

Agora fazendo o comparativo entre todos os Programas e Projetos pesquisados (Produtor de Água, Paraná Rural, Microbacias de Santa Catarina e de São Paulo, Prodhm, Proambiente e as ações do CDA) é nítida a preocupação com o desenvolvimento sustentável, independentemente de suas políticas. No entanto, não encontramos estudos que apontam a redução dos processos erosivos nos solos brasileiros. Pelo contrário, ANA (2012) ressalta que processos erosivos dos solos brasileiros ainda causam grandes prejuízos (econômicos e sociais).

Os organizadores da nova versão do Paraná Rural também ressaltam a importância da retomada das práticas de conservação de solo e água, abandonadas ao longo do tempo, afirmando ser preocupantes a deterioração do solo, a perda de produtividade das lavouras paranaenses e a contaminação de mananciais de abastecimento de cidades e propriedades rurais (CATI, 2014). Os dados fornecidos pelo CDA (Figura 1) também indicam que é crescente o número de propriedades paulistas que apresentam áreas com problemas de erosão além dos níveis toleráveis.

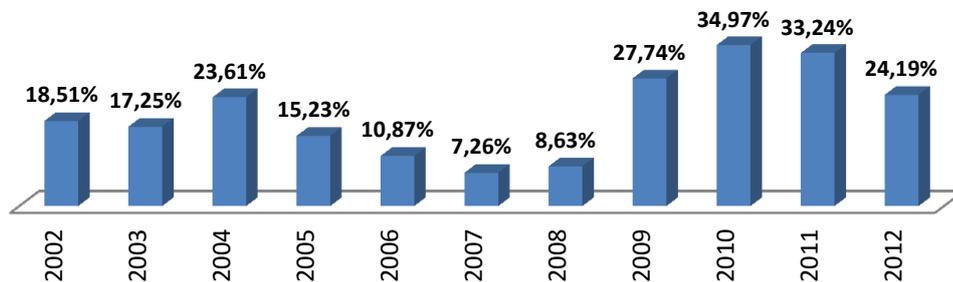


Figura 1: Relação entre as áreas inspecionadas pelo CDA e as áreas que apresentavam erosão

Mesmo diante de várias leis, projetos e programas, observamos que os processos erosivos no Brasil ainda são preocupantes. No caso de erosão em propriedades dos pequenos e médios produtores, a situação fica mais crítica e os programas de apoio tornam-se mais presentes. Isso porque os pequenos e médios produtores rurais muitas vezes têm dificuldade em termos técnicos e financeiros para arcar com os custos necessários para a recuperação da propriedade.

Enfim, independentemente das políticas (punitivas, de orientação ou compensação financeira) adotadas nos Programas e Projetos brasileiros, a conservação do solo e água não deveria ser vista como algo que o produtor usa ou não de acordo com uma necessidade

passageira. Mas deveria ser parte integrante das atividades cotidianas, independente das altas ou baixas produtividades. Portanto, para atingir a continuidade das ações para a conservação do solo e água, de maneira geral, os Programas e Projetos brasileiros atuais estão apostando na participação dos produtores rurais em todas as fases do processo (desde a elaboração até a execução das ações) como forma de elevação do nível de consciência coletiva dos produtores rurais e assim alcançar a percepção da necessidade de conservação do solo e da água sempre.

## 6 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

i. As primeiras Legislações brasileiras sobre o uso da terra datam do início dos anos de 1800, quando foram estabelecidas as primeiras instruções para o reflorestamento e para a manutenção de reservas florestais no Brasil mediante alvará com força de Lei.

ii. Mesmo que o Brasil tenha tradição na difícil aplicação e cumprimento das leis (Machado, 2010), ainda vigoram no Brasil Programas e Projetos que adotam políticas punitivas (princípio usuário-pagador ou poluidor-pagador) fundamentados em leis para a conservação dos solos contra a erosão hídrica.

iii. No Brasil também vigoram Programas e Projetos que adotam políticas de orientação (educação ambiental) através de atividades de extensão rural para convencer os produtores rurais a adotarem as práticas conservacionistas contra a erosão hídrica.

iv. Idealizado em 2001, mas posto em prática em 2006, o estado de Minas Gerais inova ao difundir para o Brasil o conceito de pagamentos por serviços ambientais aos produtores rurais que adotam práticas conservacionistas (princípio protetor-recebedor).

v. Dentre os Programas brasileiros de conservação do solo e água, o Programa Produtor de Água inova ao sair da tradição do repasse de recursos para financiar as obras ou equipamentos na fase de implantação das ações. Inaugura nova era, na qual há a concessão de estímulo financeiro após verificação dos serviços ambientais efetivamente prestados pelos agentes públicos ou privados.

vi. Os Programas e Projetos de conservação de solo e água de políticas punitivas, adotam a espacialização territorial ao nível de propriedade para a aplicação das punições.

vii. Já os Programas e Projetos de políticas preventivas e educativas para a conservação de solo e água adotam gestão descentralizada e participativa. Envolvem vários agentes da sociedade e estabelecem a bacia ou microbacia hidrográfica como unidade territorial para a realização de suas ações.

viii. A espacialização ao nível de bacias ou microbacias hidrográficas favorece a integração entre as famílias moradoras da microbacia elevando o nível de organização coletiva entre elas. Também facilita a integração entre as instituições e a organização entre os espaços urbano e rural.

ix. Dentro da dicotomia em que a agricultura é atividade altamente dependente dos recursos naturais solo-água, mas ao mesmo tempo produz poluição difusa sobre os mesmos (Antoniazzi, 2008), apenas políticas punitivas (usuário-pagador ou poluidor pagador) não são suficientes para se alcançar o desenvolvimento sustentável. Portanto, as políticas preventivas são necessárias para o controle da erosão hídrica no âmbito rural.

x. Na política preventiva, o princípio do usuário-pagador ou poluidor pagador deixa de ser exclusivo e passa a ser complementado pelo princípio do protetor-recebedor. Assim, os pagamentos por serviços ambientais (PSAs) fazem parte da realidade brasileira para o controle da erosão hídrica rural.

xi. Contudo, diante de todos os Programas e Projetos pesquisados podemos afirmar que os processos erosivos no Brasil ainda são considerados um problema de ordem social, econômica e ambiental. Entretanto, esse problema deveria ser melhor estudado através de indicadores que quantifiquem os resultados alcançados pelas ações dos Programas e Projetos de conservação de solo e água.

## 7 - REFERÊNCIAS

ANA – Agência Nacional de Água. **Boas Práticas e Modernas Tecnologias em Irrigação**. Brasília: ANA, 2008.

ANA – Agência Nacional de Água. **Programa Produtor de Água: manual operativo**. Brasília: ANA, 2012.

ANA – Agência Nacional de Águas. Disponível [http://www.ana.gov.br/ produagua](http://www.ana.gov.br/produagua). Acesso 13/01/2014.

ANTONIAZZI, L. B. Agricultura como provedora de serviços ambientais para proteção de bacias hidrográficas. **Revista Tecnologia e Inovação Agropecuária**, 2008. Disponível em [www.apta.sp.gov.br](http://www.apta.sp.gov.br), acesso 13/06/2012.

AVANZI, J. C.; L. A. C; Ricardo Carvalho, R. Proteção legal do solo e dos recursos hídricos no Brasil. **Revista em Agronegócios e Meio Ambiente**, v.2, n.2, p. 115-128, 2009.

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

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**. São Paulo: Ícone, 1990, 355 p.  
CASÃO JUNIOR, R.; ARAÚJO, A.G.; RAFAEL FUENTES LLANILLO, R. F. **Plantio direto no Sul do Brasil: Fatores que facilitaram a evolução do sistema e o desenvolvimento da mecanização conservacionista**. Londrina: IAPAR, 2012. 77 p.

CATI – Coordenadoria de Assistência Técnica Integral. Disponível <http://www.cati.sp.gov.br>. Acesso 03/07/2014.

CDA - Coordenadoria de Defesa Agropecuária. Disponível em <http://www.cda.sp.gov.br>, acesso em 04/01/2014.

CLAASSEN R.; BRENEMAN. V; BUCHOLTZ S.; CATTANEO. A; JOHANSSON. R.; MOREHART. M. Environmental Compliance in U. S. Agricultural Policy: Past Performance and Future Potential, AER-832, U.S. Department of Agriculture, Economic Research Service, 2004.

COOPER, J. C. A joint framework for analysis of agri-environmental payment programs. **American Journal Of Agricultural Economics**, v. 85(4), p. 976-987, 2003.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S.; HERNANDEZ FILHO, P.; FLORENZANO, T.G.; DUARTE, V. **Curso de sensoriamento remoto aplicado ao zoneamento ecológico-econômico**. São José dos Campos: INPE, 1996. 18 p. (INPE-6145-PUD/028).

CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S.; HERNANDEZ FILHO, P.; FLORENZANO, T.G.; DUARTE, V.; BARBOSA, C. C. F. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial**. São José dos Campos: INPE, 2000. 80p. (INPE-7498-PRP/221).

FERRARO, P. Global habitat protection: limitations of development interventions and a role for conservation performance payments. **Conservation Biology**. n. 15, p. 990–1000, 2001.

FSA - FOOD SECURITY ACT OF 1985. United States, Public Law 99 - 198, **Title XII: Conservation**. 99 Stat. 1504, 23 dec. 1985.

HARTMANN, P. **A Cobrança pelo Uso da Água como Instrumento Econômico na Política Ambiental**. AEBA, Porto Alegre, 2010.

HESPANHOL, A. N. O PROGRAMA DE MICROBACIAS HIDROGRÁFICAS NO PONTAL DO PARANAPANEMA – SP. **Revista Geográfica de América Central**. Costa Rica. Número Especial EGAL, p. 1-14, 2011.

CATI – Coordenadoria de Assistência Técnica Integral. Disponível <http://www.cati.sp.gov.br>. Acesso 03/07/2014.

IAPAR – Instituto Agrônomo do Paraná. Disponível <http://www.iapar.br>. Acesso 17/05/2014.

MACHADO, P. L. O. A.; MADARI, B. E.; BALBINO, L. C. Manejo e conservação do solo e água no contexto das mudanças ambientais – Panorama Brasil. In: PRADO, R. B.; TURETTA, A. P. D.; ANDRADE, A. G. **Manejo e conservação do solo e da água no contexto das mudanças ambientais**. Rio de Janeiro. Embrapa Solos, p. 239-253, 2010.

MARTINI, L.C.; LANNA, A.E. Medidas compensatórias aplicáveis à questão da poluição hídrica de origem agrícola. **Revista da ABRH**, v. 8 (1), p. 111-136, 2003.

MORGAN R. P. C.; DUZANT J. H. Modified MMF (Morgan–Morgan–Finney) model for evaluating effects of crops and vegetation cover on soil erosion. **Earth Surf. Process. Landforms**, v. 32, pag. 90–106, 2008.

NEVES NETO, C. C.; HESPANHOL, A. N. A atuação do estado brasileiro no processo de modernização agrícola e a incorporação do conceito de microbacias hidrográficas nas políticas públicas. **Caderno Prudentino de Geografia**, v.1, n.31, 2009.

OLIVEIRA, A. O. S. A.; NEVES NETO, C. C. Geomorfologia e meio ambiente: o estudo da apropriação do relevo para o desenvolvimento ambiental do meio rural e o programa estadual de microbacias hidrográficas em são Paulo. **Revista Formação**, n. 15, v. 2, p. 89-99, 2008.

PATTANAYAK , S. K; WUNDER, S.; FERRARO, P. J. Show Me the Money: Do Payments Supply Environmental Services in Developing Countries? **Review of Environmental Economics and Policy**, v. 4 (2 ), p. 254 – 274, 2010.

PIMENTEL, D. et. al. Environmental and Economic Costs of Soil Erosion and Conservation Benefits. **Science**, v. 267, n. 5201, p. 1117-1123, 1995.

PL 5487/2009. **Projeto de Lei Federal**. Disponível [www.camara.gov.br](http://www.camara.gov.br). Acesso 25/01/2014.  
PROAMBIENTE - Programa de Desenvolvimento Socioambiental da Produção Familiar Rural. Disponível [www.proambiente.cnpm.embrapa.br](http://www.proambiente.cnpm.embrapa.br). Acesso 17/05/2014.

PRODHAM - Projeto de Desenvolvimento Hidroambiental. Disponível <http://prodham.srh.ce.gov.br>. Acesso 17/05/2014.

RODRIGUES, D. B. B. *et al.* **Nova abordagem sobre o modelo Brasileiro de serviços ambientais**. Rev. Bras. Ciênc. Solo, v. 35, n. 3. Viçosa, 2011.

SOMMERVILLE, M. *et al.* Impact of a Community-Based Payment for Environmental Services Intervention on Forest Use in Menabe, Madagascar. **Conservation Biology**. v. 24, n. 6, 2010.

THE CATSKILL CENTER. New York City’s Need for Water–The Watershed Agreement. Disponível [www.catskillcenter.org](http://www.catskillcenter.org). Acesso 20/01/2012.

WUNDER, S. The efficiency of payments for environmental services in tropical conservation. **Conservation Biology**. n. 21, p. 48–58, 2007.

## ARTIGO 2

### PANORAMA DO PROGRAMA PRODUTOR DE ÁGUA NO BRASIL<sup>4</sup>

#### SITUATION PROGRAM WATER PRODUCER IN BRAZIL

##### RESUMO

O Programa Produtor de Água tem como principal objetivo a proteção hídrica através de ações de recuperação da cobertura vegetal, conservação do solo e saneamento ambiental em propriedades rurais. Esse Programa adota os mecanismos dos pagamentos por serviços ambientais e, por ser recente, a disponibilização de informações atualizadas e detalhadas acerca de seus projetos é deficiente. Assim, nosso objetivo foi investigar o panorama do Programa Produtor de Água no Brasil no período de 2001 a 2014, cujos projetos estão espalhados pelo território nacional. Adotamos exploração descritiva através de questionário e análise estatística. Geramos o mapeamento das ações do Programa Produtor de Água como ferramenta de apoio à gestão ambiental na conservação de solo e água.

**Palavras chave:** Serviços Ambientais, PSA, Conservação de Solo.

##### ABSTRACT

The Water Producer Program aims to protect water through recovery actions of vegetation cover, soil conservation and environmental sanitation in rural properties. This program adopts the mechanisms of payment for environmental services and for being late, the availability of updated and detailed information about their projects is poor. So our objective was to investigate the panorama of the Water Producer Program in Brazil from 2001 to 2014, whose projects are spread throughout the country. We adopt descriptive exploration through a questionnaire and statistical analysis. We generate the mapping of actions of the Water Producer Program as environmental management support tool in soil and water conservation.

**Keywords:** Environmental Services, PSA, Soil Conservation.

---

<sup>4</sup> Manuscrito submetido em 12/08/2015 à Revista Engenharia Ambiental e Sanitária (RESA).

## 1 – INTRODUÇÃO

Diante das transformações impostas ao meio ambiente por ações antrópicas, a dotação de valor econômico é realidade global para regular o uso dos recursos naturais e traz o conceito de que esses recursos são bens ambientais (Ferraro, 2001; Cooper, 2003; Wunder, 2007; Sommerville *et al.*, 2010; Pattanayak, 2010). Para Hartmann (2010), a valoração monetária da natureza visa ter efeito positivo sobre a conscientização pública acerca dos problemas decorrentes do consumo ambiental. Tal valoração pode ser pela atribuição de valores pelo uso (usuário-pagador) ou, em caso de danos ambientais, pelo impedimento do uso (poluidor-pagador) e ainda pela proteção dos recursos naturais (protetor-recebedor).

Dentre as formas de valoração ambiental, destacamos o princípio de pagar a quem protege o meio ambiente. Esse princípio do protetor-recebedor surgiu nos Estados Unidos em 1985 pela necessidade de recuperar bacias hidrográficas americanas que sofriam com os impactos negativos das atividades agrícolas. Os EUA implementaram o programa de Pagamentos por Serviços Ambientais (PSAs), denominado Conservation Reserve Program (CRP), que promovia incentivo econômico para práticas de conservação do solo em propriedades rurais visando a proteção dos recursos hídricos (FSA, 1985; Claassen, 2004). O CRP tem como exemplo a cidade Nova York, que visando atender aos padrões do Safe Drinking Water Act de 1986, ao invés de investir em estação de tratamento, optou por adquirir e recuperar áreas da bacia de Castkill para conservar o manancial de abastecimento (The Catskill Center, 2004).

O conceito de protetor-recebedor não se restringiu apenas a ações preventivas para a conservação dos recursos hídricos. Os PSAs também são globalmente aplicados para créditos de carbono e conservação da biodiversidade. No caso do Brasil, Moraes (2012) cita o Programa de Desenvolvimento Socioambiental da Produção Familiar Rural (Proambiente) e o Bolsa Floresta como programas pioneiros de PSAs e de maior relevância em termos de utilização de esquemas de PSAs na Amazônia, vinculando serviços ambientais ligados ao carbono, água, qualidade do solo e biodiversidade.

Outro exemplo no Brasil de valoração ambiental pelo princípio do protetor-recebedor é o Programa Produtor de Água, desenvolvido pela Agência Nacional de Águas (ANA). Segundo Pereira *et al.* (2010) e ANA (2012), o Produtor de Água apoia o desenvolvimento de ações para a melhoria quali-quantitativa da água em bacias hidrográficas que há mananciais de abastecimento ou geração de energia. Tem como princípio a compensação financeira através

de PSAs aos produtores rurais que adotam, voluntariamente, práticas vegetativas e mecânicas para redução da erosão hídrica rural. Também beneficia as ações para redução de sedimentação, aumento da infiltração de água no solo, constância do regime de vazão e diminuição da poluição hídrica. Ou seja, o Programa Produtor de Água busca ações em três frentes: (i) Cobertura Vegetal em Matas Ciliares ou em Florestas (manutenção de áreas florestadas ou reflorestamento de áreas de preservação permanente degradadas); (ii) Conservação do Solo (implementação de práticas e manejos conservacionistas para a redução da erosão hídrica rural); e (iii) Saneamento Ambiental (apoio para adequar sistema de abastecimento de água, tratamento do esgoto e da coleta de resíduos das propriedades rurais).

O Programa Produtor de Água foi idealizado em 2001. Sua primeira experiência prática ocorreu apenas em 2006, após a criação da Lei Municipal nº 2.100 de 21 de dezembro de 2005, em Extrema/MG, através do projeto “Conservador das Águas” (Ana, 2008). Isso só foi possível com o início da cobrança pelo uso da água nas bacias hidrográficas do rio Paraíba do Sul e dos rios Piracicaba, Capivarí e Jundiá (PCJ), após os Comitês do PCJ decidirem alocar parte desses recursos para o pagamento das compensações financeiras aos produtores rurais (ANA, 2012).

O Produtor de Água é Programa Federal que consiste no fomento à conservação de solo e água mediante estabelecimento de parcerias entre diversas instituições, públicas e privadas. Trata-se do estabelecimento de arranjo organizacional entre as instituições interessadas, visando desenvolver projetos Produtor de Água locais onde cada participante contribui executando ações de suas especialidades. O comprometimento das instituições em relação ao Programa Produtor de Água é formalizado por Acordo de Cooperação Técnica. Cada instituição é autônoma, independente e detentora dos dados referentes às ações que lhes compete, embora esteja executando as ações no âmbito da parceria com a ANA.

Contudo, a disponibilização de material técnico com informações sobre os projetos do Programa Produtor de Água para o público interessado é deficiente. Esse fato negativo decorre da inexistência de setores que demandem a reunião de informações e dados técnicos produzidos nos respectivos projetos. Pois, mesmo a ANA sendo idealizadora e motivadora do desenvolvimento dos projetos Produtor de Água em diversas regiões, ainda não dispõe da reunião de informações detalhadas de cada projeto. Apenas nos casos que envolvem transferências financeiras no âmbito do Programa Produtor de Água, algumas informações são disponibilizadas no Sistema de Gestão de Convênios e Contratos de Repasse do Governo Federal (Siconv).

Diante da deficiência na disponibilização de informações, neste artigo, nosso objetivo foi investigar o panorama atual do Programa Produtor de Água no Brasil e construirmos indicadores que sirvam de apoio à gestão ambiental na conservação de solo e água. Buscamos reunir informações operacionais de cada projeto caracterizando as ações existentes entre os atores envolvidos (produtores rurais e gestores públicos). Assim, esperamos contribuir para a gestão dos projetos do Programa Produtor de Água e principalmente para o entendimento dos mecanismos de PSAs na gestão de políticas de conservação de solo e água.

## 2 – METODOLOGIA

No Brasil, encontramos alguns trabalhos tais como Moraes (2012), Manfredini (2014), Jardim & Bursztyn (2015) que tratam dos mecanismos de PSAs considerando como objeto de estudo os projetos do Programa Produtor de Água. Mas a maioria dos autores apenas tipificam os projetos de PSAs de forma qualitativa e se aprofundam nas questões políticas dos PSAs. Entretanto, como os esquemas de PSAs são recentes, as informações disponíveis para avaliar as consequências dos serviços ambientais ainda são restritas e necessitam de estudos mais quantitativos.

Uma alternativa para mensuração dos serviços ambientais é através de indicadores ou através de aplicação de índices de qualidade que compilem diversos resultados de parâmetros isolados, resumindo-os em uma única resposta (Turetta, 2010). Nesse sentido, encontramos o trabalho de Zanella (2014) que analisou alguns projetos do Programa Produtor de Água estatisticamente para verificar a participação de produtores rurais em projetos de PSAs.

Também adotamos os projetos do Programa Produtor de Água para nossos estudos buscando analisá-los de forma quantitativa através de quatro indicadores: (i) Identificação Espacial e Temporal dos Projetos; (ii) Instituições Envolvidas e Formas de Pagamentos; (iii) Abrangência do Programa; e (iv) Manutenção e Controle do Programa. Para obtenção desses indicadores, inicialmente, elencamos a base histórica do Programa Produtor de Água da ANA. Depois, coletamos dados e informações operacionais nos sites da ANA e dos órgãos gestores de cada projeto do Produtor de Água, compreendendo o período entre 2001 e 2014.

Para dados e informações não disponibilizados nos sites, o contato foi direto com a ANA, via correio eletrônico, e com os gestores de cada projeto, via entrevistas, a partir de questionário com questões abertas que abordaram os itens: i. *Projetos*: padronizar os nomes em função da bacia hidrográfica devido às várias formas que um mesmo projeto é citado; ii.

*Localização*: identificar os projetos pelo município e unidade da federação para melhor compreensão da padronização das nomenclaturas e também para análises espaciais; iii. *Datas*: estabelecer tempo médio de negociações até se iniciar um projeto para conscientizar futuros proponentes de projetos; iv. *Órgãos proponentes*: direcionar e estimular órgãos correlatos a também iniciarem seus projetos de conservação de solo e água; v. *Formas de pagamentos*: verificar os órgãos fomentadores e a efetivação dos pagamentos aos produtores; vi. *Produtores cadastrados*: verificar o nível de adesão aos projetos; vii. *Áreas*: estimar o alcance territorial do Programa Produtor de Água; viii. *Educação Ambiental*: identificar outras ações para continuidade das atividades de conservação do solo e água após encerramento dos contratos de repasse das verbas para os PSAs; e ix. *Monitoramento*: verificar quais são os indicadores adotados pelos projetos, ou seja, como são feitos ou previstos os acompanhamentos da evolução e do desempenho das ações.

Os dados foram coletados junto aos 21 projetos do Programa Produtor de Água e tratados como população e não como amostra, pois dos 22 projetos que totalizavam o Programa Produtor de Água no período analisado, apenas 1 não respondeu ao questionário. Outro fato a salientar é que, mesmo não fazendo parte do escopo deste trabalho, como utilizamos dados operacionais, portanto variáveis dinâmicas, essas variáveis poderão ser inseridas em Banco de Dados e serem constantemente atualizadas. Inclusive com a inserção de novos projetos do Programa Produtor de Água. Assim, os indicadores aqui obtidos poderão ser atualizados e o monitoramento do Banco de Dados permitirá análises futuras do Programa Produtor de Água e verificação do nível de eficácia quanto a sua concepção baseada nos mecanismos de PSAs.

### **3 – RESULTADOS E DISCUSSÃO**

#### **3.1 – Da valoração de bens ambientais ao Programa Produtor de Água no Brasil**

O meio ambiente como sistema intrínseco possui bens, como o solo, a água, o ar, a flora e as belezas cênicas, que se unem estabelecendo elo que se rompido provocará desequilíbrio tanto à natureza como ao próprio homem. Com base nesse elo, Freitas Filho (2012) menciona que os bens que não pertencem ao Estado nem aos cidadãos são bens de natureza difusa em que não há um titular específico ou único, mas que são bens de uso comum do povo e essenciais à qualidade de vida. Diante desse pensamento de sistema

intrínseco, a Constituição Brasileira de 1988 rompe com a defasada dicotomia entre o bem público e o bem privado. E, estabelece os bens ambientais com suporte em uma sociedade crescente que consagra direitos que ultrapassam o campo individual e atinge o coletivo (Freitas Filho, 2012).

Como ocorre em diversos países, o Brasil também vem utilizando as forças de mercado (valoração dos bens ambientais) para melhorar ou manter a qualidade ambiental, cujos conceitos de serviços ecossistêmicos e serviços ambientais são cada vez mais difundidos. Os serviços ecossistêmicos são aqueles prestados pelos ecossistemas naturais e pelas espécies que os compõem e que são imprescindíveis para a permanência da vida humana na Terra. Já os serviços ambientais são as atividades humanas individuais ou coletivas que podem favorecer a manutenção, a recuperação ou o melhoramento dos serviços ecossistêmicos. Ou seja, os serviços ecossistêmicos são gratuitamente prestados pela natureza, mas os serviços ambientais, que compreendem a conservação dos ecossistemas através de atividades humanas, incidem em custos que, na atual conjuntura, devem ser pagos por quem consome o bem ambiental prestado pelos ecossistemas.

Contudo, pagar por serviços ambientais gera conflitos em torno do uso dos recursos naturais, pois a opinião pública normalmente considera “injusto ou imoral” cobrar por recursos naturais (Hartmann, 2010). Porém, os neoclássicos da economia ambiental acreditam que a visão econômica em relação a fenômenos ecológicos é procedimento que, além de evidenciar, busca combater o consumo ambiental desordenado (Hartmann, 2010; Godoy, 2011). Outra vertente da valoração ambiental é tratada em Faria (2015) que faz a seguinte reflexão: “sendo um proprietário rural e tendo o dever de preservar ou restaurar parte de sua área com Reservas Florestais, não poderia também ter o direito de ser indenizado por não poder usufruir dessas áreas com outras alternativas econômicas?”

Essas questões atuais de pagar ou receber por serviços ambientais tem origem remota. A valoração ambiental fundamenta-se na teoria de Pigou (1920) na qual as externalidades, positivas ou negativas, correspondem aos efeitos sociais decorrentes da decisão de um agente privado. Esse autor afirma que os custos dos efeitos sociais (valoração) devem ser adicionados aos custos privados através do processo de internalização das externalidades. No caso de externalidades negativas, propôs a utilização de mecanismos de cobrança (impostos, taxas e multas). Se externalidades positivas, defendeu subsídios para as atividades realizadas. E, em ambos os casos, argumentou que a existência de externalidades é justificativa suficiente para a intervenção do governo.

No Brasil, configura-se na política nacional o princípio do usuário-pagador ou poluidor-pagador. No entanto, o princípio de pagar a quem protege o meio ambiente, o protetor-recebedor, representado pelos pagamentos por serviços ambientais (PSAs), vem sendo aplicado no Brasil mesmo que ainda não haja Lei Federal sancionada<sup>5</sup>. O que há são discussões e debates para fornecer a sua base jurídica, cujas ações que podem ser objeto de PSAs são aquelas que sequestram carbono, que contribuem para a conservação da biodiversidade e também para a proteção da água.

A construção da política brasileira de PSAs teve início em 2001. Segundo Eloy *et al.* (2013) a formação de comitês de bacias hidrográficas e o estabelecimento do sistema de cobrança pelo uso da água, Lei Federal 9433/97, estão na origem do estímulo à criação dos primeiros PSAs no Brasil para proteção da água. Com o início da implantação da cobrança pelo uso da água<sup>6</sup>, a ANA buscou desenvolver projetos como sugestão de aplicação dos recursos da cobrança. Segundo ANA (2012), o primeiro projeto foi através do Programa Federal de Despoluição de Bacias Hidrográficas (PRODES), criado em 2001, que não financiava a fase de obras ou equipamentos para implantação e operação de estações de tratamento de esgotos. Somente concedia estímulo financeiro aos prestadores de serviço de saneamento na forma de pagamento pelo esgoto efetivamente tratado. Diante dos resultados positivos do PRODES, a ANA também desenvolveu no âmbito da União o Programa Produtor de Água, uma ferramenta de articulação entre a Agência, os usuários e o setor rural, sob a ótica principal de proteção hídrica através dos PSAs.

Para a criação do Programa Produtor de Água, a ANA considerou que toda vez que um ou mais produtor rural adota práticas sustentáveis, gera benefícios sociais aos usuários da bacia hidrográfica. Esses usuários passam a dispor de água em qualidade e quantidade mais adequadas às suas demandas e pagam por isso. Em contrapartida, os produtores deveriam receber pelos benefícios *off-site* gerados. Essa política é baseada na política americana preventiva de conservação dos recursos hídricos pelo controle da erosão por meio de PSAs. O princípio da compensação financeira fundamenta-se na existência de uma transação contratual

---

<sup>5</sup> No âmbito nacional, Projetos de Leis

Federais relacionados aos PSAs ainda encontram-se tramitando pelo Congresso Nacional. Por exemplo, o PL 792/2007 que dispõe sobre a Definição de Serviços Ambientais e o PL 1274/2011 que propõe o Programa Nacional de Compensação por Serviços Ambientais e o Fundo Federal de Pagamento por Serviços Ambientais ainda encontram-se na Comissão de Finanças e Tributação da Câmara dos Deputados.

<sup>6</sup> Tanto os mecanismos de cobrança pelo uso de recursos hídricos, como a definição da aplicação dos recursos arrecadados são estabelecidos pelos comitês de bacia hidrográfica através dos planos de bacia.

entre comprador (pagador pelo serviço ambiental) e vendedor (provedor do serviço ambiental). Portanto, o instrumento que recompensa os produtores rurais do Produtor de Água não constitui subsídio agrícola posto que o pagamento é proporcional ao serviço ambiental prestado.

Entendemos que a política do Programa Produtor de Água vem ao encontro da atual política de desenvolvimento agrícola no Brasil. Segundo MMA (2014), a construção de uma política de desenvolvimento agrícola socialmente incluyente, economicamente viável e ambientalmente sustentável é o modelo atual para se pensar a agricultura como programa de produção agrícola integrado, fortalecendo o componente de manejo ambiental da propriedade. Desta forma, visando à harmonia entre a produção agrícola e a conservação ambiental, o Programa Produtor de Água utiliza a compensação financeira para incentivar os produtores a adotarem, voluntariamente, práticas e manejos conservacionistas para redução da erosão hídrica rural.

Até 2014, são 23 projetos do Programa registrados na ANA. Algumas propostas de projetos são citadas, mas não evoluem para parceria efetiva com a ANA. Outros projetos são habilitados em Edital da ANA, mas não evoluem para as práticas do Programa Produtor de Água, como é o caso do Projeto Produtor de Água Sub-Bacia do Rio Misericórdia, em Ibiá/MG, que é um projeto de revitalização de bacia sem as premissas do Produtor de Água. Assim, adotamos 22 projetos como objeto de estudo (Tabela 1).

TABELA 1 - Projetos do Programa Produtor de Água registrados na ANA

PROJETOS	UF	Município	Ano Início Negociações	Ano Formalização
Projeto Conservador das Águas - Bacia do Rio Piracicaba - Sub Bacias Ribeirão das Posses, Ribeirão do Salto e Ribeirão dos Forjos	MG	Extrema	2002	2005
Programa Produtor de Água nas Bacias PCJ - Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá - Sub Bacias Ribeirão do Cancã e Córrego Moinho	SP	Joanópolis / Nazaré Paulista	2007	2008
Produtor de Água ProdutorES nas Bacias dos Rios Benevente, Guandu e São José	ES	Vários Municípios	2007	2008
Produtor de Água Bacia do Rio Uberabinha	MG	Uberlândia	2008	2008
Produtor de Água e Floresta Bacia Guandu	RJ	Rio Claro	2007	2009
Projeto Oásis Bacias dos Rios Ivaí, Pirapó e Tibagi*	PR	Apucarana	*	2009
Produtor de Água Bacia do Ribeirão Taquarussu	TO	Palmas	2009	2010
Produtor de Água Manancial Vivo na Bacia Córrego Guariroba	MS	Campo Grande	2009	2010
Produtor de Água Bacia Córrego Marinheirinho	SP	Votuporanga	2010	2010
Produtor de Água Bacia do Riozinho do Rôla	AC	Rio Branco	2008	2011
Produtor de Água Bacia do Rio Doce	MG	Viçosa	2009	2011
Produtor de Água Bacia do Ribeirão Guaratinguetá	SP	Guaratinguetá	2010	2011
Produtor de Água Bacia do Rio Pardo	RS	Vera Cruz	2010	2011
Produtor de Água Bacia do Ribeirão Abóbora	GO	Rio Verde	2010	2011

Produtor de Água Bacia do Ribeirão Pipiripau	DF	Brasília	2010	2011
Produtor de Água Bacia Córrego Feio	MG	Patrocínio	2008	2012
Produtor de Água Pratigi Bacia do Rio Juliana	BA	Vários Municípios	2012	2012
Produtor de Água Bacia do Rio Claro	MG	Vários Municípios	2012	2012
Produtor de Água Bacia do Ribeirão João Leite	GO	Vários Municípios	2009	2013
Produtor de Água Bacia do Rio Camboriu	SC	Camboriu	2009	2013
Produtor de Água Bacia do Rio Macaé	RJ	Macaé / Nova Friburgo	2011	2013
Produtor de Água Bacias do São Francisco	MG	Cedro do Abaeté	2011	2014

\* Não atenderam à pesquisa

### 3.2 – Análise Temporal e Espacial dos Projetos

Considerando que o Programa Produtor de Água tem 10 anos de existência e 22 projetos, em média são duas adesões ao programa por ano. Mas a inserção de novos projetos a cada ano é bem variável (Figura 1) e pode ocorrer de duas formas: (i) através de participação em edital de chamamento público aberto pela ANA e (ii) através de projeto enviado à ANA. Segundo ANA (2012), dentre os critérios de seleção, os projetos devem contemplar bacias ou sub-bacias hidrográficas que sejam mananciais de abastecimento de água para uso urbano ou industrial ou mananciais de fornecimento de água para a geração de energia elétrica.

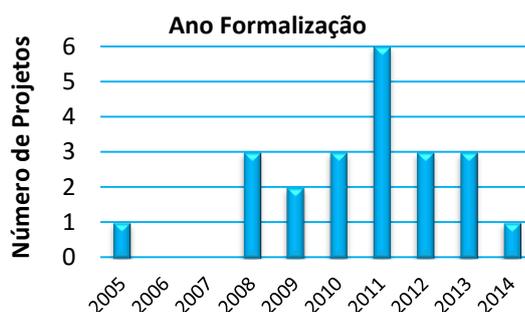


Figura 1: Frequência em que os projetos do Programa Produtor de Água são formalizados junto à ANA

O tempo que os projetos levam desde suas primeiras negociações até sua formalização junto à ANA (Figura 2) depende basicamente do empenho político-administrativo e pode levar menos de um ano (19%) ou até três ou quatro anos. Mas a maioria dos projetos demanda o período em torno de um ano mostrando que, mesmo que ainda não haja uma Política Nacional de Serviços Ambientais regulamentada, as tramitações desses projetos de PSAs são relativamente rápidas.

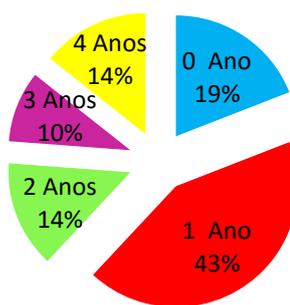


Figura 2: Tempo de negociação para formalizações dos projetos do Programa Produtor de Água

Considerando a distribuição espacial (Figura 3), Minas Gerais vem estimulando políticas de PSAs para a gestão da conservação do solo e água, fazendo com esse Estado se destaque no cenário nacional. Tal empenho se dá porque o Estado de Minas Gerais, que participa da Rede Iberoamericana de Bosques Modelo e teve em 2005 os bosques de Pandeiros e da Mata Atlântica reconhecidos como Bosques Modelo, acredita que para conservar esses bosques os produtores rurais deixam de produzir em suas próprias terras e deveriam ser recompensados por isso. Então, desde 2006, Minas Gerais vem adotando a política da compensação financeira a produtores rurais para minimizar suas possíveis perdas econômicas, tanto com a preservação de áreas como com a adoção de práticas conservacionistas.

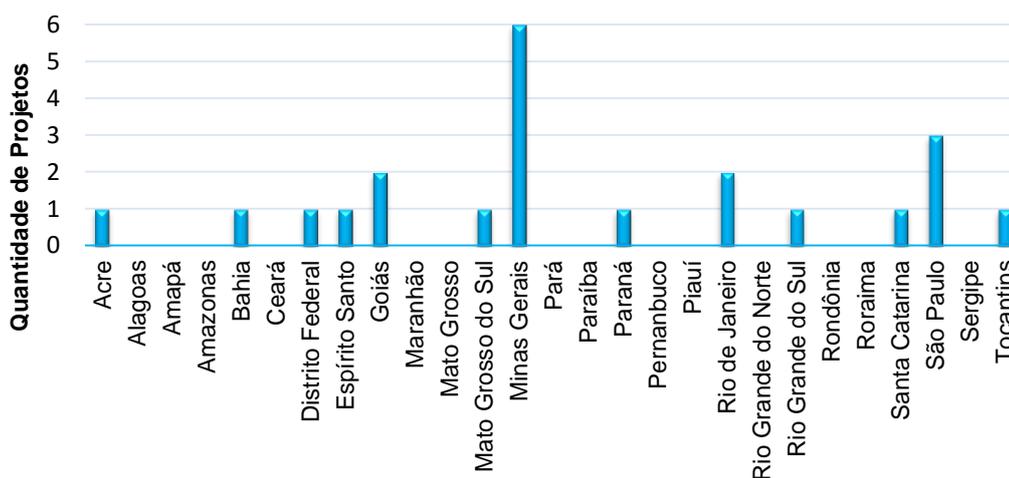


Figura 3: Distribuição dos projetos do Programa Produtor de Água por Estados

Juntamente com Minas Gerais, o Estado de São Paulo também se destaca contribuindo para que a região sudeste possua o maior número de projetos do Programa Produtor de Água (Figura 4). Ao contrário, a região nordeste, que sofre com secas anuais concomitantemente,

possui o menor número de projetos. Destacamos, então, a necessidade de se rever a política de compensação financeira desse Programa para a região nordeste. Também destacamos o fato da região sul não investir muito em projetos do Programa Produtor de Água, visto que os três Estados da região sul sempre estiveram na vanguarda dos projetos conservacionistas de solo e água com destaque para os programas Paraná Rural e Microbacias.

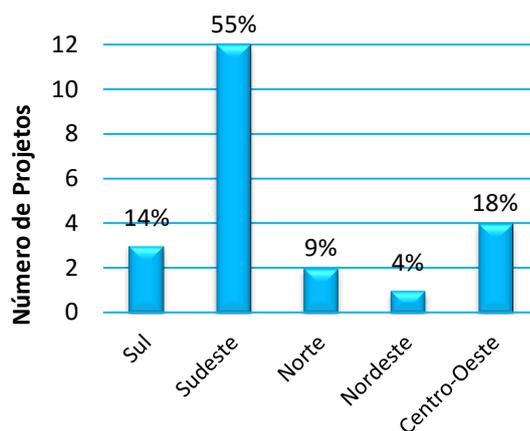


Figura 4: Distribuição dos projetos do Programa Produtor de Água por Regiões

### 3.3 – Instituições e Formas de Pagamentos

Generalizando, todos os projetos do Programa Produtor de Água se baseiam no princípio provedor-recebedor e objetivam primordialmente a melhoria quali-quantitativa dos recursos hídricos. Adotam ações para aumentar a cobertura vegetal, práticas e manejos conservacionistas para redução da erosão hídrica e diminuição da poluição difusa rural. São voluntários e flexíveis no que diz respeito a práticas e manejos propostos. Os PSAs são baseados no cumprimento de metas e os pagamentos são estratégias de estímulo à conservação dos ecossistemas e não constituem subsídios e nem prática assistencialista, pois os produtores rurais prestam serviços ambientais.

No entanto, através do Indicador Instituições e Formas de Pagamentos foi possível verificar que cada projeto possui suas peculiaridades quanto à diversidade dos órgãos proponentes e à forma de recursos financeiros para beneficiar seus produtores rurais. Há desde instituto de meio ambiente até empresas particulares (Tabela 2). Ressaltando que a ANA somente é idealizadora em parceria com outros órgãos e que ela não fomenta os PSAs propriamente ditos. A ANA participa como fomentadora em assistência técnica e articulação interinstitucional. Eventualmente, apoia com transferência voluntária de recursos financeiros

apenas para ações específicas como estudos, diagnósticos, práticas conservacionistas de vegetação, solos, água, estradas, dentre outras.

TABELA 2 – Órgãos proponentes e formas de pagamentos aos produtores rurais no Brasil

PROJETO	Órgão Proponente	PSA Ativo	Fomentador para os PSAs	Pagamento em Espécie
Extrema/MG	Prefeitura (Municipal)	Sim	Prefeitura (Municipal)	Sim
PCJ/SP	Comitês de Bacia e TNC (Estadual e ONG - Misto)	Sim	Comitês de Bacia PCJ (Estadual)	Sim
ProdutorES/ES	IEMA - Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (Estadual)	Sim	Fundágua - Fundo Estadual Recursos Hídricos e Florestais do Espírito Santo (Estadual)	Sim
Uberlândia /MG	Demae - Companhia Saneamento (Municipal)	Não	Demae (Municipal)	Não
Apucarana/PR	*	*	*	*
Guandu/RJ	INEA - Instituto Estadual do Ambiente (Estadual)	Sim	Comitê da Bacia (Estadual)	Sim
Taquarussu/TO	Foz / Saneatins (Privado)	Não	Companhia de Saneamento (Privado)	Sim
Guariroba/MS	Prefeitura (Municipal)	Sim	Prefeitura e Ministério Público (Municipal e Estadual - Misto)	Sim
Votuporanga/SP	Prefeitura e gestor Saev - Companhia Água Esgoto (Municipal)	Sim	Prefeitura e Programa Mina d' Água (Municipal e Estadual - Misto)	Sim
Rio Branco/AC	Prefeitura e Secretaria Municipal de Meio Ambiente (Municipal)	Não	Em negociação	Sim
Viçosa/MG	SAAE - Companhia Saneamento (Municipal)	Não	SAAE (Municipal)	Sim
Guaratinguetá/SP	Prefeitura (Municipal)	Sim	Prefeitura, Saeg, Basf (Municipal e Privado - Misto)	Sim
Vera Cruz/RS	Universo Tabacos e Universidade (Privado)	Sim	Fundacion Altadis (Privado)	Sim
Rio Verde/GO	Prefeitura (Municipal)	Sim	Fundo Municipal de Meio Ambiente	Sim
Pipiripau/DF	Adasa - Agencia Reguladora e ANA (Distrital e Federal - Misto)	Sim	Cabesb-Companhia Saneamento (Distrital)	Sim
Patrocínio/MG	Daepa - Departamento Saneamento (Municipal)	Não	Daepa (Municipal)	Sim
Pratigi/BA	Consórcio Intermunicipal (Municipal)	Sim	Fundação Odebrecht (Privado)	Sim
Rio Claro/MG	Seapa - Secretaria Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Estadual)	Não	Produtores que demandam água e Comitê de Bacia (Privado e Estadual - Misto)	Sim
João Leite/GO	Ministério Público e ANA (Estadual e Federal - Misto)	Não	Saneago-Saneamento de Goiás S.A. (Estadual)	Sim
Camboriu/SC	Emasa - Companhia Saneamento e Prefeitura (Municipal)	Sim	Emasa (Municipal)	Sim
Macaé/RJ	Comitê Bacia e ANA (Estadual e Federal - Misto)	Não	Comitê de Bacia e Companhia Saneamento (Estadual e Municipal - Misto)	Sim
Cedro Abaeté/MG	Prefeitura (Municipal)	Não	Em negociação	Sim

\* Não atenderam à pesquisa

A maioria dos projetos do Programa Produtor de Água é proposta (Figura 5a) e fomentada (Figura 5b) por prefeituras através dos setores de saneamento. Isso mostra a predominância dos departamentos ou companhias municipais de água e esgoto como proponentes e fomentadores do esquema de PSAs para conservação de solo e água. Tal predominância ocorre porque os setores de saneamento são diretamente beneficiados pela

melhoria qualitativa dos recursos hídricos através da diminuição da poluição hídrica rural.

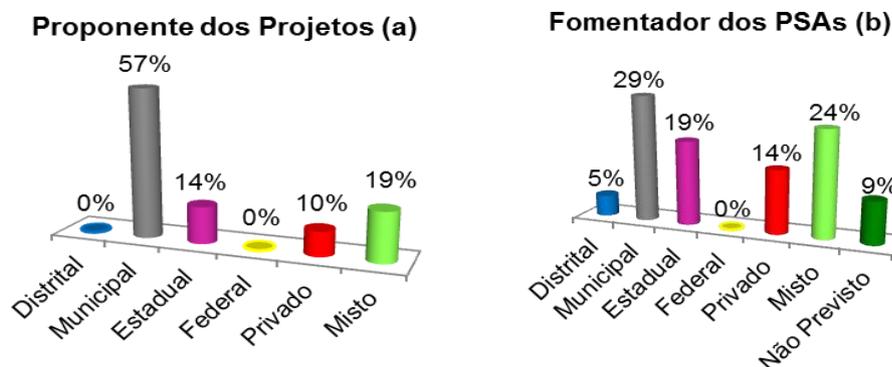


Figura 5: Distribuição dos Proponentes (a) e Fomentadores dos PSAs (b) do Programa Produtor de Água

No caso de Minas Gerais, a relação direta (Produtor de Água x Setores de Saneamento) não é mero acordo. Pois, a Lei Estadual n.º 12.503/97 estabelece que as empresas concessionárias de serviços de abastecimento de água e de geração de energia elétrica ficam obrigadas a investir o mínimo de 0,5% de sua receita operacional (valor bruto) na proteção e na preservação ambiental da bacia hidrográfica explorada. Com base na referida Lei, que dispõe sobre a Criação do Programa Estadual de Conservação da Água, o Ministério Público de Minas Gerais vem cobrando das empresas concessionárias de serviços públicos de abastecimento de água o investimento na preservação ambiental das bacias exploradas. Isso vem fazendo com que quase todos os projetos Produtor de Água de Minas Gerais sejam propostos e/ou fomentados pelos órgãos de saneamento (Tabela 2).

Quanto aos pagamentos aos produtores rurais (Figura 6), a maioria dos projetos encontra-se com os PSAs ativos. E nos não ativos, os projetos encontram em fase inicial de diagnósticos, ou em negociação com os agentes fomentadores, ou em fase de ajustes finais para assinaturas dos contratos de repasse. O critério de pagamentos aos produtores é em espécie. A única exceção é o Produtor de Água Bacia do Rio Uberabinha, em Uberlândia/MG, que não adota pagamentos em espécie, mas apenas o fornecimento de mão de obra e insumos aos produtores para as atividades previstas. Isso mostra a versatilidade na forma de remuneração para os mecanismos de PSAs.

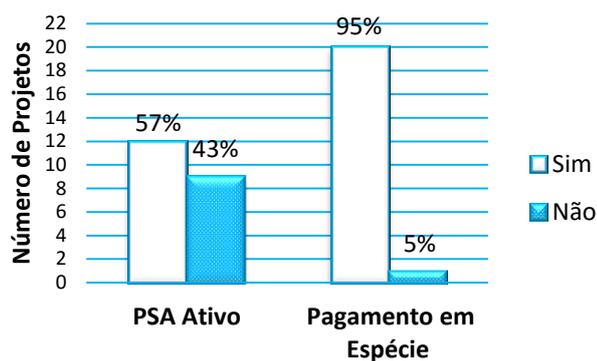


Figura 6: Formas de pagamentos aos produtores rurais do Programa Produtor de Água

### 3.4 – Abrangência do Programa

Em termos de abrangência do Programa Produtor de Água (Tabela 3), verificamos baixos valores tanto em quantidade de produtores beneficiados como de extensão territorial.

TABELA 3 – Abrangência do Programa Produtor de Água no Brasil

PROJETOS	Produtores Previstos no Projeto	Produtores Aptos para Receberem PSA	% de Produtores Aptos para Receberem PSA	Área da Bacia (Km <sup>2</sup> )	Área de Ação (Km <sup>2</sup> )	% da Bacia Trabalhada
Extrema/MG	408	161	39.46	12600	74	0.59
PCJ/SP	350	41	11.71	2720	76	2.79
ProdutorES/ES	445	407	91.46	5759	622	10.80
Uberlândia /MG	300	129	43.00	1000	1000	100.00
Apucarana/PR	*	*	*	*	*	*
Guandu/RJ	63	52	82.54	1900	52	2.74
Taquarussu/TO	70	9	12.86	397	15	3.78
Guariroba/MS	60	5	8.33	362	150	41.44
Votuporanga/SP	85	18	21.18	1395	340	24.37
Rio Branco/AC	50	39	78.00	7637	0.30	0.00
Viçosa/MG	40	26	65.00	15	2	13.33
Guaratinguetá/SP	**	52	**	**	**	**
Vera Cruz/RS	150	70	46.67	3700	52	1.41
Rio Verde/GO	60	29	48.33	60	60	100.00
Pipiripau/DF	420	18	4.29	235	120	51.06
Patrocínio/MG	50	28	56.00	100	100	100.00
Pratigi/BA	2000	45	2.25	300	70	23.33
Rio Claro/MG	100	**	**	1000	500	50.00
João Leite/MG	750	82	10.93	761	36	4.73
Camboriu/SC	18	8	44.44	200	137	68.50
Macaé/RJ	**	**	**	1765	432	24.48
Cedro Abaeté/MG	43	43	100.00	120	90	75.00
<b>TOTAL</b>	<b>5462</b>	<b>1262</b>		<b>42026</b>	<b>3928</b>	
<b>Média</b>	<b>287</b>	<b>66</b>	<b>23.11</b>	<b>2101</b>	<b>196</b>	<b>9.35</b>

\* Não atenderam à pesquisa

\*\* Não possuíam esse dado

Em média, 23% dos produtores previstos na fase de diagnósticos dos projetos são habilitados para receberem os PSAs e esse valor corresponde a menos de 10% das áreas das bacias previstas. No entanto, esses percentuais baixos não desconfiguram o mérito do Programa Produtor de Água, pois os projetos são recentes e a maioria encontra-se em sua primeira fase de implementação. Muito dessa baixa abrangência se explica pelo fato dos próprios produtores não demonstrarem interesse em aderirem ao Programa. Por exemplo, o Produtor de Água Bacia do Ribeirão Taquarussu, em Palmas/TO, de 70 produtores visitados, apenas 15 atenderam ao chamamento do edital e 9 foram habilitados para receberem o PSA. Outro exemplo é o Produtor de Água Bacia do Ribeirão Pípiripau, em Brasília/DF, de 420 propriedades, apenas 130 demonstram interesse e 18 foram habilitados.

Durante as entrevistas, vários gestores tomaram a iniciativa de comentar o quanto é difícil trabalhar com os produtores rurais. Salientando que a desconfiança, o desconhecimento e os costumes dos agricultores brasileiros no trato com a terra, que vem de gerações, dificultam convencê-los a adotarem as práticas conservacionistas em suas atividades agrícolas. Zanella (2014) também constatou que a confiança e a participação dos produtores rurais na concepção de projetos de PSAs desempenham papel crucial nas decisões dos produtores participarem de esquemas de PSAs de forma sustentada.

Como a aversão a mudanças é fator limitante no convencimento dos produtores rurais a participarem do Programa Produtor de Água, gestores de projetos com PSAs precisam rever a forma de mobilização junto aos produtores e ações são necessárias para o aumento do número de adesões. Como bons exemplos, destacamos o projeto Produtor de Água ProdutorES nas Bacias dos Rios Benevente, Guandu e São José abrangendo vários municípios no Espírito Santo. Esse projeto atingiu quase a totalidade (91%) de adesões dos produtores ao projeto, sendo que todos os 407 produtores habilitados já receberam os PSAs. Tal nível de adesão se deu pela soma de esforços dos gestores do projeto e de outros gestores municipais e regionais. E também, devido ao convívio mais direto ressaltando o envolvimento interpessoal entre gestores, técnicos e produtores.

Outros projetos que também se destacam na forma de mobilização junto aos produtores rurais são: (i) Produtor de Água Bacia do Riozinho do Rôla, em Rio Branco/AC, com 78% de adesões dos produtores, cujo PSA não é o foco, mas sim a política de benfeitorias nas propriedades com recuperação de APPs, Certificação de Unidades Produtivas e Educação Ambiental; (ii) Produtor de Água Bacia do Rio Uberabinha, em Uberlândia/MG, que alcançou 43% de adesões mesmo não adotando pagamentos em espécie aos produtores,

pois a premissa básica é o diálogo com poder de convencimento e a Educação Ambiental através de programas de capacitação dos produtores; (iii) Produtor de Água Bacia do Rio Macaé, em Macaé-Nova Friburgo/RJ, que ainda na fase de diagnóstico está investindo em mobilização maciça através de oficinas, reuniões e rodas de conversa junto aos produtores rurais e comunidade em geral, e seus gestores esperam alcançar bom percentual de adesão ao projeto.

Contudo, podemos concluir que o número de adesões dos produtores aos projetos do Produtor de Água está diretamente ligado à maneira como os desenvolvedores dos projetos se aproximam dos produtores. Dessa forma, alertamos para a necessidade de estudos que possam contribuir para o aumento das adesões. Com base em nossas experiências anteriores em Educação Ambiental, sugerimos estudos com abordagem que primeiro chame a atenção dos produtores rurais para os lucros financeiros que eles possam obter e depois uma abordagem para os ganhos ambientais. Pois os lucros financeiros poderão aguçar e a Educação Ambiental trabalhar com a continuidade das ações.

Acreditamos que os esforços na mobilização junto aos produtores rurais deveriam ser para que eles entendam que ao aderirem a projetos de PSAs voltados à conservação de solo e água, além da sociedade ser beneficiada pela proteção dos recursos hídricos, os próprios produtores também são beneficiados financeiramente de duas formas distintas. Uma através dos PSAs proporcionais ao abatimento de erosão e outra através do ganho financeiro para o produtor através do aumento da sua produtividade agrícola. Então, por que não enfatizar nos primeiros contatos com os produtores o quanto eles podem lucrar? Pois, o Programa Produtor de Água constitui-se como forma de adicionar valor monetário aos proprietários rurais, seja de maneira direta através dos PSAs propriamente dito, seja indiretamente pelo aumento da produtividade agrícola.

### **3.5 – Manutenção e Controle do Programa**

Em termos de continuidade das ações do Programa Produtor de Água, buscamos analisar as formas de manutenção, relacionadas às ações para a Educação Ambiental, e as formas de controle relacionadas às ações para o monitoramento dos projetos (Tabela 4).

TABELA 4 – Manutenção e Monitoramento do Programa Produtor de Água no Brasil

PROJETOS	Formas de Educação Ambiental	Monitoramento
Extrema/MG	Ações com produtores, comunidade e escolas.	Qualidade e Quantidade de Água e Uso Cobertura Vegetal
PCJ/SP	Cursos, palestras, folders e conversas informais com os produtores.	Qualidade e Quantidade de Água
ProdutorES/ES	Através do convívio direto com produtores (maior envolvimento interpessoal).	Verificações Visuais <i>In loco</i>
Uberlândia /MG	Programa Escola Água Cidadã - palestras e visitas das escolas na Estação de Tratamento. Capacitação Produtores (muito diálogo, muito convencimento).	Qualidade e Quantidade de Água
Apucarana/PR	*	*
Guandu/RJ	Panfletos e reuniões com os produtores.	Verificações Visuais <i>In loco</i>
Taquarussu/TO	Reuniões com produtores rurais.	Verificações Visuais <i>In loco</i> e Controle da Água**
Guariroba/MS	Reuniões técnicas, unidades demonstrativas e oficinas, todas com produtores rurais.	Qualidade e Quantidade de Água
Votuporanga/SP	Capacitações mensais produtores e familiares, distribuição de brindes e reuniões abertas no entorno.	Qualidade de Água
Rio Branco/AC	Educação Ambiental como meta (cursos, reuniões produtores e oficinas na escola rural).	Verificações Visuais <i>In loco</i>
Viçosa/MG	Ações com produtores, comunidade e escolas.	Quantidade de Água
Guaratinguetá/SP	Dia de Campo, Reuniões e Folders em dias comemorativos.	Verificações Visuais <i>In loco</i>
Vera Cruz/RS	Produtores e Escola rural.	Qualidade e Quantidade de Água
Rio Verde/GO	Reuniões cada dois meses produtores.	Qualidade e Quantidade de Água
Pipiripau/DF	Ainda não (previsão para 2015).	Verificações Visuais <i>In loco</i> e Controle da Água**
Patrocínio/MG	Ainda não (previsão escolas, associações produtores e comunidade).	Qualidade e Quantidade de Água
Pratigi/BA	Comunicação produtores na fase de diagnóstico.	Qualidade e Quantidade de Água e Uso Cobertura Vegetal
Rio Claro/MG	Ações específicas não previstas. Apenas a mobilização junto aos produtores para viabilização do projeto.	Qualidade e Quantidade de Água e Uso Cobertura Vegetal
João Leite/MG	Reuniões de mobilização com produtores rurais e visitas de campo.	Qualidade de Água
Camboriu/SC	Não iniciado previsto escolas e produtores.	Qualidade e Quantidade de Água
Macaé/RJ	Oficinas, reuniões e roda de conversa com toda a comunidade, incluindo escolas, além dos produtores rurais (bem avançado).	Ainda não há
Cedro Abaeté/MG	Palestras, cursos, oficinas, seminários, reuniões.	Verificações Visuais <i>In loco</i>

\* Não atenderam à pesquisa

\*\* Não especificaram se monitoram a qualidade e/ou a quantidade da água

Dentre os projetos do Programa Produtor de Água, a maioria possui ações de Educação Ambiental (Figura 7). No entanto, durante as entrevistas observamos que, mesmo havendo ações de Educação Ambiental, em alguns projetos a valoração e a compensação financeira são priorizadas em detrimento às práticas educativas.



Figura 7: Formas de Educação Ambiental dos projetos do Programa Produtor de Água

A compensação financeira é realidade necessária, pois há custos para se preservar ou conservar os bens ambientais. No entanto, essa compensação aliada aos ganhos com o aumento da produtividade não deveriam ser os únicos focos. Como relatado antes, pensamos que esses ganhos financeiros poderiam ser utilizados em primeiro instante como forma de chamar a atenção dos produtores a aderirem aos projetos de PSAs. Mas, que a Educação Ambiental é essencial como forma de elevação do nível de consciência coletiva dos produtores rurais. Ou seja, para que eles alcancem a percepção da necessidade de conservação do solo e da água sempre, independente das intervenções políticas e disponibilização de verbas para os PSAs.

Enfim, acreditamos que a Educação Ambiental deveria ser melhor explorada nos projetos do Programa Produtor de Água. Caso contrário, as mudanças políticas e alterações administrativas dos órgãos competentes, aliadas a não disponibilização de verbas para os PSAs, podem afetar a consolidação e a continuidade dos projetos.

Além das formas de mobilização e Educação Ambiental, outro aspecto negativo do Programa refere-se ao monitoramento dos projetos (Figura 8). Em torno de 61% dos gestores dos projetos declararam que o monitoramento é feito pelo controle da qualidade e/ou quantidade da água através de análises químicas e biológicas e medições de vazões. Mas nos 39% restantes identificamos que: (i) 24% correspondem a projetos em que o monitoramento não é quantitativo, apenas é feito pelo controle visual através de verificações *in loco* das ações conservacionistas previstas e realizadas para fins de liberação dos PSAs aos produtores; (ii) em 10% dos projetos o monitoramento é através de verificações visuais *in loco* das ações previstas acompanhadas do monitoramento da água, mas seus gestores não especificaram se

controlam a qualidade e ou a quantidade de água; (iii) 5% correspondem a projetos em que ainda não há monitoramento.

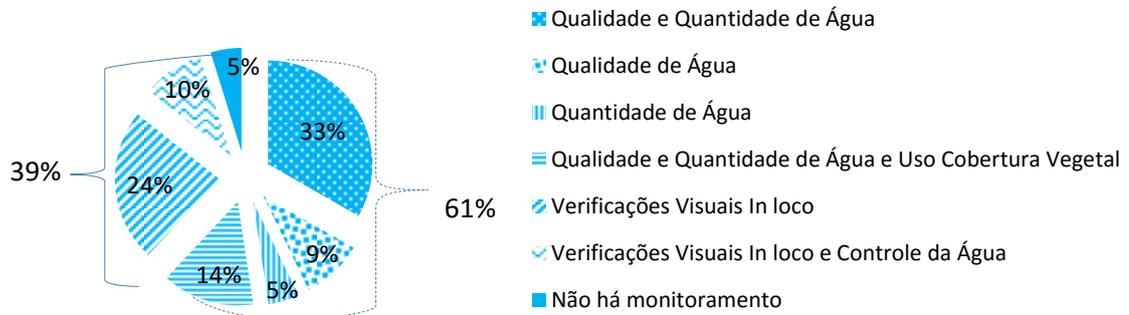


Figura 8: Formas de Monitoramento dos projetos do Programa Produtor de Água

Técnicas mais avançadas, inclusive as que utilizam as geotecnologias como imagens de satélite e SIGs para o monitoramento de projetos pelo controle do uso e cobertura vegetal, também são desconhecidas pela maioria dos gestores. Apenas três projetos (Extrema/Mg, Pratigi/BA e Rio Claro/MG) utilizam o controle do uso e cobertura vegetal como forma de monitoramento. No entanto, diante dos recursos de imagens de satélites e as técnicas de sensoriamento remoto e sistemas de informações geográficas (SIGs), o controle pelo uso e cobertura vegetal deveria ser melhor explorado pelos projetos do Produtor de Água. Por exemplo, como um SIG permite a exclusão ou inserção de uma informação a qualquer tempo, os projetos poderiam ser monitorados comparando-se as taxas de perdas de solo por erosão hídrica antes e após suas implantações. Pois as perdas de solo podem ser calculadas utilizando-se modelos, técnicas de sensoriamento remoto e ferramentas de geotecnologias. Assim, alertamos para a necessidade de estudos que, além do controle da água, também se voltem para o monitoramento dos projetos pelo controle do uso e cobertura vegetal.

#### 4 – CONCLUSÕES

1 – A abrangência do Programa Produtor de Água ainda é baixa mostrando que o mecanismo de remunerar os produtores rurais através de PSAs não é por si só fato suficiente para estimular os produtores a participarem das ações conservacionistas de solo e água.

2 – A ampliação da abrangência do Programa Produtor de Água depende basicamente de: (i) amplo diálogo com envolvimento interpessoal entre gestores e produtores rurais; (ii) mais esclarecimentos sobre os lucros financeiros dos produtores tanto com os PSAs

propriamente ditos, como com o aumento da produtividade agrícola; e (iii) priorizar a Educação Ambiental para conscientizar os produtores e garantir a continuidade das ações de conservação do solo e água, independentemente das intervenções políticas e disponibilização de verbas (PSAs) por agentes externos às propriedades.

3 – O Programa Produtor de Água adota a valoração ambiental pelo princípio do protetor-recebedor através dos PSAs aos produtores rurais. Mas devido à falta de monitoramento com critérios mais quantitativos, concluímos que não é possível afirmar quantitativamente quais são os efeitos dessa valoração ambiental sobre os recursos naturais solo e água.

4 – Os indicadores do panorama do Programa Produtor de Água sugerem que o empenho político-administrativo dos gestores de projetos de conservação de solo para proteção hídrica com esquemas de PSAs deva focar nas ações, principalmente, que se referem à Mobilização junto aos produtores rurais, nas ações de Educação Ambiental e de Monitoramento dos projetos.

## 5 – REFERÊNCIAS

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Manual Operativo do Programa Produtor de Água**. Brasília: ANA, 2008.

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Manual Operativo do Programa Produtor de Água**. 2ª Edição. Brasília: ANA, 2012.

CLAASSEN, R. Have Conservation Compliance Incentives Reduced Soil Erosion? **Amber Waves**. v. 2, n. 3, 2004. Disponível em [www.ers.usda.gov/amberwaves](http://www.ers.usda.gov/amberwaves), acesso em 15/06/2012.

COOPER, J. C. A joint framework for analysis of agri-environmental payment programs. **American Journal Of Agricultural Economics**, v. 85, n. 4, p. 976-987, 2003.

ELOY, L.; COUDEL, E.; TONI, F. Implementando Pagamentos por Serviços Ambientais no Brasil: caminhos para uma reflexão crítica. **Sustentabilidade em Debate**, v. 4, n. 1, p. 21-42, 2013.

FARIA, A. B. C. Valoração de serviços ambientais pela legislação agrária e florestal. **Sustentabilidade em Debate**, v. 6, n. 1, p. 155-168, jan/abr 2015.

FERRARO, P. Global habitat protection: limitations of development interventions and a role for conservation performance payments. **Conservation Biology**, n. 15, p. 990–1000, 2001.

FREITAS FILHO, E. S. Os bens ambientais na Constituição Brasileira de 1988. **Faetec**. Disponível em: <http://www.faete.edu.br/revista>, acesso em 13/06/2012.

FSA - FOOD SECURITY ACT OF 1985. United States, Public Law 99 - 198, Title XII: Conservation. 99 Stat. 1504, 23 dec. 1985.

GODOY, A. M. G. A abordagem neoclássica sobre a cobrança pelo uso da água dá conta da realidade? **Revista Estudos do CEPE**. Santa Cruz do Sul, n34, p.202-230, jul./dez. 2011.

HARTMANN, P. **A Cobrança pelo Uso da Água como Instrumento Econômico na Política Ambiental**. AEBA, Porto Alegre, 2010.

JARDIM, M. H.; BURSZTYN, M. A. Pagamento por serviços ambientais na gestão de recursos hídricos: o caso de Extrema (MG). **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 20, n. 3, p. 353-360, 2015

MANFREDINI, F. N.; GUANDIQUE, M. E. G.; MORAIS, L. C. Análise do Programa “Produtor de Águas”: no contexto dos projetos de Pagamentos por Serviços Ambientais (PSA) implementados no Brasil. **Revista Iberoamericana de Economía Ecológica**, v. 23, p. 47-62, 2014.

MMA - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Disponível em < [www.mma.gov.br](http://www.mma.gov.br)>. Acesso em 20/11/2014.

MORAES, J. L. A. Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) como Instrumento de Política de Desenvolvimento Sustentável dos Territórios Rurais: O Projeto Protetor Das Águas de Vera Cruz, RS. **Sustentabilidade em Debate**, v. 3, n. 1, p. 43-56, jan/jun 2012.

PATTANAYAK, S. K.; WUNDER, S.; FERRARO, P. J. Show Me the Money: Do Payments Supply Environmental Services in Developing Countries? **Review of Environmental Economics and Policy**, v. 4, n.2, p. 254 – 274, 2010.

PEREIRA, P. H.; CORTEZ, B. A.; TRINDADE, T.; MAZOCHI, M. N. **Conservador das Águas 5 anos**. Extrema. Departamento de Meio Ambiente, 2010. Disponível: <http://www.comitepcj.sp.gov.br>. Acesso 15/06/2012.

PIGOU, A. C. **The economics of welfare**. Macmillan and Co., Limited, 1920. Disponível: URL of this E-Book: [http://oll.libertyfund.org/EBooks/Pigou\\_0316.pdf](http://oll.libertyfund.org/EBooks/Pigou_0316.pdf). URL of original HTML file: <http://oll.libertyfund.org/Home3/HTML.php?recordID=0316>. Acesso 04/06/2014.

SOMMERVILLE, M. *et al.* Impact of a Community-Based Payment for Environmental Services Intervention on Forest Use in Menabe, Madagascar. **Conservation Biology**. v. 24, n. 6, 2010.

THE CATSKILL CENTER. New York City’s Need for Water–The Watershed Agreement. Disponível [www.catskillcenter.org](http://www.catskillcenter.org). Acesso 20/01/2012.

TURETTA, A. P. D.; PRADO, R. B.; SCHULER, A. E. Serviços ambientais no Brasil: do conceito à prática. In: PRADO, R. B.; TURETTA, A. P. D.; ANDRADE, A. G. **Manejo e**

**conservação do solo e da água no contexto das mudanças ambientais.** Rio de Janeiro. Embrapa Solos, 2010. p 239 – 253.

WUNDER, S. The efficiency of payments for environmental services in tropical conservation. **Conservation Biology**. n. 21, p. 48–58, 2007.

## ARTIGO 3

### ANÁLISE MULTIVARIADA DO PROGRAMA PRODUTOR DE ÁGUA NO BRASIL<sup>7</sup>

#### MULTIVARIATE ANALYSIS OF WATER PROGRAM PRODUCER IN BRAZIL

##### RESUMO

Analisamos o Programa Produtor de Água no Brasil, cujos projetos estão espalhados pelo território nacional. Adotamos exploração descritiva a partir de questionário e análise estatística multivariada. Através da análise de agrupamento identificamos poucas similaridades entre os projetos que servirão de apoio às suas gestões, individualizadas ou em conjunto. Outras políticas de pagamentos por serviços ambientais também poderão ser beneficiadas.

**Palavras-chave:** Serviços Ambientais, PSA, Análise de Agrupamento.

##### ABSTRACT

We analyze the Water Producer Program in Brazil, whose projects are spread throughout the country. We adopt descriptive exploration from questionnaire and multivariate statistical analysis. Through cluster analysis we identified a few similarities between the projects that will support their efforts, individual or together. Other payment policies for environmental services may also be benefited.

**Keywords:** Environmental Services, PSA, Cluster Analysis.

## 1 – INTRODUÇÃO

A valoração monetária da natureza é realidade global para regular o uso dos recursos naturais através da conscientização pública acerca dos problemas decorrentes do consumo ambiental (Ferraro, 2001; Cooper, 2003; Wunder, 2007; Pattanayak, 2010, Hartmann, 2010).

---

<sup>7</sup> Manuscrito submetido em 12/08/2015 à Revista Brasileira de Recursos Hídricos (RBRH).

No Brasil, a cobrança pelo uso da água é exemplo de valoração ambiental regulamentada pela Política Nacional de Recursos Hídricos, Lei Federal 9433/97, cujo instrumento de cobrança fundamenta-se no princípio do usuário-pagador. Apesar de ser relativamente abundante, a água não é bem distribuída e, na condição de recurso natural limitado renovável, a cobrança pelo uso da água é forma de imputar aos causadores parte das externalidades negativas frente aos benefícios com o seu uso (Hartmann, 2010).

Outra forma de valoração ambiental é o pagamento por serviços ambientais (PSAs) fundamentado no princípio do protetor-recebedor (Claassen, 2004). No Brasil, os PSAs são efetuados mesmo que ainda não haja Lei Federal sancionada. O que há são muitas discussões e debates para fornecer a sua base jurídica, cujas ações que podem ser objeto de PSAs são aquelas que sequestram carbono, que contribuem para a conservação da biodiversidade e também para a proteção hídrica. Projetos de Leis Federais relacionados aos PSAs estão tramitando pelo Congresso Nacional.

Pagar por serviços ambientais gera conflitos em torno do uso dos recursos naturais (Hartmann, 2010; Godoy, 2011). E no que tange a valoração ambiental, na vertente dos PSAs, Faria (2015) faz a seguinte reflexão: “sendo um proprietário rural e tendo o dever de preservar ou restaurar parte de sua área com Reservas Florestais, não poderia também ter o direito de ser indenizado por não poder usufruir dessas áreas com outras alternativas econômicas?”. Moraes (2012), Manfredini (2014), Zanella (2014), Jardim e Bursztyn (2015) também trazem ampla discussão sobre mecanismos de PSAs no Brasil e ressaltam a complexidade desses mecanismos.

Sob a ótica principal de proteção hídrica no Brasil através dos PSAs, a Agência Nacional de Águas (ANA) desenvolveu no âmbito da União o Programa Produtor de Água, objeto desse nosso estudo. Segundo Pereira et. al. (2010) e ANA (2012), o Programa Produtor de Água apoia o desenvolvimento de ações para melhoria da qualidade e quantidade de água em bacias hidrográficas em que há mananciais de abastecimento ou para geração de energia e principia na compensação financeira aos produtores rurais que adotam, voluntariamente, práticas e manejos conservacionistas para redução da erosão hídrica rural. Também beneficia as ações para redução de sedimentação, aumento da infiltração de água no solo, constância do regime de vazão e diminuição da poluição hídrica.

O Programa Produtor de Água foi idealizado em 2001, mas colocado em prática apenas em 2006 através do projeto “Conservador das Águas”, em Extrema/MG, (Ana, 2008). A realização desse projeto só foi possível após os Comitês do PCJ decidirem alocar parte dos

recursos arrecadados na cobrança pelo uso da água nas bacias do rio Paraíba do Sul e dos rios Piracicaba, Capivarí e Jundiaí (PCJ) para o pagamento das compensações financeiras aos produtores rurais (ANA, 2012).

Os projetos que seguem as premissas do Programa Produtor de Água estão espalhados por quase todos os estados do país. Entretanto, por ser um Programa recente, requer estudos que disponibilizem informações detalhadas que contribuam para a gestão de seus projetos. Assim, nosso objetivo foi analisar os projetos do Programa Produtor de Água no Brasil com o uso de estatística multivariada para verificarmos o nível de similaridade entre os projetos. Pois acreditamos que conhecer qual a relação entre os projetos do Programa Produtor de Água permite a troca de experiências entre seus gestores, contribuindo para a gestão dos projetos e também contribuindo para o entendimento dos mecanismos de PSAs que são bastante complexos.

## **2 – MATERIAIS E MÉTODOS**

Considerando o período entre 2001 e 2014, coletamos os dados e informações operacionais através de contato direto com os gestores de cada projeto, via entrevistas, a partir de questionário construído com base em quatro premissas e 15 variáveis: (i) Identificação Espacial e Temporal dos Projetos, compreendendo as variáveis Ano Início Negociações (x1), Ano Formalização (x2) e Tempo Negociação (x3); (ii) Instituições Envolvidas e Formas de Pagamentos: Órgão Proponente (x4), PSA Ativo (x5), Órgão Fomentador para os PSAs (x6) e Pagamento em Espécie (x7); (iii) Abrangência do Programa: Produtor Previsto (x8), Produtor Apto Receber PSA (x9), % Produtores Aptos Receber PSA (x10), Área da Bacia em Km<sup>2</sup> (x11), Área de Ação em Km<sup>2</sup> (x12), % da Bacia Trabalhada (x13); e (iv) Manutenção e Controle do Programa: Forma de Educação Ambiental (x14) e Forma de Monitoramento (x15). E, por se tratar de dados operacionais, as variáveis são dinâmicas. Portanto, os dados aqui obtidos poderão ser inseridos em Banco de Dados e constantemente atualizados.

Para a análise das respostas, empregamos a análise de agrupamento da estatística multivariada para identificação das similaridades entre os projetos. Os dados referentes a 21 projetos foram tratados como população e não como amostra. Pois, dos 22 projetos que totalizam o Programa Produtor de Água, apenas 1 não respondeu ao questionário.

## 2,1 – Análise Multivariada

Quando um fenômeno é pesquisado, um conjunto de diversas variáveis respostas (dados multivariados) pode ser gerado. A análise global dessas variáveis requer métodos estatísticos que buscam evidenciar as ligações, semelhanças ou diferenças entre as variáveis. A estatística multivariada é o conjunto desses métodos que tratam as diversas variáveis respostas de um fenômeno de forma conjunta considerando que exista uma estrutura de correlação entre essas variáveis.

A ideia geral de vários métodos multivariados, como Análise de Componentes Principais, Análise Fatorial, Escalonamento Multidimensional e Análise de Correspondência, é reduzir a dimensão da matriz dos dados originais perdendo o mínimo de informação possível (Härdle e Simar, 2003). Tal redução é feita através de transformações que decompõem a matriz dos dados originais em fatores classificados em ordem decrescente de importância. Como exemplo, o método da Análise Fatorial com Análise de Componentes Principais busca, através de combinações lineares, identificar fatores e quais variáveis podem ser reunidas num determinado fator perdendo o mínimo de informação das variáveis originais (Hair *et al.*, 2006). Esses autores afirmam que a análise fatorial geralmente se aplica apenas em dados métricos, ou seja, variáveis quantitativas contínuas ou discretas, mas que é possível incluir na análise, além das variáveis métricas, pequeno número de variáveis qualitativas do tipo dicotômicas (dummy), em que há somente duas respostas possíveis do tipo sim e não, masculino e feminino, etc., tratadas como binárias (0 e 1). Mas há autores (Malhotra e Birks, 1999 e Malhotra, 2011) que alegam que a análise fatorial é um método robusto e que pode ser aplicado em variáveis não-métricas quando variáveis qualitativas ordinais são transformadas em variáveis intervalares através da escala Likert. Assim, mesmo não sendo unânime sua aceitação, valores são adotados para ordenar variáveis qualitativas. Por exemplo, uma escala Likert pode ser de três pontos para quantificar Bom, Razoável e Ruim em 3, 2 e 1, respectivamente.

Dentro da discussão de dados métricos e não-métricos para análises multivariadas, Hair *et al.* (2006) também relatam que a análise de correspondência e a análise discriminante são técnicas desenvolvidas para lidar com dados não-métricos. E, para análise simultânea de dados quantitativos e qualitativos, Gower (1971) desenvolveu um algoritmo para a técnica de análise de agrupamento. Segundo Mingoti (2005), o Coeficiente de Gower é aplicável aos

diversos tipos de variáveis: contínuas, binárias e multicategóricas (nominais e ordinais), inclusive contempla a comparação de elementos amostrais com informações incompletas.

Sabermos os princípios e os fundamentos de um método para a análise multivariada e o tipo das variáveis respostas é essencial para garantir resultados corretos e de qualidade. Como nossos dados operacionais compreendem um misto de variáveis numéricas e categóricas, sendo quantitativas discretas e contínuas e qualitativas nominais em que não há ranking de valores, ou seja, não passível de utilização da escala Likert, o mais adequado foi utilizarmos o Coeficiente de Gower desenvolvido para a análise de agrupamento.

Segundo Malhotra (2011), a análise de agrupamento busca reunir os objetos (indivíduos, elementos) com homogeneidade dentro de grupos e com heterogeneidade entre os grupos, sendo o inverso da análise de fatores, pois reduz o número de objetos e não o número de variáveis. Como propõe estrutura classificatória ou de reconhecimento da existência de grupos, a análise de agrupamento é um método baseado nas medidas de similaridades (Hair et. al., 2006) e compreende duas etapas: (i) gera-se uma matriz de distâncias entre cada item, resultando em pares de distâncias, e (ii) aplica-se um algoritmo de agrupamento sobre esta matriz gerada para classificar e conectar os grupos homogêneos (Dias, 1998).

Na primeira etapa, quando os dados são numéricos, a matriz de similaridades pode ser definida pelos cálculos de distâncias, por exemplo, a Distância Euclidiana, Distância de Manhattan e Distância de Minkowsky. No entanto, como o cálculo das distâncias é um método natural para dados numéricos, não foi possível simplesmente generalizá-lo para nossos dados não numéricos. Por exemplo, qual a distância entre sim e não (para variáveis categóricas binárias) ou ainda entre municipal, estadual, federal, distrital e misto (para variáveis multicategóricas)? Tais similaridades ou dissimilaridades foram medidas por função que recebe 1 caso dois indivíduos sejam similares e 0 caso contrário (Gower, 1971). Ou seja, as similaridades entre dados não numéricos foram medidas por coeficientes de concordância entre elementos. Se todas as variáveis são nominais, Frei (2006) cita o Coeficiente de Concordância Simples e o Coeficiente de Jaccard que consideram a proporção de categorias similares entre os elementos, sendo que o Coeficiente de Jaccard é específico para variáveis dicotômicas. Mas como as variáveis respostas dos projetos do Programa Produtor de Água são mistas, para a construção da matriz de similaridades desses projetos adotamos o algoritmo de Gower (1971), equação 1, que permitiu a combinação simultânea das variáveis categóricas e numéricas.

$$S_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^p W_{ijk} S_{ijk}}{\sum_{k=1}^p W_{ijk}} \quad (1)$$

em que:  $K$  = o número de variáveis ( $k = 1, 2, \dots, p$ );  $i$  e  $j$  = dois indivíduos quaisquer;  $W_{ijk}$  = peso dado à comparação  $ijk$ , atribuindo valor 1 para comparações válidas e valor 0 para as inválidas (quando o valor da variável está ausente em um ou ambos indivíduos);  $S_{ijk}$  = contribuição da variável  $k$  na similaridade entre os indivíduos  $i$  e  $j$ , com valores entre 0 e 1. Para variável qualitativa (nominal), se o valor da variável  $k$  é o mesmo para ambos os indivíduos,  $i$  e  $j$ , então  $S_{ijk}=1$ , caso contrário, é igual a 0; para variável quantitativa (contínua)  $S_{ijk}=1-|x_{ik}-x_{jk}|/R_k$  onde  $x_{ik}$  e  $x_{jk}$  são os valores da variável  $k$  para os indivíduos  $i$  e  $j$ , respectivamente, e  $R_k$  é o intervalo (valor máximo menos valor mínimo), da variável  $k$  na amostra. A divisão por  $R_k$  elimina as diferenças entre escalas das variáveis, produzindo valor dentro do intervalo  $[0, 1]$  e pesos iguais.

Na segunda etapa, a partir da matriz conjunta de similaridades, agrupamos os projetos do Produtor de Água pelos métodos de UPGMA, Ligação Simples, Ligação Completa e Ward, sendo os quatro algoritmos aglomerativos hierárquicos. O agrupamento hierárquico é baseado na matriz de semelhança comparando  $n$  objetos aos pares em que (i) são agrupados os dois objetos (ou dois grupos de objetos) que forem mais semelhantes na matriz de semelhança, (ii) a matriz de semelhança é redefinida de acordo com o grupo que foi formado e (iii) repete-se o processo até que todos os objetos formem um único grupo (Blashfield e Aldenderfer, 1988).

O mais comum dos métodos de distância é o UPGMA (Unweighted Pair Group Method using Arithmetic averages) ou Ligação Média (Mohammadi *et al.*, 2003) que agrupa as distâncias menores e recalcula novas distâncias através de médias aritméticas para novo agrupamento, equação 2 (Carvalho *et. al.*, 2009):

$$d[k, (i \cup j)] = pi d(k, i) + pj d(k, j) \quad (2)$$

em que:  $d$  = distância entre dois indivíduos;  $i, j$  e  $k$  = três indivíduos quaisquer.

No método Ligação Simples ou vizinho mais próximo os dois itens mais próximos na matriz são agrupados e recalcula-se a distância deste agrupamento para outros itens pegando-

se a menor distância entre um dos dois itens agrupados e outro item em questão, equação 3 (Carvalho et. al., 2009):

$$d[k, (i \cup j)] = \min [d(k, i), d(k, j)] \quad (3)$$

em que:  $d$  = distância entre dois indivíduos;  $i, j$  e  $k$  = três indivíduos quaisquer;  $\min$  = menor distância.

Ainda segundo Carvalho et. al. (2009), o método da Ligação Completa ou vizinho mais distante, inicia-se da mesma forma que o anterior, agrupando-se os dois itens mais próximos, porém, a partir deste agrupamento, os cálculos da matriz das distâncias são feitos pegando-se a maior distância entre os itens deste grupo e outro item comparado, equação 4:

$$d[k, (i \cup j)] = \max [d(k, i), d(k, j)] \quad (4)$$

em que:  $d$  = distância entre dois indivíduos;  $i, j$  e  $k$  = três indivíduos quaisquer;  $\max$  = maior distância.

O método de Ward ou variância mínima difere dos métodos anteriores porque usa a abordagem de análise de variância (ANOVA) para avaliar as distâncias entre clusters. Segundo Hair et. al. (2006), no método de Ward a medida de similaridade é calculada como a soma de quadrados entre os dois agrupamentos feita sobre todas as variáveis e a cada estágio combinam-se os dois agrupamentos que apresentarem menor aumento na soma global de quadrados dentro dos agrupamentos. A soma dos erros quadrados (Ward JR, 1963) é definida pela equação 5:

$$ESS_k = \sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{1}{n} \left( \sum_{i=1}^n x_i \right)^2 \quad (5)$$

em que:  $n$  é o número total de elementos do agrupamento e  $x_i$  o  $i$ -ésimo elemento do agrupamento.

Para a validação dos agrupamentos determinamos e comparamos os coeficientes de correlação cofenética (Sokal e Rohlf, 1962), equação 6. A correlação cofenética é dada pelo

coeficiente de correlação linear de Pearson entre os elementos da matriz de similaridade (matriz fenética ou matriz de distâncias entre os indivíduos, obtida a partir dos dados originais) e os elementos da matriz cofenética (matriz de distâncias entre os indivíduos, obtida a partir do dendrograma).

$$CCC = \frac{Cov(F, C)}{\sqrt{V(F) \cdot V(C)}} \quad (6)$$

em que:  $F$  = matriz fenética e  $C$  = matriz cofenética.

### 3 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para as variáveis x1 a x15 dos 21 projetos do Programa Produtor de Água (Tabela 1), os métodos de agrupamentos UPGMA, Ligação Simples, Ligação Completa e Ward apresentaram os coeficientes de correlações cofenéticas (CCC) de 0.69, 0.49, 0.63 e 0.56, respectivamente. Esses valores não revelaram alto ajuste entre as distâncias apresentadas graficamente no dendrograma e a matriz de similaridade. Isso porque, segundo Sokal e Rohlf (1962), somente valores de correlação cofenética próximos a 0.80 indicam alto ajuste entre as matrizes originais de distâncias e as distâncias gráficas. Contudo, como apresentou o coeficiente de correlação cofenética (CCC de 0.72), consideramos o agrupamento hierárquico formado pelo método UPGMA como moderado a forte, portanto, adequado para a análise de similaridades entre os projetos.

Considerando que quanto maiores as distâncias menores são as similaridades, o arranjo do dendrograma do agrupamento UPGMA (Figura 1) demonstra que os projetos do Produtor de Água são pouco similares entre si. A grande maioria dos agrupamentos evidenciaram distâncias de similaridades superiores a 0.55 e as distâncias dentro dos grupos também são bem variadas. Entretanto, os projetos que mais se assemelham são: (i) Guariroba/MS-7 e Rio Verde/GO-13, (ii) ProdutorES/ES-3 e Guandu/RJ-5, (iii) Patrocínio/MG-15 e Camboriu/SC-19, (iv) Rio Branco/AC-9 e Cedro do Abaeté/MG-21, (v) Rio Claro/SP-17 e Macaé/RJ-20, (vi) Taquarussu/TO-6 e Vera Cruz/RS-12, cujas distâncias de similaridades são 0.45, 0.46, 0.51, 0.54, 0.54 e 0.64, respectivamente. Para melhor compreensão das similaridades entre os projetos, ordenamos as variáveis respostas conforme o agrupamento UPGMA (Tabela 1).

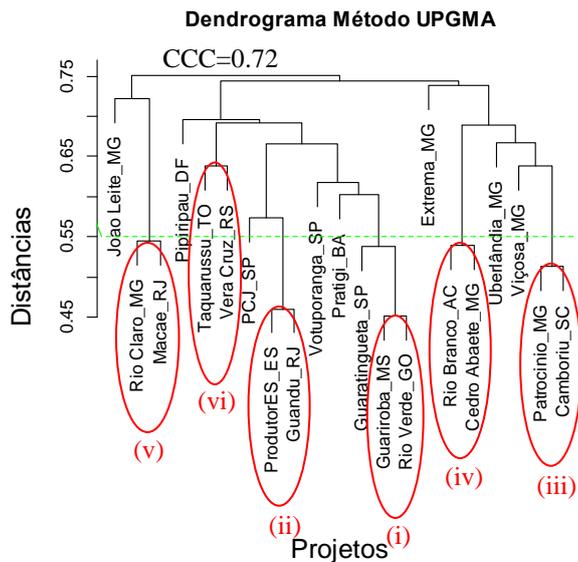


Figura 1: Agrupamento dos projetos do Programa Produtor de Água com maiores similaridades

Quando aumentamos as distâncias de similaridades com linha de corte a 0.65 (Figura 2), os projetos se assemelham em dez grupos. Sendo quatro grupos apenas com um projeto porque apresentam características únicas, tais como, Extrema/MG-1 possui área da bacia bem superior aos demais, Uberlândia/MG-4 é o único projeto que não promove o pagamento em espécie, Pipiripau/DF-14 é o único com característica distrital para o órgão fomentador e o projeto João Leite/MG-18 possui grande variabilidade porque pode ser considerado similar a vários projetos. Para os demais grupos, três permaneceram inalterados (Rio Claro/MG-17 e Macaé/RJ-20, Taquarussu/TO-6 e Vera Cruz/RS-12, Rio Branco/AC-9 e Cedro do Abaeté/MG-21) e três grupos (ProdutorES/ES-3 e Guandu/RJ-5, Guariroba/MS-7 e Rio Verde/GO-13, Patrocínio/MG-15 e Camboriu/SC-19) receberam projetos devido a similaridades quanto às instituições envolvidas, formas de pagamentos e manutenção dos projetos.

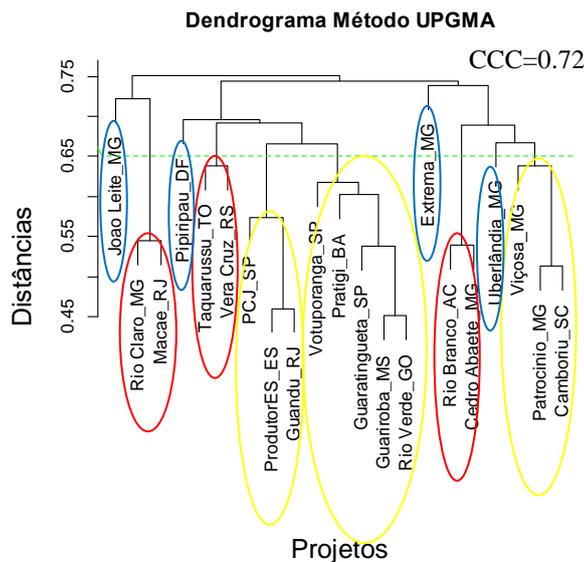


Figura 2: Agrupamento dos projetos do Programa Produtor de Água com linha de corte a 0.65

Aumentando ainda mais as distâncias de similaridades, linha de corte a 0.74, apenas três grandes grupos são formados (Figura 3).

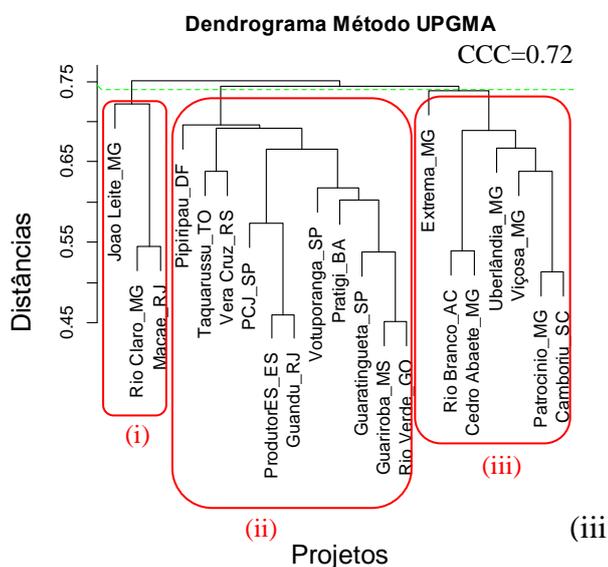


Figura 3: Agrupamento dos projetos do Programa Produtor de Água com linha de corte a 0.74

No primeiro e no terceiro grupo, os projetos foram acrescidos aos agrupamentos iniciais por apresentarem instituições e formas de pagamentos similares. Já no segundo, não verificamos similaridades quanto às instituições envolvidas, apenas quanto às formas de pagamentos e também quanto à manutenção dos projetos.

Além das análises anteriores das distâncias de similaridades, considerando todas as variáveis respostas de todos os projetos, também testamos a retirada dos projetos

Extrema/MG-1, Uberlândia/MG-4, Pípiripau/DF-14 e João Leite/MG-18 para verificarmos se esses projetos, por apresentarem características únicas, estariam influenciando negativamente para a construção dos dendrogramas. A retirada desses projetos, realizada conforme Kopp et. al. (2007), mostrou que os coeficientes de correlação cofenética para os métodos de agrupamentos UPGMA, Ligação Simples, Ligação Completa e Ward aumentaram de 0.72, 0.49, 0.63 e 0.61 para 0.77, 0.51, 0.74 e 0.71, respectivamente. Nesse caso, mesmo não atingindo a correlação proposta por Sokal e Rohlf (1962), o método UPGMA ainda continua sendo o agrupamento que melhor representa os projetos do Produtor de Água. Ou seja, a retirada de elementos não influenciou a quantidade de três agrupamentos do método UPGMA (Figura 4). Apenas alterou o ordenamento do segundo grupo e também aumentou sutilmente as distâncias de similaridades, confirmando com mais consistência, em relação à Figura 3, que há pouca similaridade entre os projetos do Programa Produtor de Água.

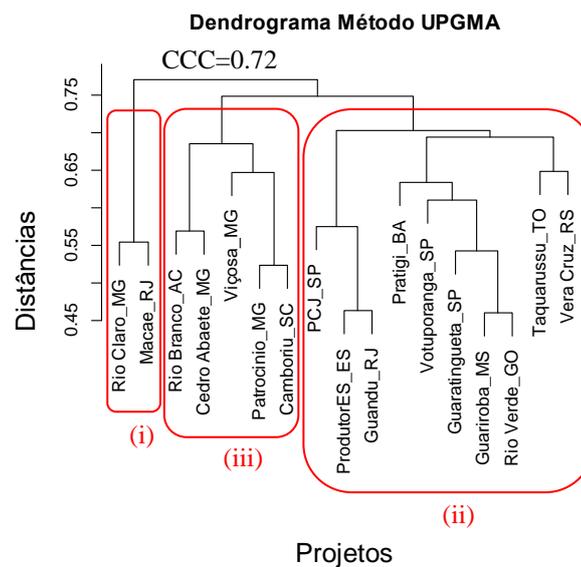


Figura 4: Agrupamento dos projetos do Programa Produtor de Água com retirada de projetos

Como os quatro métodos de agrupamento (UPGMA, Ligação Simples, Ligação Completa e Ward) não apresentaram alta correlação cofenética, ou seja, os valores de CCC foram inferiores a 0.80, isso pode ser aceito como indicativo da inexistência de agrupamentos fortes. Ou seja, que os projetos reunidos em um mesmo grupo apresentam baixa homogeneidade entre si e baixa heterogeneidade com os projetos dos demais grupos formados. Configurando a falta de padrão uniforme entre os projetos e, portanto, também indicando a baixa similaridade entre os projetos do Programa Produtor de Água.

Enfim, como a ANA influencia, presta modelo e nome ANA na fase inicial e alavanca as parcerias das instituições locais até que cada projeto do Programa Produtor de Água adquira dinâmica própria e independente, essa gestão descentralizada faz com que os projetos sejam bem diversificados. Todos esses projetos objetivam primordialmente a melhoria qualitativa da água, através de ações para minimizar a poluição difusa rural e aumentar a cobertura vegetal, e todos se baseiam no conceito protetor-recebedor. No entanto, cada projeto possui suas peculiaridades. Assim, a partir das análises dos agrupamentos os gestores poderão entender melhor a relação entre os projetos e como eles se caracterizam e buscar ações individualizadas ou em conjunto entre projetos.

Como trabalhamos com variáveis relacionadas aos indicadores Identificação Espacial e Temporal dos Projetos, Instituições Envolvidas e Formas de Pagamentos, Abrangência do Programa, Manutenção e Controle do Programa, os gestores poderão buscar ações, principalmente, para ativar os PSAs que se encontram não ativos, ações para aumentarem as abrangências dos projetos, para aumentar o monitoramento e ações de Educação Ambiental para continuidade das atividades de conservação do solo e água caso os contratos de repasse das verbas para os PSAs sejam encerrados.

Para os indicadores aqui trabalhados utilizamos a técnica da análise de agrupamento. Mas outros indicadores poderiam ser trabalhados, inclusive indicadores econômicos. Outras técnicas multivariadas também poderiam ser utilizadas além da análise de agrupamento. Assim, com esse artigo buscamos chamar a atenção para o uso da estatística multivariada como ferramenta de apoio não somente para gestão do Programa Produtor de Água, mas como apoio para o entendimento dos mecanismos de PSAs que são recentes, complexos e necessitam de estudos.

#### **4 – CONCLUSÃO**

1 – A similaridade entre os projetos do Programa Produtor de Água é baixa porque cada projeto possui estrutura própria, com arranjos locais e uma forma de participação da ANA.

2 – A análise de agrupamento permite aos gestores dos projetos a tomada de decisões individualizadas ou em conjunto considerando o nível de similaridades entre os projetos.

3 – A técnica de análise multivariada aqui apresentada utiliza dados operacionais. Portanto, os dados podem ser constantemente atualizados e a análise de agrupamento torna-se

ferramenta para monitorar o nível de similaridade entre projetos, com ou sem PSAs, e subsidiar a gestão dos mesmos.

## 5 – REFERÊNCIAS

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUA. **Boas Práticas e Modernas Tecnologias em Irrigação**. Brasília: ANA, 2008.

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Manual Operativo do Programa Produtor de Água**. 2 ed. Brasília: ANA, 2012.

BLASHFIELD, R. K.; ALDENDERFER, M. S. The methods and problems of cluster analysis. In: **Handbook of multivariate experimental psychology**. Org. por Nesselrode, J. R. e Cattell, R. B. 2 ed. Plenum Press, New York, p. 447–473, 1988.

CARVALHO, M. F.; ALBUQUERQUE JUNIOR, C. L.; GUIDOLIN, A. F.; FARIAS, F. L. Aplicação da análise multivariada em avaliações de divergência genética através de marcadores moleculares dominantes em plantas medicinais. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 11 n. 3, Botucatu, 2009.

CLAASSEN, R. Have Conservation Compliance Incentives Reduced Soil Erosion? **Amber Waves**. v. 2, n. 3, 2004. Disponível: [www.ers.usda.gov/amberwaves](http://www.ers.usda.gov/amberwaves). Acesso 15/06/2012.

COOPER, J. C. A joint framework for analysis of agri-environmental payment programs. **American Journal Of Agricultural Economics**, v. 85(4), p. 976-987, 2003.

DIAS, L. A. S. Análises multidimensionais. In: ALFENAS, A.C. (Ed.). **Eletroforese de isoenzimas e proteínas afins: fundamentos e aplicações em plantas e microrganismos**. Viçosa: UFV, p. 405-475, 1998.

FARIA, A. B. C. Valoração de serviços ambientais pela legislação agrária e florestal. **Sustentabilidade em Debate**, v. 6, n. 1, p. 155-168, 2015.

FERRARO, P. Global habitat protection: limitations of development interventions and a role for conservation performance payments. **Conservation Biology**, n. 15, p. 990–1000, 2001.

FREI, F. **Introdução à análise de agrupamentos**: Teoria e Prática. Editora UNESP, São Paulo, 2006.

GODOY, A. M. G. A abordagem neoclássica sobre a cobrança pelo uso da água dá conta da realidade? **Revista Estudos do CEPE**. Santa Cruz do Sul, n. 34, p. 202-230, 2011.

GOWER, J. C. A general coefficient of similarity and some of its properties. **Biometrics**, n. 27, p. 857-874, 1971.

HAIR, JR; BLACK, W. C; BABIN, B. J; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L. **Multivariate Data Analysis**. 6 ed. Upper Saddle River, NJ: Pearson Prentice Hall, 2006.

HÄRDLE, W.; SIMAR, L. **Applied Multivariate Statistical Analysis**. Method e Data Technologies, 2003.

HARTMANN, P. A. **Cobrança pelo Uso da Água como Instrumento Econômico na Política Ambiental**. AEBA, Porto Alegre, 2010.

JARDIM, M. H.; BURSZTYN, M. A. Pagamento por serviços ambientais na gestão de recursos hídricos: o caso de Extrema (MG). **Eng Sanit Ambient**, v. 20, n. 3, p. 353-360, 2015.

KOPP, M. M.; SOUZA, V. Q.; COIMBRA, J. L. M.; LUZ, V. K.; MARINI, N.; OLIVEIRA, A. C. Melhoria da correlação cofenética pela exclusão de Unidades experimentais na construção de Dendrogramas. **Revista da FZVA**. Uruguaiana, v. 14, n. 2, p. 46-53, 2007.

MALHOTRA, N. K.; BIRKS, D. F. **Marketing research: an applied orientation**. 3 ed. New York: Prentice Hall, 1999.

MALHOTRA, N. K. **Pesquisa de Marketing: Uma Orientação Aplicada**. 6 ed. Porto Alegre. Bookman, 2011.

MANFREDINI, F. N.; GUANDIQUE, M. E. G.; MORAIS, L. C. Análise do Programa “Produtor de Águas”: no contexto dos projetos de Pagamentos por Serviços Ambientais (PSA) implementados no Brasil. **Revista Iberoamericana de Economía Ecológica**, v. 23, p. 47-62, 2014.

MINGOTI, S. A. **Análise de Dados Através de Métodos de Estatística Multivariada: uma abordagem aplicada**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2005.

MOHAMMADI, S.A.; PRASANNA, B.M. Analysis of genetic diversity in crop plants - Salient statistical tools and considerations. **Crop Science**, v. 43, n. 4, p. 1235-48, 2003.

PATTANAYAK, S. K.; WUNDER, S.; FERRARO, P. J. Show Me the Money: Do Payments Supply Environmental Services in Developing Countries? **Review of Environmental Economics and Policy**, v. 4 (2), p. 254 – 274, 2010.

PEREIRA, P. H.; CORTEZ, B. A.; TRINDADE, T.; MAZOCHI, M. N. **Conservador das Águas 5 anos**. Extrema. Departamento de Meio Ambiente, 2010. Disponível: <http://www.comitepcj.sp.gov.br>. Acesso 15/06/2012.

SOKAL RR; ROHLF, F. J. The comparison of dendrograms by objective methods. **Taxon**, v. 11, p. 33-40, 1962.

WARD JR, J. H. Hierarchical grouping to optimize an objective function. **Journal of the American Statistical Association**, Alexandria, v. 58, n. 301, p. 236-244, 1963.

WUNDER, S. The efficiency of payments for environmental services in tropical conservation. **Conservation Biology**, n. 21, p. 48–58, 2007.

TABELA 1 – Questionário e variáveis respostas dos projetos do Programa Produtor de Água

(i) Identificação Espacial e Temporal				(ii) Instituições e Formas de Pagamentos				(iii) Abrangência do Programa						(iv) Manutenção e Controle do Programa		
PROJETOS	Ano Início Negociações	Ano Formalização	Tempo Negociação	Órgão Proponente	PSA Ativo	Fomentador para os PSAs	Pagamento em Espécie	Produtor Previsto	Produtor Apto Receber PSA	% Produtores Aptos Receber PSA	Área da Bacia (Km <sup>2</sup> )	Área de Ação (Km <sup>2</sup> )	% da Bacia Trabalhada	Educação Ambiental	Monitoramento	
	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11	x12	x13	x14	x15	
João Leite/MG	P18	2009	2013	4	Misto	Não	Estadual	Sim	750	82	10.93	761	36	4.731	P	Qualidade de Água
Rio Claro/MG	P17	2012	2012	0	Estadual	Não	Misto	Sim	100	**	**	1000	500	50.000	Não há	QQ de Água e Uso Cobertura Vegetal
Macaé/RJ	P20	2011	2013	2	Misto	Não	Misto	Sim	**	**	**	1765	432	24.476	P, C e E	Não há
Pipiripau/DF	P14	2010	2011	1	Misto	Sim	Distrital	Sim	420	18	4.29	235	120	51.064	Não há	In loco Visual e Controle da Água***
Taquarussu/TO	P6	2009	2010	1	Privado	Não	Privado	Sim	70	9	12.86	397	15	3.778	P	In loco Visual e Controle da Água***
Vera Cruz/RS	P12	2010	2011	1	Privado	Sim	Privado	Sim	150	70	46.67	3700	52	1.405	P e E	QQ de Água
PCJ/SP	P2	2007	2008	1	Misto	Sim	Estadual	Sim	350	41	11.71	2720	76	2.794	P	QQ de Água
Produtor/ES/ES	P3	2007	2008	1	Estadual	Sim	Estadual	Sim	445	407	91.46	5759	622	10.800	P	In loco Visual
Guandu/RJ	P5	2007	2009	2	Estadual	Sim	Estadual	Sim	63	52	82.54	1900	52	2.737	P	In loco Visual
Votuporanga/SP	P8	2010	2010	0	Municipal	Sim	Misto	Sim	85	18	21.18	1395	340	24.373	P e C	Qualidade de Água
Pratigi/BA	P16	2012	2012	0	Municipal	Sim	Privado	Sim	2000	45	2.25	300	70	23.333	P	QQ de Água e Uso Cobertura Vegetal
Guaratinguetá/SP	P11	2010	2011	1	Municipal	Sim	Misto	Sim	**	52	**	**	**	**	P	In loco Visual
Guariroba/MS	P7	2009	2010	1	Municipal	Sim	Misto	Sim	60	5	8.33	362	150	41.436	P	QQ de Água
Rio Verde/GO	P13	2010	2011	1	Municipal	Sim	Municipal	Sim	60	29	48.33	60	60	100.000	P	QQ de Água
Extrema/MG	P1	2002	2005	3	Municipal	Sim	Municipal	Sim	408	161	39.46	12600	74	0.587	P, C e E	QQ de Água e Uso Cobertura Vegetal
Rio Branco/AC	P9	2008	2011	3	Municipal	Não	Não Previsto	Sim	50	39	78.00	7637	0.30	0.004	P e E	In loco Visual
Cedro Abaeté/MG	P21	2011	2014	3	Municipal	Não	Não Previsto	Sim	43	43	100.00	120	90	75.000	P	In loco Visual
Uberlândia /MG	P4	2008	2008	0	Municipal	Não	Municipal	Não	300	129	43.00	1000	1000	100.000	P e E	QQ de Água
Viçosa/MG	P10	2009	2011	2	Municipal	Não	Municipal	Sim	40	26	65.00	15	2	13.333	P, C e E	Quantidade de Água
Patrocínio/MG	P15	2008	2012	4	Municipal	Não	Municipal	Sim	50	28	56.00	100	100	100.000	Não há	QQ de Água
Camboriu/SC	P19	2009	2013	4	Municipal	Sim	Municipal	Sim	18	8	44.44	200	137	68.500	Não há	QQ de Água
Apucarana/PR	P22	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

\* Não atenderam à pesquisa    \*\* Não possuíam esses dados    \*\*\* Não especificaram se monitoram a qualidade e/ou a quantidade da água

P = Produtores; C = Comunidade; E = Escolas; QQ = Qualidade e Quantidade

## ARTIGO 4

### MODELO IEP PARA MONITORAR PROJETOS DE CONSERVAÇÃO DE SOLO E ÁGUA<sup>8</sup>

#### IEP MODEL FOR MONITORING CONSERVATION PROJECTS SOIL AND WATER

#### RESUMO

Nosso objetivo foi desenvolver metodologia para quantificar as interferências de Projetos ou Programas de Conservação de Solo e Água utilizando técnicas de sensoriamento remoto e ferramentas de geotecnologias. O modelo proposto, denominado Indicador de Eficácia de Projetos (Modelo IEP), permite a construção de indicadores baseados no abatimento da perda de solo considerando o grau de ação antrópica e densidade de cobertura vegetal. Esses indicadores poderão ser definidos tanto pelos gestores dos projetos do Programa Produtor de Água, como de outros projetos que não envolvem pagamentos por serviços ambientais. Assim, esperamos contribuir para a gestão e o monitoramento de Projetos ou Programas voltados à Conservação de Solo e Água.

**Palavras chave:** Produtor de Água, Erosão, USLE.

#### ABSTRACT

Our goal was to develop a methodology to quantify the interference projects or Soil and Water Conservation Programs using remote sensing and geo tools. The proposed model, called Project Efficiency Indicator (IEP Model) allows the construction of indicators based on reduction of soil loss considering the degree of human activities and land cover density. These indicators can be defined both by the managers of the projects of the Water Program, as other projects that do not involve payments for environmental services. Thus, we hope to contribute to the management and monitoring of projects or programs aimed at the Soil and Water Conservation

**Keywords:** Water Producer, Erosion, USLE.

---

<sup>8</sup> Manuscrito ainda não submetido.

## 1 – INTRODUÇÃO

A erosão é o processo natural de degradação do solo e pode ser classificada segundo seus agentes causadores (Figura1). Dentre os agentes erosivos, a água das chuvas é o principal em regiões tropicais e subtropicais. O impacto das gotas da chuva sobre o solo e seu escoamento superficial pode romper o equilíbrio natural existente no solo configurando a erosão hídrica e causando impactos sobre as atividades humanas. Se o solo não for manejado corretamente, a infiltração da água da chuva é prejudicada e o escoamento superficial tende a aumentar.

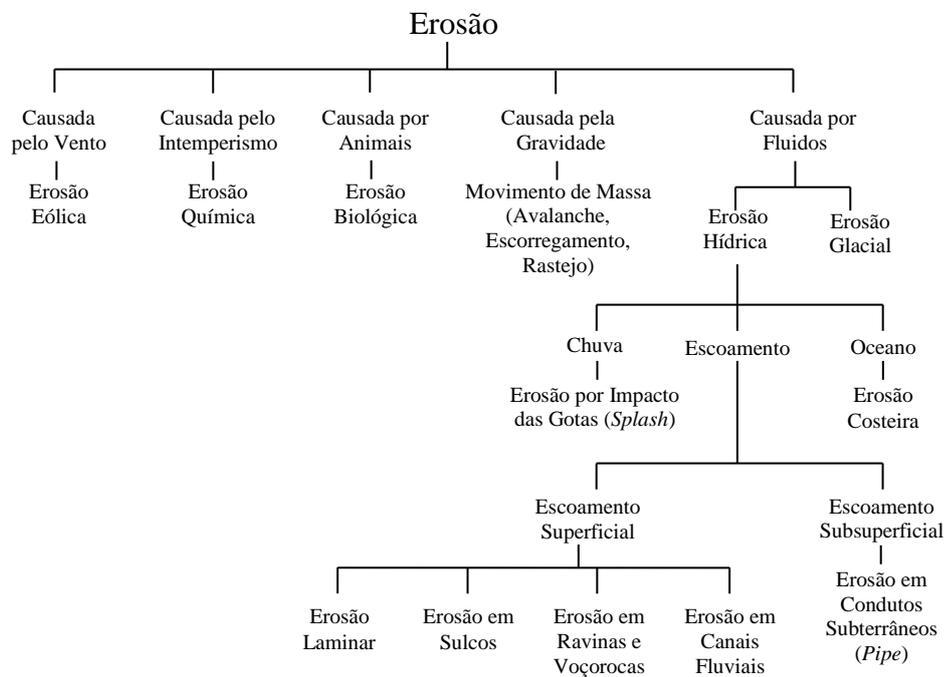


Figura 1: Tipos de erosão quanto ao agente causador  
Fonte: Adaptado de Lal, 2001

Considerando somente o interior de propriedades rurais (*on-site*), a erosão hídrica pode causar o depauperamento acelerado das terras e reduzir a produtividade agrícola. Não são somente os efeitos internos, os processos erosivos também podem causar efeitos externos (*off-site*) às propriedades. Por exemplo, no processo de escoamento superficial, partículas de solo em suspensão e elementos em dissolução são transportados e podem atingir cursos d'água causando turbidez e redução da qualidade da água. Como também depreciação da vida útil de reservatórios e aumento nos tratamentos de água em função da veiculação hídrica de

doenças. Assim, os processos erosivos (*on-site* e *off-site*) configuram prejuízos de ordem econômica, social e ambiental.

Como a erosão ocorre naturalmente mesmo sem intervenção humana, podendo ser intensificada quando há interferência, conhecer os fatores, processos e magnitude da erosão são essenciais para sua prevenção, seu controle e recuperação de áreas erodidas. Nesse contexto de processo natural e ação antrópica, o homem pode ser tratado como agente não direto dos processos erosivos. Pois, participa dando condições para que outros agentes atuem de modo direto, como é o caso da água das chuvas. No entanto, as ações antrópicas são tratadas, aqui em nossos estudos, como principal agente preventivo da erosão no contexto de Projetos ou Programas de Conservação de Solo e Água.

Seja em escala local, regional ou global, na prática, o estudo da erosão hídrica é desafiador porque é fenômeno complexo e produtor de poluição não-pontual ou difusa. Sheridan *et al.* (2000) citam que os primeiros estudos demonstravam que as taxas de erosão eram influenciadas pelas propriedades do solo e que as relações inicialmente tratadas como simples, posteriormente se mostraram mais complexas.

Entre o final do século XIX e meados do século XX, apenas ocorria descrição qualitativa dos processos erosivos. Um dos primeiros pesquisadores a estudar a modelagem dos fatores erodibilidade, erosividade e cobertura vegetal para avaliação e quantificação da erosão hídrica foi Cook em 1936 (Sheridan *et al.*, 2000; Mata, 2007). Desde então, medir a erosão evoluiu da simples coleta de dados em modelos empíricos, citados em Wischmeier & Smith (1978) e em Elliot *et al.* (1997), como a Equação de Zingg em 1940, a Equação de Musgrave em 1946, a Equação Universal de Perda de Solo (USLE) em 1954, a MUSLE - Modificação da USLE em 1975, a RUSLE - Revisão da USLE em 1987, até modelos físicos ou conceituais como o Projeto de Predição de Erosão Hídrica (WEPP) em 1985 (Flanagan *et al.*, 2007), a Ferramenta de Avaliação de Solo e Água (SWAT) no início da década de 90 (Arnold *et al.*, 1998; Gassman *et al.*, 2007) e o Modelo Europeu de Erosão do Solo (EUROSEM) (Morgan *et al.*, 1998). Também incluem-se métodos alternativos usando a correlação entre taxas de erosão e redistribuição do radionuclídeo artificial  $^{137}\text{Cs}$  introduzido no meio ambiente pelo *fallout* radioativo (Santos *et al.* 2005).

As técnicas de modelagem de erosão são capazes de medir a influência dos diferentes fatores determinantes dos processos erosivos, como o clima, solo, relevo, cobertura vegetal, manejo e práticas conservacionistas, a fim de se estimar as perdas de solo para os planejamentos de práticas que reduzam essas perdas ao máximo. Segundo Santos (2007), a

perda de solo ou taxa de perda de solo é definida como sendo a quantidade de solo perdido durante determinado período de tempo em dada área que tenha sofrido perda líquida de solo.

Os métodos para estimar as perdas de solo por erosão hídrica podem ser classificados como diretos ou indiretos. Os métodos diretos baseiam-se na coleta, na medição e na análise das perdas de solo diretamente no campo com auxílio de instalações coletoras e de medidores especiais, tomando-se a largura, profundidade e comprimento, que permitem estimar o volume de solo perdido por erosão laminar, nos sulcos e ravinas (Santos, 2007). Já os métodos indiretos, como modelagem matemática associada ao geoprocessamento, são desenvolvidos por meio de estudos que minimizam o contato com o objeto de estudo, ou seja, minimizam as instalações de equipamentos e as observações de campo.

A escolha de determinado tipo de método ou modelo deve ser feita com base na aplicação que se deseja e na disponibilidade de dados básicos, além de recursos humanos e financeiros. Segundo Kinnell (2010), o modelo mais conhecido e utilizado para análise espacial dos processos de erosão hídrica é a Equação Universal de Perda de Solo (*Universal Soil Loss Equation- USLE*), desenvolvida em 1954 no *National Runoff and Soil Loss Data Center* (Purdue University, USA) e posteriormente revisada por Wischmeier e Smith (1978). Essa Equação apresenta limitações como não deposição de sedimentos, nem perdas de solo no caso de chuvas isoladas que causam grandes erosões, não recorrência de eventos de erosão e uso de declividade média que pode subestimar as perdas de solo em declives convexos e superestimar em declives côncavos (Weill & Sparovek, 2008; Amorim *et al.*, 2010).

Mesmo apresentando limitações e requerendo parâmetros que envolvem diversas áreas (hidrologia, pedologia, geomorfologia, agronomia e floresta), a USLE ainda é amplamente utilizada para estimativa de perdas de solo devido à sua estrutura simples e facilidade de aplicação. Mas diante de nossa realidade em que não há banco de dados suficientes em todo o Brasil para a utilização da referida equação, trabalhamos com o modelo simplificado da USLE, proposto por Chaves (2004), com o objetivo de desenvolvermos um modelo que permita o monitoramento de Projetos ou Programas de Conservação de Solo e Água. Assim, propomos o modelo Indicador de Eficácia de Projetos (Modelo IEP) que se apoia apenas nos fatores antrópicos da USLE para quantificar e monitorar a Eficácia de Projetos ou Programas de Conservação de Solo e Água.

## 2 – MODELO USLE

A USLE permite estimar a perda de solo média anual para determinadas condições naturais e antrópicas. É um modelo empírico de natureza estatística e aplicável somente nas condições para as quais os parâmetros do modelo são calibrados, ou seja, somente para áreas próximas dos experimentos. A USLE (Wischmeier & Smith, 1978) é composta por seis fatores (equação 1). Sendo (R, K, L, S) fatores naturais e (C, P) fatores antrópicos. Todos esses fatores devem ser estudados de forma individual e local antes da aplicação do modelo (Irvem *et al.*, 2007).

$$PS = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P \quad (1)$$

em que:  $PS$  = estimativa da perda de solo média anual por unidade de área ( $t \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ );  $R$  = erosividade da chuva ( $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ );  $K$  = erodibilidade do solo ( $t \text{ h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ );  $L$  = comprimento de encosta (adimensional);  $S$  = declividade da encosta (adimensional);  $C$  = uso e manejo do solo (adimensional);  $P$  = práticas conservacionistas (adimensional).

### 2.1 – Fator Erosividade da Chuva (R)

A precipitação como mecanismo de entrada de energia em um sistema hidrossedimentológico tem influência direta para quantificar a resposta de variáveis como, perdas de solo, produção de sedimentos, infiltração, vazão. Pode assumir diversas formas, incluindo chuva, neve, granizo e orvalho. Sendo a chuva o fator climático que mais influencia a erosão (Lombardi Neto & Pastana, 1972).

O potencial da água da chuva para desagregar o solo e transportá-lo por meio do escoamento superficial é denominado erosividade e pode ser medido em função tanto do tamanho, distribuição e velocidade terminal das gotas como da intensidade da precipitação (Lal, 1976; Lal & Elliot, 1994). Ou seja, o poder erosivo da chuva pode ser avaliado pela determinação da energia cinética das gotas, que é função da sua massa e velocidade (Bertoni & Lombardi Neto, 2005).

Objetivando o cálculo direto da energia cinética para determinar a erosividade das chuvas, estudos utilizando chuva natural e artificial são conduzidos para entender o papel do tamanho das gotas e a distribuição da precipitação sobre o desprendimento de partículas do solo. Jiuqin *et al.* (2014) ressaltam a importância do desenvolvimento de equipamentos de

registros de alta sensibilidade e instrumentos de alta precisão para medição direta da energia cinética das chuvas. No entanto, para o cálculo indireto, a relação energia cinética empírica ( $E$ ) e intensidade de precipitação ( $I$ ) é amplamente utilizada através de equações logarítmica, linear e exponencial (Lobo & Bonilha, 2015). Dentre as quais, destaca-se o índice logarítmico  $EI_{30}$  de Wischmeier & Smith (1958). Para esses autores, o índice  $EI_{30}$  é o que melhor expressa o potencial da chuva em causar erosão, considerando as fases de impacto das gotas da chuva, a desagregação do solo, a turbulência do escoamento e o transporte das partículas de solo. Pois verificaram que a perda de solo provocada pelas chuvas tinha elevada correlação com o produto da energia cinética total ( $E$ ) (equação 2) e da intensidade máxima em 30 minutos ( $I_{30}$ ) (equação 3).

$$E = 0,119 + 0,00873 \log I \quad (2)$$

$$EI_{30} = E \cdot I_{30} \quad (3)$$

em que:  $E$  = energia cinética unitária ( $\text{MJ ha}^{-1}\text{mm}^{-1}$ );  $I$  = intensidade média da chuva ( $\text{mm h}^{-1}$ );  $EI_{30}$  = índice de erosividade das chuvas ( $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1}$ );  $I_{30}$  = máxima intensidade da chuva durante um período de 30 minutos ( $\text{mm h}^{-1}$ ).

No entanto vários autores retratam a dificuldade de aplicação do índice  $EI_{30}$  porque em várias regiões do mundo não se tem dados pluviográficos para a determinação das intensidades de precipitações que necessitam de série com mais de 20 anos para esse índice (Silva, 2004; Oliveira *et al.*, 2012). Na falta de dados pluviográficos, dados pluviométricos podem ser utilizados em modelos que correlacionam o  $EI_{30}$  com precipitações médias mensais e médias anuais, ou seja, com o índice de Fournier ( $R_c$ ) (equação 4) e suas modificações (Lombardi Neto & Moldenhauer, 1992; Renard & Freimund, 1994):

$$R_c = p^2/P \quad (4)$$

em que:  $R_c$  = coeficiente de chuva (mm);  $p$  = precipitação média mensal (mm); e  $P$  = precipitação média anual (mm).

Na USLE, o Fator Erosividade ( $R$ ) expressa a erosividade média da chuva que ocorre em determinada localidade em um ano e é dado em ( $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1} \text{ano}^{-1}$ ). Várias equações

para esse Fator R foram desenvolvidas para diversas regiões do Brasil, conforme apresentadas em Silva (2004) e Oliveira *et al.* (2012).

## 2.2 – Fator Erodibilidade do Solo (K)

A erodibilidade expressa a resistência do solo à erosão hídrica levando em consideração seus atributos mineralógicos, químicos, morfológicos e físicos (Amorim *et al.*, 2010). Sendo a textura, a estrutura, a infiltração, a permeabilidade e a capacidade de armazenamento de água, e o conteúdo de matéria orgânica os fatores que exercem maior influência na resistência do solo à erosão (Lima, 2003).

A textura ou composição granulométrica descreve o tamanho das partículas do solo em areia, silte e argila, e exerce influência sobre o arraste de material. Em solos arenosos, devido ao espaço entre os poros ser grande, existe boa capacidade de armazenamento da água precipitada e o destacamento de material ocorre somente após saturação do solo devido ao baixo poder de agregação pela pequena quantidade de argila (Lima, 2003). De outro lado, como possui partículas no formato de lâminas ou placas finas, solos argilosos apresentam poros pequenos e tortuosos com infiltração mais lenta (Brady & Weil, 2013). Entretanto, possuem maior resistência de agregação quando da ocorrência de enxurradas e tendem a ser mais resistentes à erosão do que solos arenosos.

A estrutura do solo caracteriza a forma de arranjo de suas partículas, sendo que solos de texturas iguais podem possuir estruturas diferentes (Gomes, 2013). A estrutura, que representa a condição de estabilidade dos agregados, é fator que exerce influência sobre as forças de dispersão, desagregação e destacamento das partículas pela água (Lima, 2003). Ou seja, a estabilidade assumida pelos agregados do solo condiciona o grau de suscetibilidade à erosão. Sendo que, os agregados do solo possuem maior estabilidade com a presença de argila caulinítica, menor estabilidade com argila montmorilonítica e maior coesão com a presença de matéria orgânica e, por conseguinte, maior resistência à erosão (Lima, 2003).

A infiltração constitui a entrada e o movimento de água no solo. Portanto, quanto maior a infiltração no solo, menor o escoamento na superfície e, conseqüentemente, menor a erosão em superfície. O tamanho e a disposição dos espaços porosos, a umidade do solo no começo da chuva, o grau de agregação do solo e a presença de matéria orgânica influenciam diretamente a infiltração (Medina & Leite, 1985; Bertoni & Lombardi Neto, 2005). Sendo os espaços porosos a característica de maior influência porque quanto mais e maiores forem os espaços porosos, mais rápida é a infiltração e maior a capacidade de absorção de água (Lima,

2003). Esse autor ainda ressalta que: i) além da textura (espaços porosos maiores em areias e menores em argilas), da estrutura (quanto maior a agregação, maiores os espaços porosos), a umidade do solo antes do início da chuva também influi nos espaços porosos, pois provoca diminuição desses espaços, haja vista a dilatação do material coloidal; ii) tanto a presença de material coloidal como a frequência de chuvas são aspectos que, analisados conjuntamente, podem ajudar na avaliação dos processos erosivos, pois solos com grande quantidade de material coloidal e grande ocorrência de chuvas diminuem a taxa de infiltração e os riscos de erosão pelas enxurradas aumentam consideravelmente; e iii) a matéria orgânica também tem influência nas taxas de infiltração devido a sua capacidade de reter água, de duas a três vezes seu peso em água.

Diante dos vários atributos relacionados à erodibilidade do solo, na USLE, o Fator K (equação 5) pode ser obtido de forma direta através de instalação de parcela-padrão descoberta, simulando o solo após o preparo e mantendo-o sem vegetação, padronizada com comprimento  $L=22,1\text{m}$  e declividade  $S=9\%$  (Wischmeier e Smith, 1978). Na parcela mede-se a perda de solo acumulada ao longo do ano ( $PS$ ) e a erosividade ( $R$ ) através de chuva natural ou simulada. Os demais fatores  $L$ ,  $S$ ,  $C$  e  $P$  são considerados equivalentes a 1,0.

$$K = PS / R \quad (5)$$

em que:  $K$  = fator erodibilidade do solo ( $\text{t h MJ}^{-1} \text{mm}^{-1}$ );  $PS$  = estimativa da perda de solo média anual por unidade de área ( $\text{t ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$ ); e  $R$  = erosividade da chuva ( $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1} \text{ano}^{-1}$ ).

Amorim *et al.* (2010) ressaltam que se o Fator K for obtido pela determinação direta, ocorre maior custo e morosidade pela necessidade de instalação no campo de parcelas experimentais de perdas de solo. Assim, destacam a obtenção indireta da erodibilidade a partir do nomograma de Wischmeier e Smith (1971), o qual permite a estimativa do valor de K de forma gráfica, a partir das propriedades de textura, percentual de matéria orgânica, estrutura e permeabilidade do solo. Entretanto, esse nomograma não tem apresentado bons resultados em solos tropicais devido as suas diferenças texturais e a sua grande heterogeneidade de comportamento face ao processo erosivo, particularmente no tocante aos latossolos brasileiros (Amorim *et al.*, 2010). Lima *et al.* (2007) também apontam para a necessidade do desenvolvimento de métodos indiretos para a estimativa de K para solos brasileiros e

avaliaram alguns métodos. Assim como, Silva *et al.* (2000) também testaram 23 diferentes métodos indiretos para obtenção do Fator K.

### 2.3 – Fator Topográfico (LS)

O relevo constitui elemento potencializador do processo de erosão hídrica, uma vez que as características do terreno como declividade (grau do declive), o comprimento da vertente (encosta ou rampa) e sua geometria (concavidade, convexidade, retilinearidade) exercem grande influência na erosão dos solos (Strahler, 1956).

Embora pouco avaliada a geometria da encosta (Lima, 2003), Bertoni & Lombardi Neto (2005) salientam que nas estimativas de perdas de solo o uso do gradiente médio do comprimento da encosta pode subestimar as perdas de solo de encostas convexas e superestimar as perdas nas encostas côncavas. Pois, segundo Lal (1990), enquanto nas encostas convexas aumenta a velocidade do fluxo de escoamento, destacamento e capacidade de transporte, nas vertentes côncavas a velocidade diminui e ocorre deposição. Já o grau do declive e o comprimento da encosta são amplamente reconhecidos como importantes aspectos do terreno que exercem influência sobre o volume e a velocidade da enxurrada e que causam efeitos exponenciais nos cálculos das formulações empíricas de perdas de solo (Lima, 2003).

Na USLE, a intensidade da erosão hídrica é afetada tanto pela distância (Length - L) percorrida pelo escoamento superficial, quanto pela declividade do terreno (Slope - S). Conforme Wischmeier e Smith (1978), embora possam ser avaliados separadamente como comprimento da vertente (L) e declividade (S), comumente são considerados conjuntamente na USLE pelo Fator Topográfico LS. Esses autores propõem para obtenção do Fator LS, em vertentes uniformes, o uso de tabela e gráfico que foram derivados da equação (6) ou equação (7), obtidas a partir de dados experimentais que comparam as perdas de solo em uma área qualquer com as perdas de solo em uma parcela-padrão descoberta de L=22,1m e S=9%.

$$LS = (L / 22,1)^m (65,41 \text{ sen}^2 x + 4,56 \text{ sen } x + 0,065) \quad (6)$$

$$LS = (L / 22,1)^m (0,00654 S^2 + 0,0456 S + 0,065) \quad (7)$$

em que:  $LS$  = fator topográfico (adimensional);  $L$  = comprimento da encosta (m);  $x$  = ângulo de declive da encosta (graus);  $S$  = declividade (adimensional); e  $m$  = dependente da

declividade:  $S < 1\%$ ,  $m = 0,2$ ;  $1\% \leq S \leq 3\%$ ,  $m = 0,3$ ;  $3\% < S \leq 5\%$ ,  $m = 0,4$ ; e  $S > 5\%$ ,  $m = 0,5$ .

No caso de vertentes irregulares, considerando se são côncavas, convexas ou complexas, essa formulação de Wischmeier e Smith (1978) (equação 6) também pode ser aplicada desde que as mesmas sejam divididas em número pequeno de segmentos de igual comprimento, de tal maneira que cada segmento possa ser considerado uniforme para fins práticos. Já a metodologia de Hickey (2000) desenvolvida para o cálculo do Fator LS da USLE utiliza mecanismo para definir as áreas de erosão/deposição denominado de ângulo de inclinação limite. Pois, estima a distância do ponto de origem do fluxo superficial até o ponto onde a declividade da encosta decresce o suficiente e inicia a deposição. Assim, a metodologia de cálculo do Fator LS baseada no ângulo de inclinação limite se propõe a corrigir uma das grandes limitações da USLE/RUSLE para vertentes complexas, que é a identificação de áreas onde o processo predominante é a deposição e não a erosão.

Diante de vários estudos, no Brasil, autores também desenvolveram formulações para determinação do Fator LS tais como Silva (2003) e Bertoni & Lombardi Neto (2005).

#### **2.4 – Fator Uso e Manejo do Solo (C)**

A cobertura vegetal representa a defesa da unidade de paisagem contra os efeitos dos processos modificadores das formas de relevo (erosão) e se dá de diversas maneiras: i) evita o impacto direto das gotas de chuva contra o solo, impedindo a desagregação das partículas; ii) impede a compactação do solo e aumenta a capacidade de absorção de água; iii) aumenta a capacidade de infiltração do solo pela difusão do fluxo de água da chuva; iv) suporta a vida silvestre que, pela presença de estruturas biológicas como raízes de plantas, perfurações de vermes e buracos de animais, aumenta a porosidade e a permeabilidade do solo (Crepani *et al.* 2000). Morgan e Duzant (2008) após trabalharem no modelo Morgan-Morgan-Finney (MMF), que considera os efeitos de culturas e da vegetação na proteção contra a erosão, também afirmam que a vegetação é fator importante, pois promove a deposição de sedimentos antes de alcançarem os corpos hídricos.

Nascimento *et al.* (2014) relata que a cobertura vegetal, como protetora dos solos, pode ser tratada em três níveis: i) acima do solo, evitando o impacto direto das gotas de chuva sobre o solo e, portanto, provocando a atenuação da energia cinética; ii) na superfície do solo, em que a serrapilheira também atenua a energia cinética da chuva, bem como reduz a tensão

de cisalhamento do escoamento sobre o solo devido à diminuição de sua velocidade; iii) abaixo da superfície do solo, através do aumento da macroporosidade e teor de matéria orgânica, a vegetação melhora as condições de infiltração da água no solo e contribui para a redução do escoamento superficial.

Wischmeier & Smith (1978) ressaltam que os efeitos da cobertura devem ser tratados conjuntamente com os efeitos do manejo devido às diversas interações entre eles. Por exemplo, uma cultura pode ser plantada continuamente em um mesmo local ou então em rotação com outras. Seus restos podem ser removidos, deixados na superfície, incorporados próximo à superfície ou totalmente enterrados com o preparo do solo. O preparo do solo pode deixar a superfície do terreno bastante irregular ou lisa. Assim, o Fator C na USLE mede justamente o efeito combinado de todas as relações das variáveis de cobertura e manejo que incluem: tipo de vegetação, desenvolvimento (estágio da cultura), época do ano e manejo das culturas. Ou seja, representa o grau de proteção média à erosão quanto ao uso (lavoura, pastagem, mata...) e quanto ao manejo do solo (preparo convencional, cultivo mínimo, plantio direto) (Amorim *et al.*, 2010).

Conforme proposto por Wischmeier & Smith (1978), o Fator C pode ser obtido em parcelas experimentais, comparando as taxas de perdas de solo em determinados estágios de desenvolvimento das culturas com as taxas de perdas de solo em parcela-padrão com solo desprovido de cobertura de  $L=22,1m$  e  $S=9\%$ . Eduardo *et al.* (2013) descrevem a obtenção do Fator C: i) dividir o ciclo de cada cultura em estágios com igual tempo de duração; ii) para cada estágio determinar a razão de perda de solo ( $RPS_i$ ) (equação 8) e a fração do índice de erosividade ( $FEI_{30i}$ ) (equação 9); iii) multiplicar cada  $RPS_i$  por sua  $FEI_{30i}$  e determinar o fator de uso e manejo do solo (Fator  $C_i$ ) para cada estágio da cultura (equação 10); iv) por fim, obter o Fator C de determinada cultura (equação 11) somando-se o Fator  $C_i$  de cada estágio.

$$RPS_i = PS_{cci} / PS_{sci} \quad (8)$$

$$FEI_{30i} = EI_{30i} / EI_{30} \quad (9)$$

$$C_i = RPS_i \cdot FEI_{30i} \quad (10)$$

$$C = \sum C_i \quad (11)$$

em que:  $RPS_i$  = razão de perda de solo em cada estágio do ciclo da cultura ;  $PS_{cci}$  = perda de solo com cobertura em cada estágio da cultura;  $PS_{sci}$  = perda de solo correspondente ao estágio na parcela-padrão da USLE sem cobertura;  $FEI_{30i}$  = fração do índice de erosividade em cada estágio do ciclo da cultura;  $EI_{30i}$  = índice de erosividade que causou a perda de solo em cada estágio;  $EI_{30}$  = índice de erosividade ocorrido no ciclo da cultura;  $C_i$  = fator de uso e manejo do solo para cada estágio do ciclo da cultura; e  $C$  = fator de uso e manejo do solo para determinada cultura (adimensional).

Como a determinação dos valores do Fator C é complexa, pois depende dos diferentes cultivos e diferentes períodos de crescimento das culturas e dos vários tipos de manejo, Amorim *et al.* (2010) afirmam que são poucos os trabalhos no Brasil que determinam o Fator C. Alguns desses trabalhos são citados em Nascimento *et al.* (2014) cujos valores são apresentados para algumas culturas.

## 2.5 – Fator Práticas Conservacionistas (P)

Diversos métodos de conservação do solo e água visam reduzir ou evitar a ação da água da chuva sobre o terreno, principalmente no tocante à declividade (Macedo *et al.*, 2009). Pois, quanto maior a declividade do terreno e maior a extensão da rampa (encosta) maior o volume do escoamento superficial. Tais métodos conservacionistas se agrupam em práticas vegetativas (florestamento e reflorestamento, plantas de cobertura, cobertura morta, rotação de culturas, formação e manejo de pastagem, cultura em faixa, faixa de bordadura, quebra vento e bosque sombreador, cordão vegetativo permanente, manejo do mato e alternância de capinas); práticas edáficas (cultivo de acordo com a capacidade de uso da terra, controle do fogo, adubação verde, química, orgânica, calagem); e práticas mecânicas (preparo do solo e plantio em nível, distribuição adequada dos caminhos sulcos e camalhões em pastagens, enleiramento em contorno, terraceamento, subsolagem) (Paiva & Araujo, 2012). Esses autores ainda ressaltam que a escolha dos métodos/práticas de prevenção à erosão deve ser feita em função dos aspectos ambientais e socioeconômicos de cada propriedade e região, considerando a adoção simultânea de práticas, pois se aplicadas isoladamente previnem apenas de maneira parcial o problema.

Miranda *et al.* (2004) também discutem que, na prática, nem sempre as práticas edáficas e vegetativas são suficientes para o controle da erosão, principalmente em regiões em que ocorrem chuvas de grande intensidade. Nesse caso, salientam que a adoção de

procedimentos complementares torna-se necessária para reduzir a velocidade do escoamento superficial e conseqüentemente a capacidade de transporte de sedimentos, o que pode ser alcançado mediante a implantação de barreiras mecânicas. No caso das lavouras, Wischmeier & Smith (1978) citam que o plantio direto em nível, cultura em faixas em nível e sistemas de terraço são as práticas conservacionistas mais importantes e tabelaram essas práticas em função da declividade do terreno, fornecendo vários valores para o Fator P da USLE com base em dados e observações obtidas em campo.

O Fator P da USLE expressa a relação entre a perda de solo com determinada prática conservacionista e a correspondente perda de solo com plantio morro abaixo. Ou seja, o Fator P reflete os efeitos das práticas conservacionistas que reduzem o escoamento superficial e, assim, reduzem a quantidade de erosão. No Brasil, a maioria dos trabalhos adotam valores do Fator P tabelados por Bertoni & Lombardi Neto (2005). No entanto, Oliveira *et al.* (2007) e Silva *et al.* (2007) utilizaram a equação (12) para determinação do Fator P onde a declividade é considerada fator limitante.

$$P = 0,69947 - 0,08991 S + 0,01184 S^2 - 0,00035 S^3 \quad (12)$$

em que:  $P$  = práticas conservacionistas (adimensional);  $S$  = declividade (adimensional).

## 2.6 – Integração dos Fatores da USLE

Como a USLE é um modelo empírico de natureza estatística e que se baseia em observações experimentais, seus fatores (K, R, L, S, C e P) são estudados de forma local e representam as condições naturais e antrópicas para áreas próximas dos experimentos. Todos os fatores são analisados individualmente e participam do modelo com mesmo peso e mesmo grau de importância.

Se todos os fatores (K, R, L, S, C e P) forem multiplicados, o produto é a estimativa da perda de solo média anual (PS). Mas também é possível multiplicar apenas os fatores (R, K, L e S), que dependem das condições naturais do clima, solo e relevo, e o produto é o potencial natural à erosão (PNE). Assim como, multiplicar apenas os fatores (C e P), que relacionam as formas de uso e ocupação do solo, e determinar o potencial antrópico à erosão (PAE).

A integração dos fatores da USLE é facilitada pela aplicação de plataforma digital de Sistemas de Informações Geográficas (SIGs), os quais são mundialmente utilizados em modelos de predição à erosão (Quan, 2011). Pois, essas ferramentas computacionais permitem

espacializar cada fator da USLE transformando-os em planos de informação que são mapas digitais do tipo vetorial e raster (matricial). Como também permitem diversas operações algébricas desses mapas.

### 3 – MODELO PROPOSTO

Para criação do Programa Produtor de Água, a ANA baseou-se na política americana preventiva de conservação dos recursos hídricos pelo controle da erosão por meio de compensação financeira. E como no programa americano, o *Conservation Reserve Program*, o Programa Produtor de Água brasileiro também utiliza a Equação Universal da Perda de Solo (USLE) para verificação da elegibilidade dos pagamentos por serviços ambientais (PSAs). O Programa brasileiro sugere o Indicador Abatimento da Erosão (Figura 2) para pagamentos dos serviços ambientais aos produtores rurais (ANA, 2012). Esse indicador apoia-se apenas na variação dos fatores antrópicos (C e P) da USLE e permite comparar as condições atuais de usos/manejos/práticas ( $\Phi_0$ ) com os usos/manejos/práticas propostos ( $\Phi_1$ ) para a conservação dos solos e verificar qual o abatimento da erosão pode ser obtido (Chaves, 2004).

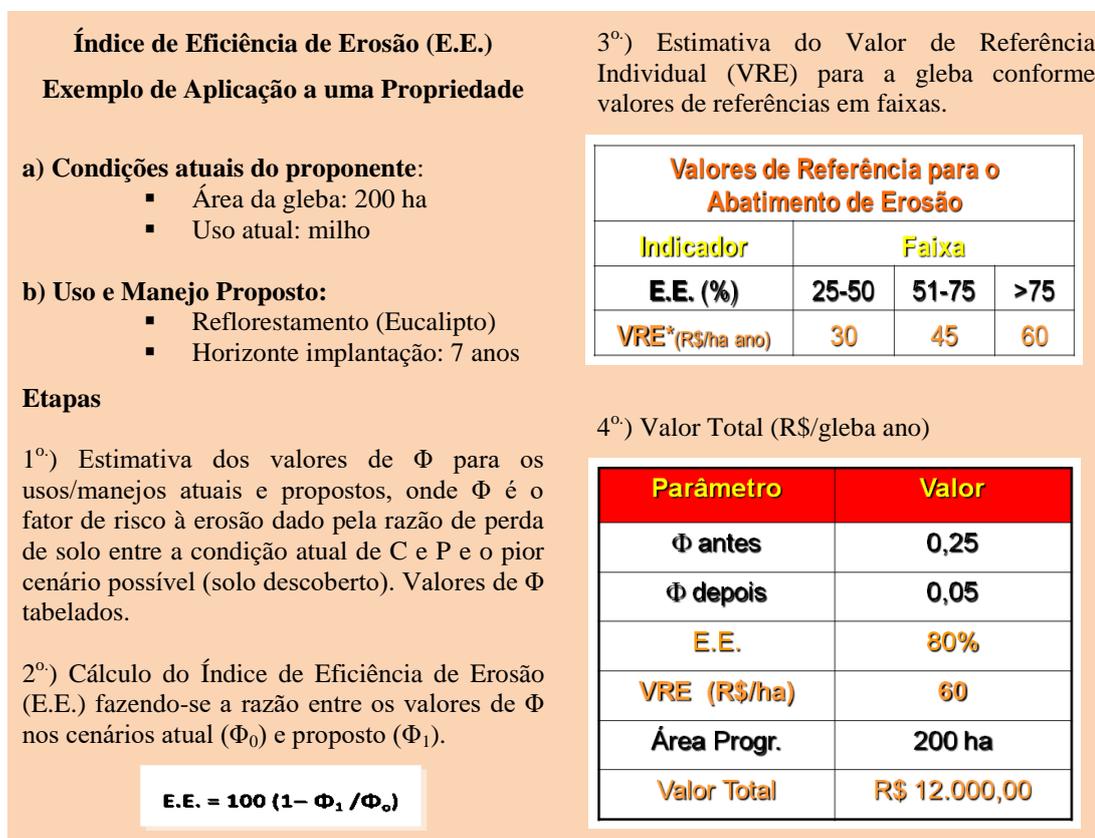


Figura 2: Abatimento da Erosão como critério de elegibilidade para os PSAs  
 Fonte: Adaptado de ANA, 2012

Classificando em faixas o abatimento da erosão (Figura 2), o Programa Produtor de Água prevê para cada faixa a valoração dos serviços ambientais de proteção hídrica com base em um Valor de Referência (VRE). Esse valor é o custo de oportunidade de uso de um hectare da área objeto do projeto, expresso em reais por hectare por ano. É obtido mediante o desenvolvimento de estudo econômico, específico para a área do projeto, baseado na atividade agropecuária mais utilizada na região ou no conjunto de atividades que melhor represente os ganhos médios líquidos obtidos na sua utilização.

O modelo simplificado da USLE, apoiando-se apenas na variação dos fatores antrópicos (C e P), é utilizado em projetos do Programa Produtor de Água, no âmbito de gleba ou propriedades, somente para calcular os valores expressos em R\$ por hectare ano a serem pagos aos produtores rurais. Ou seja, somente para a valoração dos serviços ambientais. Assim, propomos a adaptação desse modelo simplificado para o monitoramento espacializado de quaisquer Projetos ou Programas de Conservação de Solo e Água.

Para acompanhamento das mudanças introduzidas pelo homem e as respostas da natureza, no modelo proposto adotamos: i) a comparação entre perdas de solo por erosão hídrica antes e após a implementação de Projetos ou Programas de Conservação de Solo e Água como critério para medir a eficácia desses Projetos ou Programas; ii) a utilização de imagem de satélite como “âncora” para definição dos dados necessários para a espacialização das perdas de solo; iii) a bacia hidrográfica como ordenação do terreno para elaboração dos mapas de uso e ocupação e posterior definição do grau de ação antrópica e de cobertura vegetal, pois para avaliação espacial da erosão hídrica dos solos, o mais comum é assumir a bacia hidrográfica ou microbacia como unidade de terreno, porque é nessa unidade que todos os processos erosivos associados aos processos hidrológicos estão representados (Vezina et. Al, 2006); e iv) o uso de Sistemas de Informações Geográficas (SIGs), pois, como banco de dados geográficos na forma digital representados por imagens de Sensoriamento Remoto, grades regulares de pontos, grades triangulares, tabelas e mapas (Barbosa, 1997), os dados georreferenciados organizados e correlacionados entre si são passíveis de serem constantemente alterados.

Os SIGs permitem a exclusão ou inserção de informações a qualquer tempo. Assim, para o monitoramento constante e espacializado de Projetos ou Programas de Conservação de Solo e Água, partimos do modelo simplificado da USLE (Chaves, 2004) e propomos o modelo (Figura 3) considerando a álgebra de mapas.

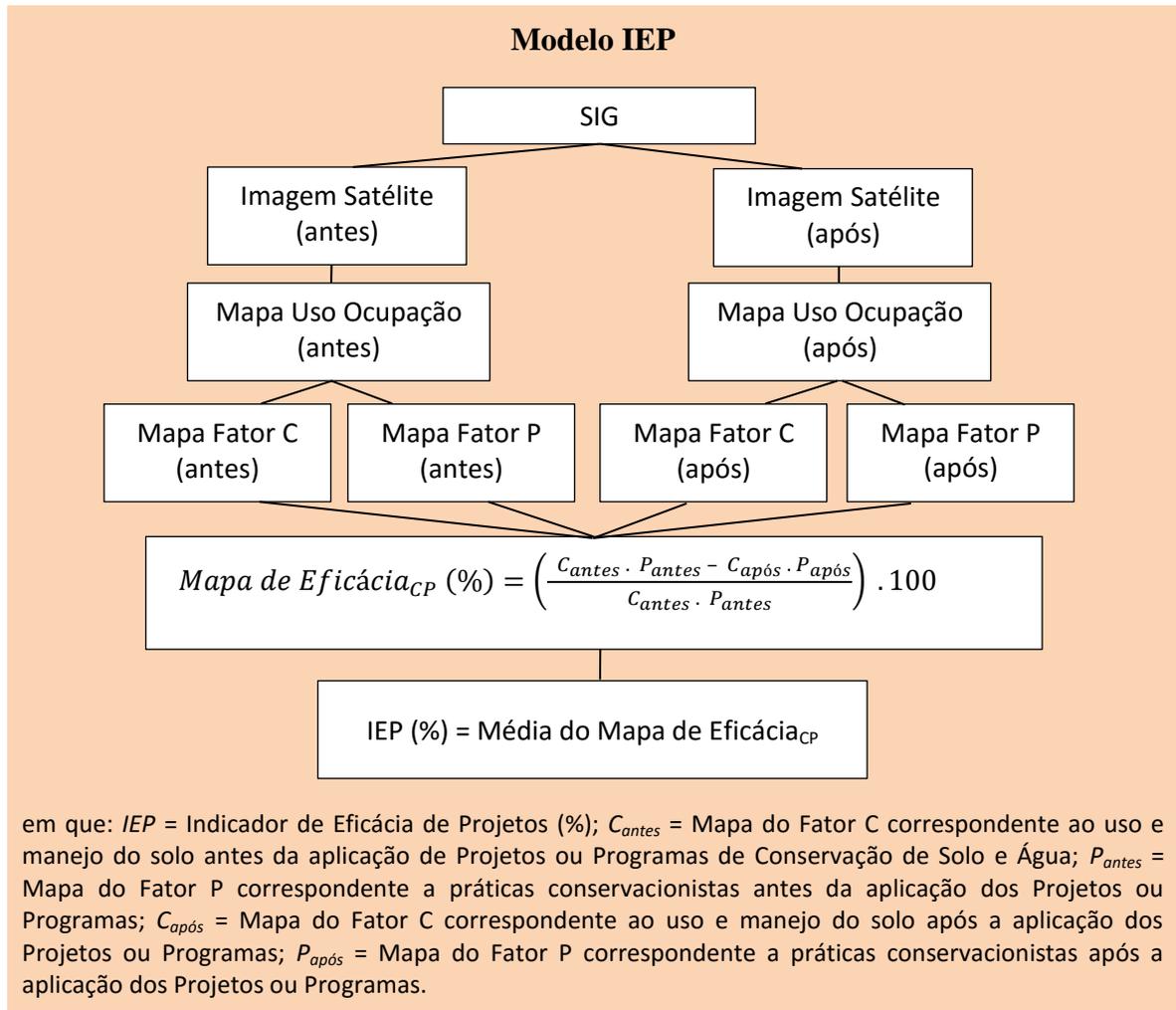


Figura 3: Modelo Indicador de Eficácia de Projetos para monitoramento de Projetos ou Programas de Conservação de Solo e Água

O modelo proposto pretende medir o nível de eficácia de Projetos ou Programas de Conservação de Solo e Água considerando a comparação entre as perdas de solo (PS) anteriores e posteriores à implementação dos Projetos ou Programas (equações 13 e 14). Trata-se de períodos distintos, porém a mesma região. Portanto, os fatores naturais (R, K, L, S) da USLE são considerados constantes (equação 15) e a comparação entre as perdas de solo é efetuada em função apenas dos fatores antrópicos (C e P) (equação 16).

$$\text{Eficácia} (\%) = \left( \frac{PS_{anterior} - PS_{posterior}}{PS_{anterior}} \right) \cdot 100 \quad (13)$$

$$\text{Eficácia} (\%) = \left( \frac{(R.K.L.S.C.P)_{anterior} - (R.K.L.S.C.P)_{posterior}}{(R.K.L.S.C.P)_{anterior}} \right) \cdot 100 \quad (14)$$

$$\text{Eficácia} (\%) = \left( \frac{(R.K.L.S.C.P)_{anterior} - (R.K.L.S.C.P)_{posterior}}{(R.K.L.S.C.P)_{anterior}} \right) \cdot 100 \quad (15)$$

$$Eficácia (\%) = \left( \frac{(C.P)_{anterior} - (C.P)_{posterior}}{(C.P)_{anterior}} \right) \cdot 100 \quad (16)$$

Matematicamente, a simplificação da USLE é possível porque nela a perda de solo (PS) é o parâmetro dependente que está em função dos seis parâmetros (R, K, L, S, C, P) independentes entre si e que se dividem em fatores relacionados às condições naturais (R, K, L, S) e fatores antrópicos (C e P) relacionados às formas de uso e ocupação do solo. Contudo, a simplificação da USLE apoiando-se apenas nos Fatores C e P (equação 16) é aplicável somente quando se trata da comparação das perdas de solo em períodos distintos e para a mesma região (Chaves, 2004).

O fato de ser mesma região, no modelo proposto consideramos os parâmetros (R, K, L, S) como constantes. Pois são fatores que dependem das condições naturais da região e que praticamente não se alteram antes e após a implementação dos Projetos ou Programas. Tal afirmação parte dos seguintes pressupostos: i) para a determinação do Fator R deve-se considerar médias com séries históricas de 10 a 20 anos (Wischmeier & Smith, 1978); ii) para o Fator K os solos são os mesmos e os valores médios de suas características são obtidos conforme disponibilidade de dados locais; e iii) para os Fatores L e S a topografia é praticamente a mesma e também são obtidos a partir de valores médios. Portanto, por se tratar de valores médios e séries históricas, as alterações de origens naturais podem ocorrer. Mas no modelo proposto são consideradas de ocorrências lentas ao ponto de serem tratadas como constantes frente às ações antrópicas de efeitos mais imediatos e visualmente mais perceptíveis.

#### 4 – VALIDAÇÃO DO MODELO IEP

Por se tratar de Área de Proteção Ambiental do Córrego Guariroba, a qual, em 1995, teve sua criação vinculada à necessidade de recuperação e conservação do principal sistema produtor de água bruta para abastecimento público do município de Campo Grande/MS, a Bacia Hidrográfica do Córrego Guariroba (Figura 4) é amplamente estudada. Assim, para a validação do modelo proposto, utilizamos mapas de fatores naturais (Tabela 1) e de fatores antrópicos (Tabela 2) que preparamos a partir de estudos já realizados para o Projeto Produtor de Água Manancial Vivo na Bacia Córrego Guariroba. Esse Projeto faz parte do Programa Produtor de Água instituído pela Agência Nacional de Águas (ANA). Visa à conservação do solo e da água por meio da adoção de práticas de restauração de vegetação e manejo correto

do solo. Para isso adota o sistema de pagamentos por serviços ambientais (PSAs). Foi iniciado em 2009 e formalizado em 2010. A prefeitura é o órgão proponente desse Projeto e os PSAs são fomentados pela Prefeitura em parceria com o Ministério Público Estadual.

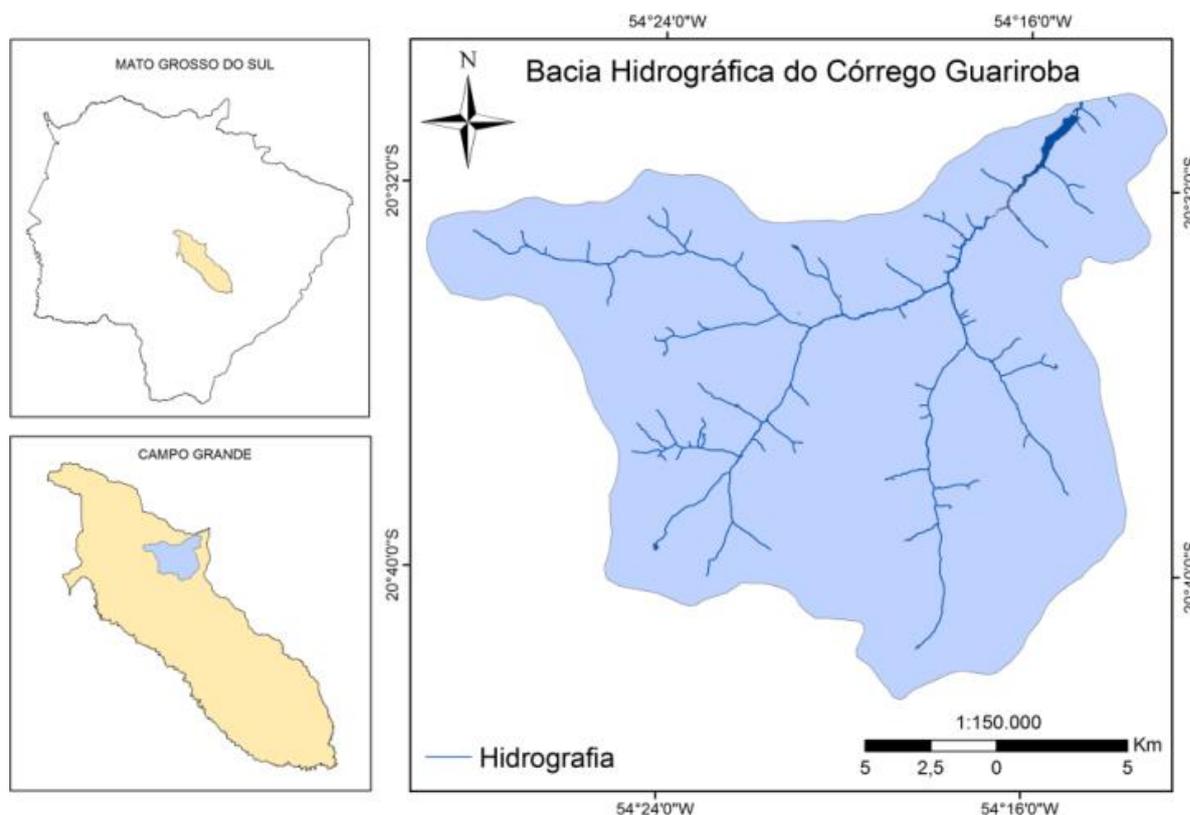
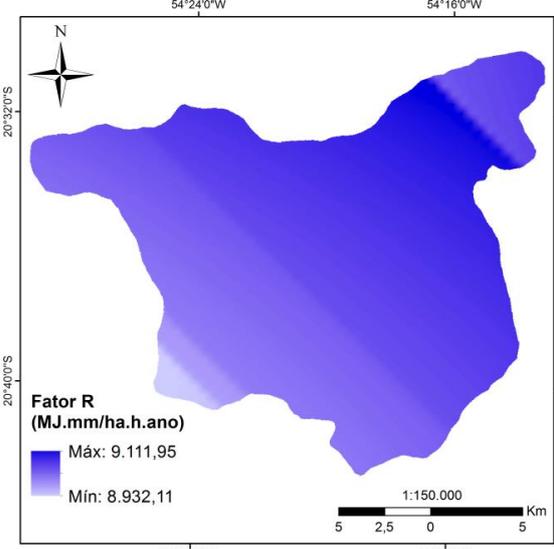
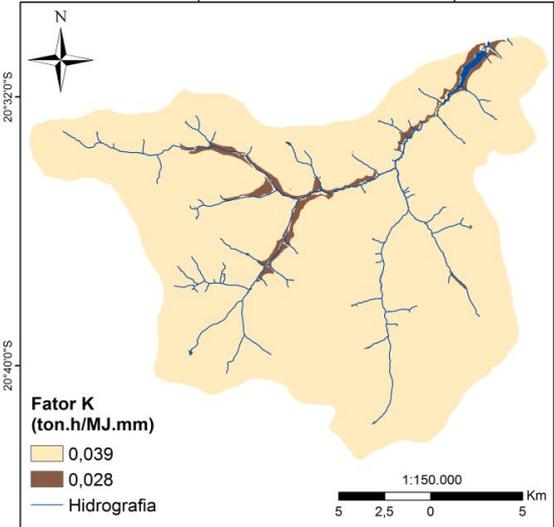
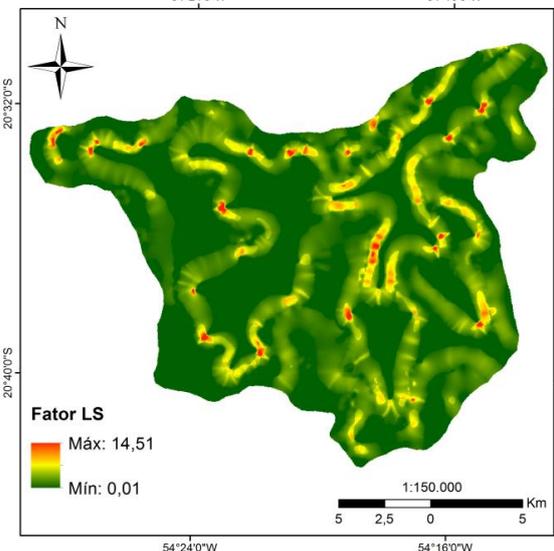


Figura 4: Localização da área teste para validação do modelo proposto  
Fonte: Grupo Heros/UFMS

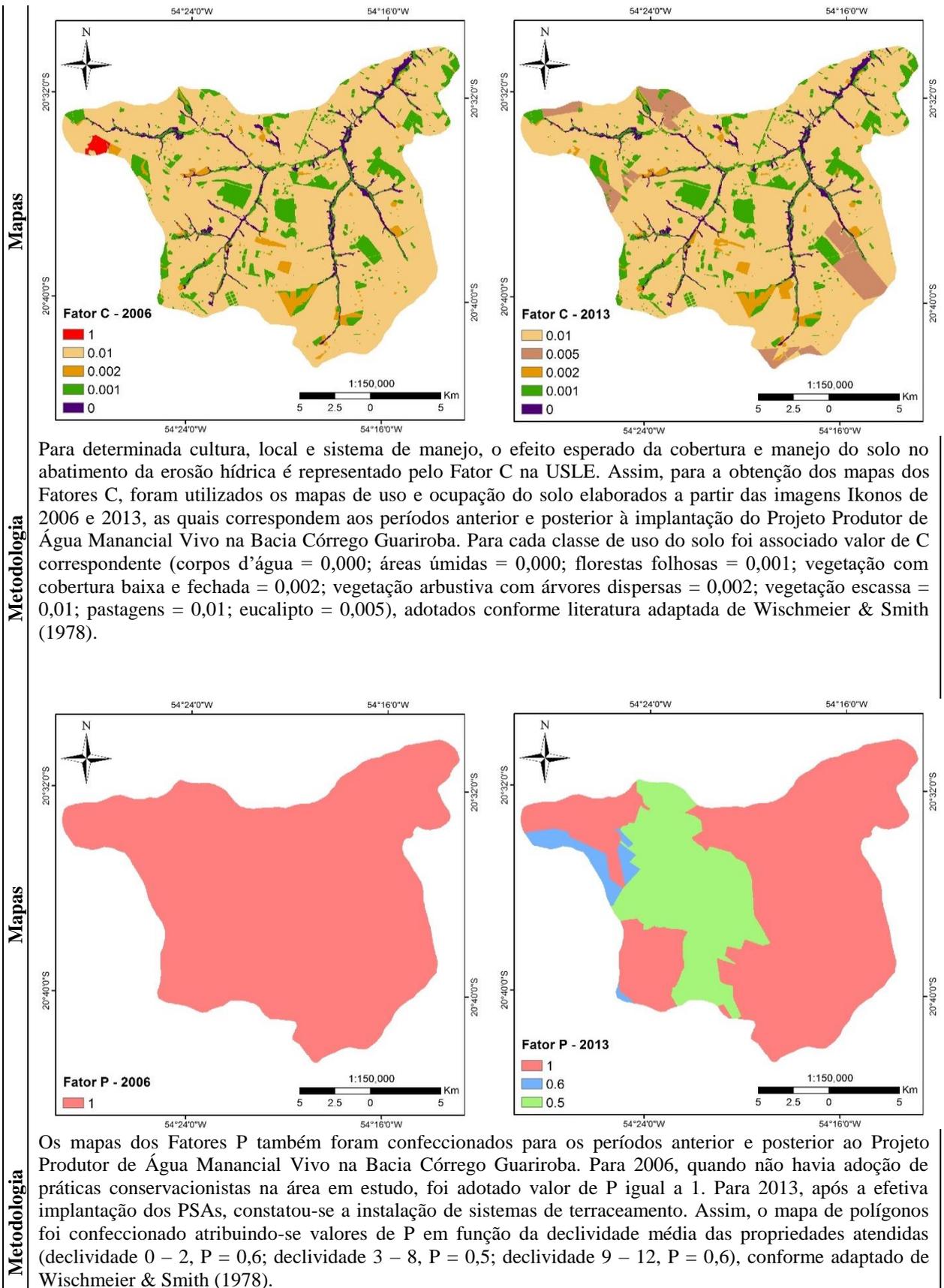
A bacia hidrográfica do Córrego Guariroba está entre os paralelos  $20^{\circ}28'$  e  $20^{\circ}43'$  de latitude sul e os meridianos  $54^{\circ}29'$  e  $54^{\circ}11'$  de longitude oeste e possui aproximadamente  $362 \text{ km}^2$ . O clima da região, de acordo com o modelo de classificação climática de Köpen-Geiger, é do tipo Aw definido como clima quente e úmido. Apresenta temperaturas elevadas e períodos de chuva definidos, com média anual de precipitação da ordem de  $1.500 \text{ mm}$ , variando de  $750 \text{ mm}$  a  $2.000 \text{ mm}$ . Na bacia são identificados três tipos de solo: Latossolo Vermelho Distrófico (LVd), Neossolo Quartzarênico Órtico (RQo) e Neossolo Quartzarênico Hidromórfico (RQg).

TABELA 1 – Fatores Naturais da Bacia Hidrográfica do Córrego Guariroba

Mapas	Metodologia
 <p><b>Fator R</b> (MJ.mm/ha.h.ano)</p> <p>Máx: 9.111,95 Mín: 8.932,11</p> <p>1:150.000 Km</p>	<p>A espacialização do Fator R foi obtida através do recorte da carta de erosividade da chuva do Estado de Mato Grosso do Sul (MS). Essa carta foi desenvolvida a partir de dados de precipitação de 156 estações pluviométricas da ANA, localizadas em todo Estado de MS. A equação (17) foi utilizada para a geração do índice de erosividade média mensal. E, através do somatório do índice de erosividade média mensal (equação 18), a erosividade média anual (Fator R) foi calculada para cada estação pluviométrica.</p>
 <p><b>Fator K</b> (ton.h/MJ.mm)</p> <p>0,039 0,028</p> <p>Hidrografia</p> <p>1:150.000 Km</p>	<p>Para a erodibilidade dos solos foram consideradas 64 amostras de 9 pontos da bacia estudada. Para os teores individuais de areia, silte e argila foi adotado o método da pipetagem, após dispersão química e física. Para os teores de matéria orgânica nos solos foi adotada a queima em mufla do material previamente seco em estufa, conforme NBR 13.600/96 da ABNT. E, os valores dos Fatores K correspondentes aos tipos de solos foram obtidos a partir da equação (19).</p>
 <p><b>Fator LS</b></p> <p>Máx: 14,51 Mín: 0,01</p> <p>1:150.000 Km</p>	$EI_m = 68,73 \cdot (p^2/P)^{0,841} \quad (17)$ $R = \sum_{i=1}^{12} EI_m \quad (18)$ $K = \left[ 0,2 + 0,3 \exp(-0,0256 SAN(1 - \frac{SIL}{100})) \right] \cdot \left[ 1,0 - \frac{0,25 C}{C + \exp(3,72 - 2,95 C)} \right] \cdot \left[ \frac{SIL}{CLA + SIL} \right]^{0,3} \cdot \left[ 1,0 - \frac{0,70 SNI}{SNI + \exp(-5,41 + 22,9 SNI)} \right] \cdot 0,1317 \quad (19)$ <p>em que: <i>SAN</i> = porcentagem de areia; <i>SIL</i> = porcentagem de silte; <i>CLA</i> = porcentagem de argila; <i>C</i> = teor de carbono orgânico; <i>SNI</i> = 1,0 menos o teor de areia dividido por 100.</p> <p>O mapa Fator LS foi obtido a partir do <i>software LS-TOOL</i>. No qual o Modelo Digital de Elevação (MDE), proveniente da vetorialização da base cartográfica DSG/1979, foi inserido em formato <i>American Standard Code for Information Interchange</i> (ASCII). O software realiza os cálculos baseados nas equações (20 a 26):</p> $LS = L \cdot S \quad (21)$ $L = (\lambda/22,13)^m \quad (22)$ $m = \beta / (1 + \beta) \quad (23)$ $\beta = (\text{sen } \theta) / [3 \cdot (\text{sen } \theta)^{0,8} + 0,56] \quad (24)$ $S = 10,8 \cdot \text{sen } \theta + 0,03 \text{ se } \theta < 9\% \quad (25)$ $S = 16,8 \cdot \text{sen } \theta - 0,50 \text{ se } \theta \geq 9\% \quad (26)$ <p>em que: <i>LS</i> = fator topográfico (adimensional); <i>L</i> = comprimento da encosta (m); <i>S</i> = declividade da encosta (adimensional); <math>\lambda</math> = comprimento do declive; <i>m</i> = dependente da declividade; <math>\beta</math> = fator que varia com a declividade; <math>\theta</math> = ângulo de declive da encosta (graus).</p>

Fonte: - Dados fornecidos pelo Grupo Heros/UFMS.

TABELA 2 – Fatores Antrópicos da Bacia Hidrográfica do Córrego Guarairoba



Para a validação do Modelo IEP, comparamos a  $Eficácia_{(RKLSCP)}$ , obtida através da operação algébrica entre todos os fatores da USLE (equação 27), e a  $Eficácia_{(CP)}$  obtida considerando o modelo proposto, ou seja, apenas utilizando os Fatores C e P (equação 28). Essas comparações foram feitas considerando toda a bacia (Figura 5) e somente as áreas em que já foi implementado o Projeto Produtor de Água Manancial Vivo no Córrego Guariroba (Figura 6).

$$Eficácia_{RKLSCP} (\%) = \left( \frac{R.K.LS.C_{2006}.P_{2006} - R.K.LS.C_{2013}.P_{2013}}{R.K.LS.C_{2006}.P_{2006}} \right) . 100 \quad (27)$$

$$Eficácia_{CP} (\%) = \left( \frac{C_{2006}.P_{2006} - C_{2013}.P_{2013}}{C_{2006}.P_{2006}} \right) . 100 \quad (28)$$

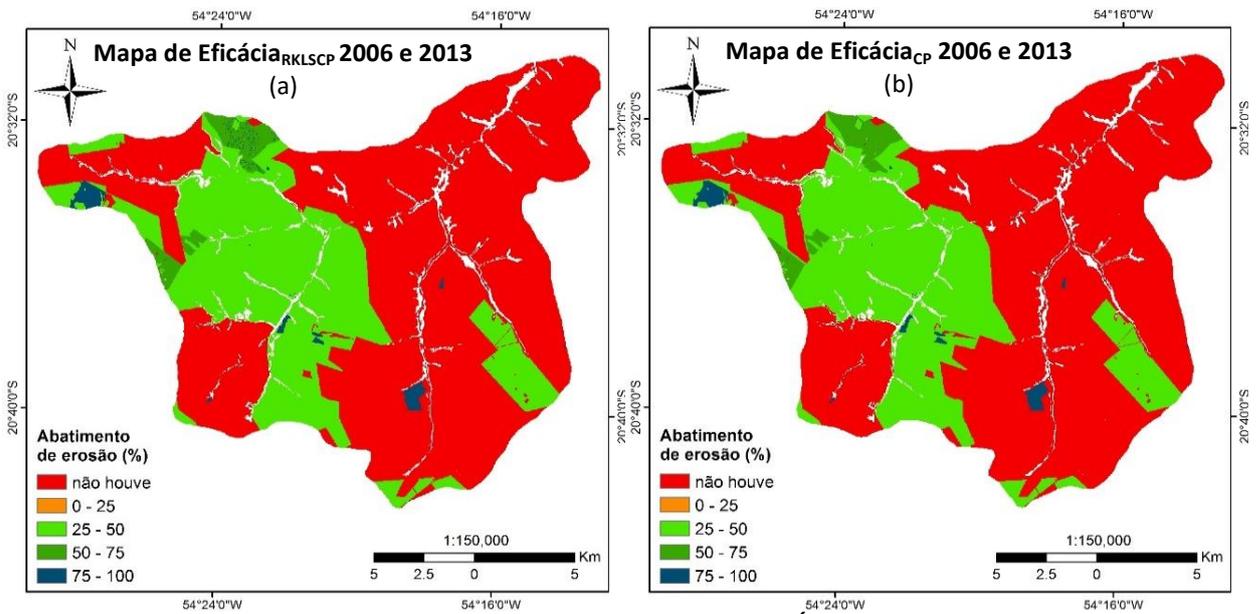


Figura 5 – Mapas de Eficácia do Projeto Produtor de Água Manancial Vivo na Bacia Córrego Guariroba, considerando todos os Fatores R, K, LS, C e P da USLE (a) e apenas os fatores antrópicos C e P (b)

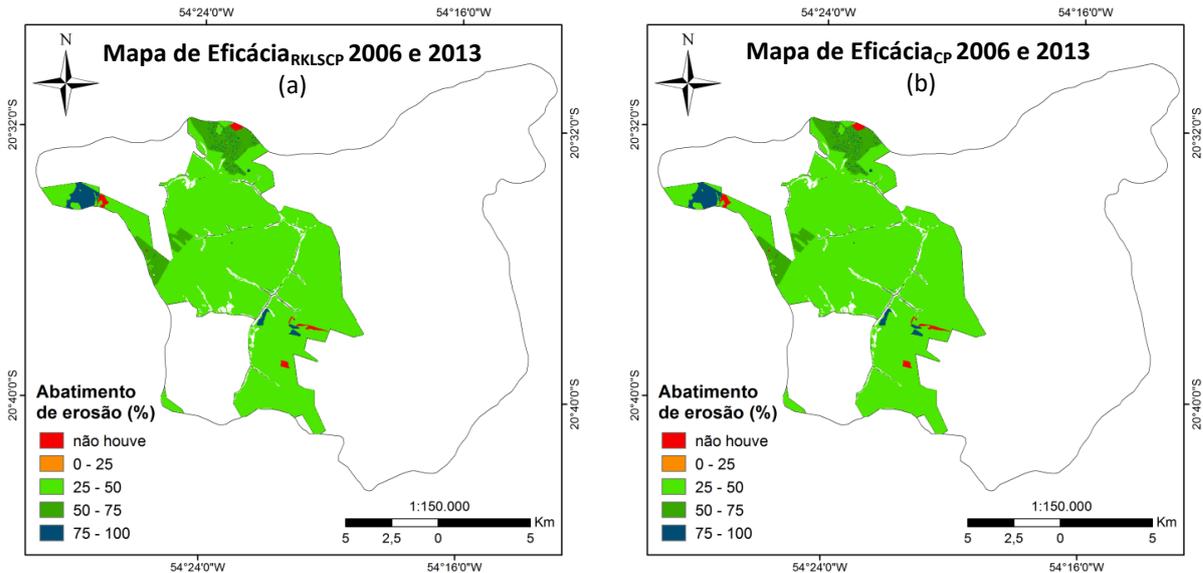


Figura 6 – Mapas de Eficácia do Projeto Produtor de Água Manancial Vivo Córrego Guariroba, somente nas áreas de implementação, considerando todos os Fatores R, K, LS, C e P da USLE (a) e apenas os fatores antrópicos C e P (b)

Comparamos os mapas obtidos (Figuras 5 e 6) através de suas médias (Tabela 3). Verificamos que as médias foram iguais tanto considerando todos os fatores (R, K, L, S, C, P) como considerando apenas os fatores antrópicos (C e P). Isso comprova que o Modelo IEP proposto é válido. Portanto, afirmamos que o IEP para toda bacia é de aproximadamente 16% e de 49% somente para as áreas de implementação do projeto analisado. Ou seja, em termos de bacia hidrográfica o Projeto Produtor de Água Manancial Vivo do Córrego Guariroba foi eficaz em 16 % e em termos de áreas já implementadas sua eficácia é maior, em torno de 49 %. Contudo, não podemos afirmar se estes valores de eficácias são baixos, médios ou altos, pois ainda não temos um padrão de referência para comparação. Sugerimos a utilização do Modelo IEP em outros projetos e em estudos futuros aplicados ao fatiamento dessas porcentagens de eficácias para estabelecimento do padrão de referência.

TABELA 3 – Validação do Modelo IEP

Álgebra de Mapas e Espacialização das Eficácias	Média das Eficiências (%)	Desvio Padrão (%)
Mapa de Eficácia <sub>RKLSCP</sub> (Figura 4a)	16,42	28,91
Mapa de Eficácia <sub>CP</sub> (Figura 4b)	16,45	28,88
Mapa de Eficácia <sub>RKLSCP</sub> (Figura 5a)	49,05	27,06
Mapa de Eficácia <sub>CP</sub> (Figura 5b)	49,77	26,30

## 5 – VANTAGENS E LIMITAÇÕES DO MODELO IEP

Na prática, o Modelo IEP propõe a utilização apenas de imagens de satélite e SIGs. Assim ele poderá ser aplicado para o monitoramento constante de Projetos e Programas de Conservação de Solo e Água com a vantagem de exigir menos dados e menos custos com profissionais especializados nas áreas de hidrologia para o Fator R, pedologia para o Fator K e geomorfologia para o Fator LS e também menos custos com levantamentos de campo. Sendo essa vantagem bem considerável em virtude da escassez de bancos de dados no Brasil para as variáveis naturais (R, K, L e S).

A capacidade de espacialização das eficácias dos projetos em termos de bacia hidrográfica também é favorável ao Modelo IEP. Pois no modelo desenvolvido por Chaves (2004) o índice de abatimento da erosão é usado somente para estabelecimento de valores a serem pagos aos produtores e o monitoramento é feito em termos de propriedades ou glebas para verificação do cumprimento das metas pelos produtores participantes do Programa Produtor de Água.

Ainda por ser construído com base em SIG, o Modelo IEP permite que em seu Banco de Dados sejam incorporados valores gastos, seja com a implantação dos Projetos ou Programas, seja com os PSAs. Dessa forma, recomendamos estudos que incorporem dados econômicos ao modelo proposto e que permitam fazer associações como, para x % de abatimento de perda de solo são necessários y reais.

Outro fator positivo do modelo proposto é que, mesmo sem a incorporação de dados econômicos, ele permite a indicação da eficácia de projetos que utilizam os mecanismos de PSAs. Portanto, como tais mecanismos são recentes e demandam estudos que auxiliem seu processo de regulamentação, o Modelo IEP poderá ser utilizado com indicador para os mecanismos de PSAs relacionados os recursos hídricos.

Uma limitação do modelo proposto é que ele não permite quantificar a perda de solo. Apenas indica a porcentagem do abatimento da perda de solo. Ou seja, somente permite verificar a possível diminuição da erosão do solo em resposta às mudanças de uso/manejo do solo e práticas conservacionistas inseridas após os Projetos ou Programas de Conservação de Solo e Água.

Outra limitação do Modelo IEP é o fato de considerar os fatores naturais (R, K, L, S) como constantes. Portanto estudos futuros são necessários para verificações de possíveis alterações desses fatores. Principalmente, no que se refere à estrutura do solo, devido à

incorporação de matéria orgânica e atividades de mecanização, e também referente ao comprimento de rampa devido a atividades de terraceamento.

## 6 – CONCLUSÕES

1 – O Modelo IEP (Indicador de Eficácia de Projeto) atende aos propostos de ser modelo simples, apoiando apenas nos fatores antrópicos (C e P) da USLE, para quantificar a eficácia de ações de conservação de solo e água.

2 – Como possui base conceitual na álgebra de mapas, utilizando imagens de satélite de períodos distintos e manipulação dos mapas em SIGs, o Modelo IEP é dinâmico. Portanto, pode ser recomendado para monitorar Projetos ou Programas de Conservação de Solo e Água, pois permite indicar o nível de eficácia especializada desses Projetos ou Programas.

3 – Trata-se de modelo preliminar, portanto, esperamos da comunidade de usuários avaliações detalhadas da sensibilidade das repostas do Modelo IEP aqui proposto.

## 7 – REFERÊNCIAS

AMORIM, R. S. S.; SILVA, D. D.; PRUSKI, F. F. Principais modelos para estimar as perdas de solo em áreas agrícolas. In: CONSERVAÇÃO DE SOLO E ÁGUA: práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica. Viçosa: UFV, 2010.

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Manual Operativo do Programa Produtor de Água. 2 ed. Brasília: ANA, 2012.

ARNOLD, J. G.; SRINIVASAN, R.; MUTTIAH, R. S.; WILLIAMS, J. R. Large-area hydrologic modeling and assessment: Part I. Model development. J. American Water Resour. Assoc., v. 34, n. 1, p. 73-89, 1998.

BARBOSA, C. C. F. Álgebra de mapas e suas aplicações em sensoriamento remoto e geoprocessamento. São José dos Campos: INPE, 1997.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. Conservação do Solo. São Paulo: Ícone, 5 ed, 2005.

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. Elementos da Natureza e Propriedades dos Solos. Bookman, 3 ed, 2013.

CHAVES, H.M.; BRAGA, B.; DOMINGUES, A.F.; SANTOS, D.G. Quantificação dos benefícios e compensações do “Programa do Produtor de água” (ANA): I Teoria. R. Bras. Rec. Hídricos, v. 9, p. 5-14, 2004.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S.; HERNANDEZ FILHO, P.; FLORENZANO, T.G.; DUARTE, V.; BARBOSA, C. C. F. Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial. São José dos Campos: INPE, 2000. 80 p. (INPE-7498-PRP/221).

EDUARDO, E. N.; CARVALHO, D. F.; MACHADO, R. L.; SOARES, P. F. C.; ALMEIDA, W. S. Erodibilidade, fatores cobertura e manejo e práticas conservacionistas em argissolo vermelho-amarelo, sob condições de chuva natural. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 37, p. 796-803, 2013.

ELLIOT, W.J.; FLANAGAN, D.C.; LAFLEN, J.M.; MEYER, C.R.; NEARING, M. A. WEP-predicting water erosion using a process-based model. *Journal of Soil and Water Conservation*, v. 52, n. 2, p.96-102, 1997.

GASSMAN, P.W., M. REYES, C.H. GREEN, AND J.G. ARNOLD. The Soil and Water Assessment Tool: Historical development, applications, and future directions . *Transactions of the American Society of Agricultural and Biological Engineers (Invited Paper Series)*, v. 50, n. 4, p. 1211-1250, 2007.

GOMES, H. P. Sistemas de irrigação: eficiência energética. Editora da UFPB, João Pessoa, 2013.

HARTMANN, P. A Cobrança pelo Uso da Água como Instrumento Econômico na Política Ambiental. AEBA, Porto Alegre, 2010.

HICKEY, R. Slope Angle and Slope Length Solutions for GIS. *Cartography*, v. 29, n. 1, p. 1-8, 2000.

KINNELL, P.I.A. Event soil loss, runoff and the universal soil loss Equation family of models: A review. *Journal of Hydrology*, v. 385, n. 1, p. 384-397, 2010.

IRVEM, A.; TOPALOGLU, F.; UYGUR, V. Estimating spatial distribution of soil loss over Seyhan River Basin in Turkey. *Journal of Hydrology*, 336, 30-37, 2007.

JIUQIN, Y.; Yin. L.; Longxi, C. Preliminary study on mechanics-based rainfall kinetic energy. *International Soil and Water Conservation Research*, v. 2, n. 3, 2014, p. 67-73.

LAL, R. Soil erosion on Alfisols in Western Nigeria, III. Effects of rainfall characteristics. *Geoderma*, v. 16, p. 389-401, 1976.

LAL, R. Soil Erosion and Land degradation: The Global Risks. *Advances in Soil Science*, v. 11, p. 129-172, 1990.

LAL, R.; ELLIOT, W. Erodibility and erosivity. In: LAL, R., ed. *Soil erosion research methods*. 2 ed. Washington, Soil and Water Conservation Society, p. 141-160, 1994.

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

LIMA, E. R. V. Erosão do solo: fatores condicionantes e modelagem matemática. Revista Cadernos do Logepa – Série Pesquisa, ano 1, n. 1, p. 1-46, 2003.

LIMA, J. E. F. W.; SILVA, E. M.; EID, N. J.; MARTINS, E. S.; KOIDE, S.; REATTO, A. Desenvolvimento e verificação de métodos indiretos para a estimativa da erodibilidade dos solos da bacia experimental do Alto Rio Jardim/DF. Revista Brasileira de Geomorfologia, v. 8, n. 2, p. 23-36, 2007.

LOBO, G. P.; BONILLA, A. A. Sensitivity analysis of kinetic energy-intensity relationships and maximum rainfall intensities on rainfall erosivity using a long-term precipitation dataset. Journal of Hydrology, v. 527, p. 788–793, 2015.

LOMBARDI NETO, F.; PASTANA, F. I. Relação chuva-perdas por erosão. Bragantia, v. 31, n. 19, p. 227-234, 1972.

LOMBARDI NETO, F.; MOLDENHAUER, W.C. Erosividade da chuva: sua distribuição e relação com as perdas de solo em Campinas (SP). Bragantia, v. 51, p. 189-196, 1992.

MACEDO, J. R.; CAPECHE, C. L.; MELO, A S. Recomendação de manejo e conservação de solo e água. Niterói: Programa Rio Rural, 45 p. 2009. (Programa Rio Rural. Manual Técnico, 20).

MATA, C. L.; CARVALHO JÚNIOR, O. A.; CARVALHO, A. P. F.; GOMES, R. A. T.; ÉDER DE SOUZA MARTINS, E. S.; RENATO FONTES GUIMARÃES, R. F. Avaliação multitemporal da susceptibilidade erosiva na Bacia do Rio Urucuia (MG) por meio da equação Universal de Perda de Solos. Revista Brasileira de Geomorfologia, v. 8, n. 2, p. 57-71, 2007.

MEDINA, B. F.; LEITE, J. A. Influência de três sistemas de manejo e duas coberturas vegetais na infiltração de água em um latossolo amarelo em Manaus/AM. Pesq. agropec. bras., Brasília, v. 20, n. 11, p. 1323-1331, 1985.

MIRANDA, J. H.; DUARTE, S. N.; SILVA, K. O.; VAN LIER, Q. J.; VILLA NOVA, N. A. Dimensionamento de terraços de infiltração pelo método do balanço volumétrico. R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental, Campina Grande, v.8, n.2/3, p. 169-174, 2004.

MORGAN, R.P.C.; QUINTON, J.N.; SMITH, R.E.; GOVERS, G.; POESEN, J.; AUERSWALD, K.; CHISCI, G.; TORRI, D.; STYCZEN, M.E. The European Soil Erosion Model (EUROSEM): a dynamic approach for predicting sediment transport from fields and small catchments. Earth Surface Processes and Landforms, v. 23, p. 527–544, 1998.

MORGAN, R. P. C.; DUZANT, J. H. Modified MMF (Morgan–Morgan–Finney) model for evaluating effects of crops and vegetation cover on soil erosion. Earth Surface Processes and Landforms, v. 32, p. 90–106, 2008.

NASCIMENTO, A. T. P.; PEREIRA, B. S.; MEDEIROS, P. H. A. Revisão dos valores do fator de cobertura vegetal da usle para condições brasileiras. XI Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos, ABRH, 2014.

OLIVEIRA, A. M. M.; PINTO, S. A. F.; LOMBARDI NETO, F. Caracterização de indicadores da erosão do solo em bacias hidrográficas com o suporte de geotecnologias e modelo preditivo. *Estudos Geográficos, Rio Claro*, v. 5, n.1, p. 63-86, 2007.

OLIVEIRA, P. T. S.; WENDLAND, E.; NEARING, M. A. Rainfall erosivity in Brazil: A review. *Catena*, v. 100, p. 139–147, 2012.

PAIVA, A.Q.; ARAÚJO, Q.R. Fundamentos do manejo e da conservação dos solos na região produtora de cacau da Bahia. In: VALLE, R.R., ed. *Ciência, tecnologia e manejo do cacauero*. 2ed. Brasília, Ceplac/CEPEC/SEFIS, p.115-134, 2012.

QUAN, B.; ROMKENS, M. J. M.; LI, R.; WANG, F.; CHEN, J. Effect of land use and land cover change on soil erosion and the spatio-temporal variation in Liupan Mountain Region, southern Ningxia, China. *Frontiers of Environmental Science & Engineering in China*. v. 5, n. 4, p. 564-572, 2011.

RENARD, K.G.; FREIMUND, J.R. Using monthly precipitation data to estimate the R-factor in the revised USLE. *Journal of Hydrology*, v. 157, p. 287-306, 1994.

SANTOS, E A.; APPOLONI, C. R.; ANDRELLO, A. C.; RUFINO, R. L.; BISCAIA, E. C. M. Modelos semi-empíricos para o método do  $^{137}\text{Cs}$  na determinação da erosão de um solo LRd. *Revista Ciências Exatas e Naturais*, v. 7, n. 2, 2005.

SANTOS, R. F. *Vulnerabilidade Ambiental: desastres naturais ou fenômenos induzidos?*. Brasília: MMA, 2007. 192 p.

SHERIDAN, G. J. ; SO, H. B.; LOCH, R. J.; WALKER, C. M. Estimation of erosion model erodibility parameters from media properties. *Australian Journal of Soil Research*, v. 38, n. 2, p. 265-284, 2000.

SILVA, M.L.N; CURI, N.; LIMA, J.M. & FERREIRA, M.M. Avaliação de métodos indiretos de determinação da erodibilidade de latossolos brasileiros. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 35, n. 6, p. 1207-1220, 2000.

SILVA, V. C. Cálculo automático do fator topográfico (LS) da EUPS, na Bacia do Rio Paracatu, *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 33, n. 1, p. 29-34, 2003.

SILVA, A. M. Rainfall erosivity map for Brazil. *Catena*, v. 57, p. 251–259, 2004.

STRAHLER, A. N. Quantitative slope analysis. *Bulletin of the Geological Society of America*, vol. 67, p. 671-696, 1966.

VEZINA, K.; FERDINAND, B.; VAN, C. P. Agricultural land-use patterns and soil erosion vulnerability of watershed units in Vietnam's northern highlands. *Landscape Ecology*, v. 21, n. 8, p. 1311-1325, 2006.

WEILL, M. A. M.; SPAROVEK, G. Estudo da erosão na microbacia do ceveiro (Piracicaba, SP). I - estimativa das taxas de perda de solo e estudo de sensibilidade dos fatores do modelo EUPS. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, v. 32, n. 2, p. 801-814, 2008.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. Rainfall energy and its relationships to soil loss. Transactions of the American Geophysical Union, Washington, DC, v. 39, n. 2, p. 285-291, 1958.

WISCHMEIER, W.H. A soil erodibility nomogram for farmland and construction sites, Soil Water Cans Ankeny, v. 26, p. 189-93, 1971.

WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning. Washington, USDA, 1978. 58p. (Agriculture Handbook, 537).

## DISCUSSÃO GERAL

O que nos impulsionou no desenvolvimento deste trabalho foram questionamentos como: Qual a real contribuição dos projetos do Programa Produtor de Água? Quais vantagens e avanços proporcionados por esse Programa? Quanto mais orientação e compensação financeira, menos perdas de solo por ações antrópicas? Se sim, menos quanto? Ou seja, no caso de erosão hídrica, quanto os projetos do Produtor de Água interferem nas perdas de solo no âmbito rural? Não foi nossa intenção responder a todas essas questões. Buscamos contribuir com alguns indicadores (Tabela 1) e principalmente com o desenvolvimento do Modelo IEP (Indicador de Eficácia de Projetos).

TABELA 1 – Indicadores para o Programa Produtor de Água (2001-2014)

<b>Indicador</b>	<b>Resultado</b>
Identificação Temporal e Espacial dos Projetos	São 10 anos de Programa Produtor de Água, 22 projetos espalhados pelo Brasil e em média 2 adesões ao programa por ano, cujo tempo de formalizações dos projetos é em torno de 1 ano. O Estado de Minas Gerais possui a maioria dos projetos seguido do estado de São Paulo, que juntos colaboram para que a região sudeste tenha o maior percentual desses projetos. Ao contrário, a região nordeste é a que possui o menor percentual.
Instituições Envolvidas e Formas de Pagamentos	A maioria dos projetos é proposta e fomentada por prefeituras através dos setores de saneamento. E a ANA somente é idealizadora em parceria com outros órgãos e que ela não fomenta os PSAs propriamente ditos. Cerca de 57% dos projetos possuem PSAs ativos e 95% dos pagamentos são realizados em espécie.
Abrangência do Programa	Dos 22 projetos, em média 23% dos produtores previstos na fase de diagnósticos dos projetos são habilitados para receberem os PSAs e esse valor corresponde a menos de 10% das áreas das bacias hidrográficas contempladas. O que configura esse percentual baixo de adesão é a desconfiança, o desconhecimento e os costumes dos agricultores brasileiros no trato com a terra, que vem de gerações, dificultando convencê-los a participarem do Programa Produtor de Água.
Manutenção e Controle do Programa	A maioria dos projetos (86%) possui ações de Educação Ambiental. No entanto, em alguns projetos, a valoração e a compensação financeira são priorizadas em detrimento às práticas educativas. Em torno de 61% dos projetos o monitoramento é feito pelo controle da qualidade e/ou quantidade da água através de análises químicas e biológicas e medições de vazões. E, apenas três projetos (Extrema/Mg, Pratigi/BA e Rio Claro/MG) utilizam as técnicas de geotecnologias para o controle do uso e cobertura vegetal como forma de monitoramento.
Análise de Agrupamento	A ANA influencia, presta modelo e nome ANA na fase inicial e alavanca as parcerias das instituições locais até que cada projeto do Programa Produtor de Água adquira dinâmica própria e independente. Essa gestão descentralizada faz com que os projetos sejam bem diversificados. Ou seja, a similaridade entre os projetos é baixa porque cada projeto possui estrutura própria, com arranjos locais e uma forma de participação da ANA.
Modelo IEP	Considerando toda a bacia hidrográfica, o Projeto Produtor de Água Manancial Vivo na Bacia do Córrego Guariroba, Campo Grande, MS, até 2013, foi eficaz em 16%. Se consideradas somente as áreas de sua implementação, sua eficácia é maior, em torno de 49%.

Outros diversos trabalhos também tratam do Programa Produtor de Água como Moraes (2012), Manfredini (2014), Zanella (2014), Jardim & Bursztyn (2015). Mas a maioria apenas tipifica os projetos de forma qualitativa e se aprofundam nas questões políticas dos PSAs. Indicando que produtores rurais estão implementando usos e manejos com práticas conservacionistas, estão preservando nascentes e recuperando florestas. E, através de orientações técnicas e compensações financeiras, produtores rurais estão contribuindo para a preservação e conservação dos recursos naturais. Mas, tais contribuições do Programa Produtor de Água ainda não são mensuradas. Ou seja, ainda não sabemos qual a real contribuição dos projetos do Produtor de Água na conservação dos solos e na proteção dos recursos hídricos.

Como o monitoramento dos projetos do Programa Produtor de Água ocorre de forma mais qualitativa em detrimento ao monitoramento quantitativo e parte dos seus gestores desconhecem as técnicas de monitoramento que utilizam as geotecnologias, como imagens de satélite e SIGs, buscamos desenvolver o Modelo IEP que permite a construção de Indicadores baseados no Abatimento da Perda de Solo. E esses Indicadores poderão ser definidos pelos gestores dos projetos do Programa Produtor de Água para avaliações e monitoramentos quantitativos das ações desse Programa. E, também definidos por gestores de outros Projetos e Programas de Conservação de Solo e Água que não envolvam PSAs.

Na prática, o Modelo IEP propõe a utilização apenas de imagens de satélite e SIGs e apoia-se na equação reduzida da USLE utilizando somente os fatores antrópicos (C e P). Assim, ele poderá ser aplicado para o monitoramento constante com a vantagem de exigir menos custos com profissionais especializados e também com levantamentos de campo. Outra vantagem do Modelo IEP é a capacidade de espacialização das eficácias dos projetos em termos de bacia hidrográfica. Constituindo avanço no monitoramento da interrelação água-solo, uma vez que estes recursos são tratados em conjunto. E também porque a espacialização no âmbito de bacias ou microbacias hidrográficas favorece a gestão descentralizada e participativa adotada nos Programas e Projetos de políticas educativas e de compensações financeiras para a conservação de solo e água.

Ao testarmos o Modelo IEP para o Projeto Produtor de Água Manancial Vivo na Bacia Córrego Guarairoba, observamos que, em termos de bacia hidrográfica, o Projeto teve nível de eficácia de 16%. E, considerando apenas as áreas de implementação desse Projeto, a eficácia foi de 49%. Portanto, esses percentuais indicam que o mecanismo de PSAs foi eficiente, pois reduziu em 16% e 49% as perdas de solo. Desta forma, o Modelo IEP é ferramenta que

permite responder grande parte dos questionamentos que cercam os mecanismos de PSAs aplicados na conservação dos recursos hídricos.

Sabemos das limitações do Modelo IEP, pois trata-se de modelo preliminar. Mas em contra-partida, acreditamos no potencial desse Modelo que possui base conceitual simples, porém de grandes aplicabilidades não testadas neste trabalho. Por isso sugerimos estudos que utilizem o Modelo IEP:

- i) incluindo mais imagens anteriores e posteriores para se trabalhar com valores médios e, assim, aumentar a confiabilidade dos resultados;
- ii) comparando as eficácias dos três tipos de políticas brasileiras (punição, educação e compensação financeira) que norteiam os Projetos e Programas de Conservação de Solo e Água;
- iii) incorporando dados econômicos ao Modelo IEP e que façam associações como, para x % de abatimento de perda de solo são necessários y reais ou ainda que definam Indicadores Econômicos do tipo: “Para cada real investido em Programas de PSAs, tantos reais são economizados com prejuízos da erosão hídrica”.

## CONCLUSÃO GERAL

1 – No Brasil vigoram Programas e Projetos de Conservação de Solo e Água que adotam políticas punitivas (princípio usuário-pagador ou poluidor-pagador), políticas de orientação (educação ambiental) através de ações extensionistas em propriedades rurais e políticas de compensação financeira (princípio protetor- receptor). Contudo, os processos erosivos no Brasil ainda causam problemas de ordem social, econômica e ambiental.

2 – Dentre as ações brasileiras de Conservação do Solo e Água, o Programa Produtor de Água inova ao sair da tradição do repasse de recursos para financiar obras ou equipamentos na fase de implantação das ações. Inaugura nova era em que há concessão de estímulo financeiro após verificação dos serviços ambientais efetivamente prestados. Mas, devido à falta de monitoramentos quantitativos para os projetos, não é possível afirmar quantitativamente quais são os efeitos dessa valoração ambiental sobre os recursos naturais solo e água.

3 – Em termos de produtores previstos e área de bacia trabalhada, a abrangência do Programa Produtor de Água ainda é baixa e o empenho político-administrativo dos gestores dos projetos deveria ser revisto, principalmente no que se refere à mobilização junto aos produtores rurais, às ações de Educação Ambiental e ao Monitoramento dos projetos.

4 – Todos os projetos do Produtor de Água objetivam primordialmente a melhoria quali-quantitativa da água, através de ações para minimizar a poluição difusa rural e aumentar a cobertura vegetal. E, todos se baseiam no conceito protetor-receptor. Mas em função da política de descentralização, os projetos possuem baixa similaridade entre si, apresentando estrutura própria e arranjos locais.

5 – Como possui base conceitual na álgebra de mapas, utilizando imagens de satélite e manipulação dos mapas em SIGs, o Modelo IEP (Indicador de Eficácia de Projeto) é dinâmico. Portanto, pode ser recomendado para monitorar Projetos ou Programas de Conservação de Solo e Água indicando, através da comparação entre as perdas de solo proporcionais às ações antrópicas, o nível de eficácia desses Projetos ou Programas. Dessa maneira, o Modelo proposto vem preencher a lacuna pela falta de monitoramento permitindo a construção de Indicadores Ambientais, tanto pelos gestores dos projetos do Programa Produtor de Água, como de outros Projetos ou Programas de Conservação de Solo e Água que não envolvam PSAs.

## REFERÊNCIAS GERAIS

- AVANZI, J. C.; L. A. C.; Ricardo Carvalho, R. Proteção legal do solo e dos recursos hídricos no Brasil. **Revista em Agronegócios e Meio Ambiente**, v. 2, n. 2, p. 115-128, 2009.
- CUNHA, S.B.; GUERRA, A. J. T. **Geomorfologia e meio ambiente**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996. p. 337-340.
- CLAASSEN, R. Have Conservation Compliance Incentives Reduced Soil Erosion? **Amber Waves**. v. 2, n. 3, 2004. Disponível em [www.ers.usda.gov/amberwaves](http://www.ers.usda.gov/amberwaves). Acesso 15/06/2012.
- COOPER, J. C. A joint framework for analysis of agri-environmental payment programs. **American Journal Of Agricultural Economics**, v. 85, n. 4, p. 976-987, 2003.
- FERRARO, P. Global habitat protection: limitations of development interventions and a role for conservation performance payments. **Conservation Biology**, v. 15, p. 990-1000, 2001.
- FSA - FOOD SECURITY ACT OF 1985. United States, Public Law 99 - 198, Title XII: Conservation. 99 Stat. 1504, 23 dec. 1985.
- GODOY, A. M. G. A abordagem neoclássica sobre a cobrança pelo uso da água dá conta da realidade? **Revista Estudos do CEPE**. Santa Cruz do Sul, n. 34, p. 202-230, 2011.
- HARTMANN, P. **A Cobrança pelo Uso da Água como Instrumento Econômico na Política Ambiental**. AEBA, Porto Alegre, 2010.
- JARDIM, M. H.; BURSZTYN, M. A. Pagamento por serviços ambientais na gestão de recursos hídricos: o caso de Extrema (MG). **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 20, n. 3, p. 353-360, 2015
- MANFREDINI, F. N.; GUANDIQUE, M. E. G.; MORAIS, L. C. Análise do Programa “Produtor de Águas”: no contexto dos projetos de Pagamentos por Serviços Ambientais (PSA) implementados no Brasil. **Revista Iberoamericana de Economía Ecológica**, v. 23, p. 47-62, 2014.
- MORAES, J. L. A. Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) como Instrumento de Política de Desenvolvimento Sustentável dos Territórios Rurais: O Projeto Protetor das Águas de Vera Cruz, RS. **Sustentabilidade em Debate**, v. 3, n. 1, p. 43-56, 2012.
- PATTANAYAK, S. K.; WUNDER, S.; FERRARO, P. J. Show Me the Money: Do Payments Supply Environmental Services in Developing Countries? **Review of Environmental Economics and Policy**, v. 4, n. 2, p. 254-274, 2010.
- PIGOU, A. C. **The economics of welfare**. Macmillan and Co., Limited, 1920. Disponível: URL of this E-Book: [http://oll.libertyfund.org/EBooks/Pigou\\_0316.pdf](http://oll.libertyfund.org/EBooks/Pigou_0316.pdf). URL of original HTML file: <http://oll.libertyfund.org/Home3/HTML.php?recordID=0316>. Acesso 04/06/2014.

WUNDER, S. The efficiency of payments for environmental services in tropical conservation. **Conservation Biology**, n. 21, p. 48–58, 2007.

ZANELLA, M. A.; CHRISTIAN SCHLEYER, C.; STIJN SPEELMANS, S. Why do farmers join Payments for Ecosystem Services (PES) schemes? An Assessment of PES water scheme participation in Brazil. **Ecological Economics**, v. 105, p. 166–176, 2014.