

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

THAIANE VANESSA MEIRA NASCENTE DOS SANTOS

**APLICAÇÃO DO INVEST PARA MODELAGEM DE SERVIÇOS AMBIENTAIS
DECORRENTES DA IMPLEMENTAÇÃO DO PROGRAMA PRODUTOR DE ÁGUA**

CURITIBA

2019

THAIANE VANESSA MEIRA NASCENTE DOS SANTOS

**APLICAÇÃO DO INVEST PARA MODELAGEM DE SERVIÇOS AMBIENTAIS
DECORRENTES DA IMPLEMENTAÇÃO DO PROGRAMA PRODUTOR DE ÁGUA**

Artigo apresentado como requisito parcial à conclusão do curso de pós-graduação em Direito Ambiental do Programa de Educação Continuada em Ciências Agrárias, Departamento de Economia e Extensão Rural, Universidade Federal do Paraná.

Orientadora: Prof^a. Ma Michela Cavilha Scupino.

CURITIBA

2019

Aplicação do InVEST para modelagem de serviços ambientais decorrentes da implementação do Programa Produtor de Água

Thaiane Vanessa Meira Nascente dos Santos

RESUMO

O Programa Produtor de Água, da Agência Nacional de Águas, é um relevante instrumento para a promoção do desenvolvimento sustentável e foi pioneiro ao implementar em larga escala a política de Pagamento por Serviços Ambientais no Brasil. Este artigo busca demonstrar a aplicação do modelo *Sediment Delivery Ratio* - SDR do InVEST para a modelagem de serviços ambientais decorrentes da implementação de boas práticas de manejo promovidas pelo Programa, por meio de um estudo de caso na bacia do córrego Rodeador, sub-bacia do rio Descoberto no Distrito Federal, Brasil. A modelagem com o SDR foi realizada analisando dois cenários: o Cenário 1 considerando o uso do solo atual (2017) e o Cenário 2 considerando uma simulação de recomposição florestal de áreas de preservação permanente - APPs e de construção de terraços nas áreas de pastagem, ações elegíveis entre aquelas apoiadas pelo Programa. Os resultados do presente artigo demonstram que, ao estimular e remunerar produtores rurais pela adoção de práticas de conservação de solo e da vegetação, o Programa pode conseguir bons resultados em termos de redução da carga de sedimentos que chega aos cursos d'água, aumentando a qualidade e a quantidade de água em bacias hidrográficas estratégicas para o país.

Palavras-chave: Agência Nacional de Águas 1. Direito Ambiental 2. Pagamento por Serviços Ambientais - PSA 3. Políticas Públicas Ambientais 4. Programa Produtor de Água 5.

ABSTRACT

The Water Producer Program of the National Water Agency is a relevant instrument for the promotion of sustainable development and was a pioneer in the large-scale implementation of the Payment for Environmental Services policy in Brazil. The main objective of this paper is to demonstrate the application of the SDR model to the modeling of environmental services resulting from the implementation of good management practices promoted by the Program, through a case study in the Rodeador river, sub-basin of Descoberto River in the Federal District, Brazil. Modeling with the SDR was performed by analyzing two scenarios: Scenario 1 considering current land use (2017) and Scenario 2 considering a simulation of forest recomposition of permanent preservation areas - APPs and terracing in pasture areas, eligible actions among those supported by the Program. The results of this paper demonstrate that by stimulating and rewarding farmers for adopting soil and vegetation conservation practices, the Program can achieve good results in terms of reducing sediment load that reaches watercourses, increasing quality and quantity of water in strategic river basins for the country.

Keywords: Environmental Law 1. Environmental Policy 2. National Water Agency 3. Payment for Environmental Services - PES 4. Water Producer Program 5.

INTRODUÇÃO

Tendo em vista a importância dos fluxos de serviços gerados pelos ecossistemas para o bem-estar humano e para o suporte da vida no planeta (MILLENIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT, 2005, p. 63; TEEB, 2010, p. 6), torna-se vital a criação de mecanismos jurídicos com a finalidade de proteção ambiental. No entanto, apesar dos esforços empreendidos pelo Poder Público para pôr em prática modelos de desenvolvimento socialmente inclusivos e ambientalmente sustentáveis, estudos têm evidenciado que os instrumentos de comando e controle não têm sido suficientes para travar os processos de declínio da biodiversidade e de degradação ambiental (FOREST TRENDS, 2015, p. 83).

Antagonicamente, há uma crescente utilização de mecanismos complementares, como os mecanismos econômicos de proteção ambiental, onde se parte da premissa de que deve ser atribuído valor econômico ao bem ambiental preservado (SILVA, 2017, p. 488; FOREST TRENDS, 2015, p. 83). Dentre esses mecanismos, se destaca o Pagamento por Serviços Ambientais (PSA), um relevante instrumento acessório para a efetiva implementação dos princípios da prevenção e do desenvolvimento sustentável (SILVA, 2017, p. 833). Apesar das inúmeras definições para PSA, uma delas é amplamente usada e o define como “uma transação voluntária, na qual um serviço ambiental bem definido, ou um uso da terra que possa assegurar este serviço, é adquirido por, pelo menos, um comprador de, no mínimo, um provedor, sob a condição de que ele garanta a provisão do serviço” (WUNDER, 2005, *apud* GUEDES; SEEHUSEN, 2012, p. 16).

Existem diversos arranjos de PSA em curso no Brasil, que variam quanto à metodologia adotada, ao tipo de serviço ambiental, à fonte dos recursos aplicados, entre outros aspectos. Uma das principais iniciativas públicas em escala federal é o Programa Produtor de Água, da Agência Nacional de Águas (ANA), que foi desenvolvido como um meio para a aplicação dos recursos provenientes da cobrança pelo uso da água e está embasado nos princípios do usuário-pagador e do provedor-recebedor (SANTOS; SENA, 2018, p. 83).

O Programa Produtor de Água prevê apoio técnico e financeiro à execução de projetos que visem à redução da erosão e do assoreamento de mananciais no meio rural, propiciando a melhoria da qualidade e a regularização da oferta de água em bacias hidrográficas (ANA, 2012, p. 13; SANTOS; SENA, 2018, p. 86). Considerando

seus objetivos, os pagamentos aos beneficiários são calculados de maneira proporcional ao abatimento da erosão e do aporte de sedimentos aos corpos d'água (ANA, 2012, p. 54).

A atuação do Programa está embasada no fato de que a erosão é um dos fatores que mais afetam negativamente os recursos hídricos (ANA, 2012, p. 11). O Brasil apresenta altas taxas de erosão em decorrência, principalmente, do desmatamento de encostas e matas ciliares, das queimadas, do uso inadequado de implementos agrícolas e da falta de utilização de práticas conservacionistas na agricultura. Além de se constituir no maior desafio em relação à sustentabilidade da agricultura, a perda de solo também afeta sobremaneira a qualidade e o volume das águas devido à sedimentação e ao assoreamento, causando prejuízos econômicos, ambientais e sociais (ANA, 2012, p. 12).

O conhecimento do potencial de erosão de determinada área, bem como a estimativa dos impactos gerados pela adoção de boas práticas de manejo, requer a utilização de modelos específicos para esta finalidade (CHAVES *et al.*, 2004, p. 2; LIMA, 2018, p. 231). Informações fornecidas por modelos e ferramentas que mapeiam e quantificam os benefícios providos pelos ecossistemas, como o serviço de retenção de sedimentos, podem guiar processos de tomada de decisão e dar suporte ao manejo e à proteção ambiental, auxiliando gestores nas tarefas de justificar a importância de determinadas áreas para a provisão de serviços, atrair novas fontes de financiamento, gerir áreas de maneira eficiente e alocar recursos em locais estratégicos (NEUGARTEN *et al.*, 2018, p. 2; BERGHÖFER *et al.*, 2016, p. 9).

Além disso, alguns modelos também permitem o estabelecimento da linha de base, que é a situação da área antes da implementação de práticas conservacionistas, o que pode ser útil para o monitoramento e a quantificação das mudanças na provisão de determinados serviços em função do tempo e de opções de uso da terra (GUEDES; SEEHUSEN, 2012, p. 144; NEUGARTEN *et al.*, 2018, p. 8).

No caso do Programa Produtor de Água, o método utilizado para o cálculo do percentual de abatimento da erosão foi proposto por Chaves *et al.* (2004, p. 2) e consiste numa simplificação do modelo matemático *USLE* (*Universal Soil Loss Equation*) ou Equação Universal de Perda de Solo. Pelo método proposto, o abatimento da erosão é calculado de maneira indireta, em função dos fatores de uso e manejo do solo e de práticas conservacionistas, verificados antes e depois das ações implementadas.

No entanto, existem outros modelos e ferramentas capazes de fazer esta estimativa. Uma dessas ferramentas é o InVEST (*Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs*), um conjunto de modelos desenvolvido para mapear, quantificar e valorar serviços ecossistêmicos (SHARP *et al.*, 2018, p. 8; DAILY *et al.*, 2009, p. 1), sendo, atualmente, o software mais utilizado para espacialização de serviços ecossistêmicos (OCHOA; URBINA-CARDONA, 2017, p. 162).

Segundo Daily *et al.* (2009, p. 2), o InVEST foi projetado para ser usado como parte de um processo de tomada de decisão, onde cenários alternativos de uso são definidos e utilizados como dados de entrada. Com base nesses dados, os serviços ecossistêmicos são mapeados e quantificados, de modo a possibilitar o entendimento de como a alteração no uso do solo pode influenciar na provisão dos serviços.

Por conta de sua funcionalidade de comparar cenários, o InVEST se mostra útil para desenhar esquemas de Pagamentos por Serviços Ambientais (NEUGARTEN *et al.*, 2018, p. 38) e tem sido utilizado por diversos órgãos e instituições nas tomadas de decisão relativas à gestão de recursos naturais, inclusive para mensurar os benefícios decorrentes da implementação do Programa Produtor de Água ou ainda para direcionar a atuação do Programa, indicando áreas prioritárias de conservação ou recuperação ambiental (FOREST TRENDS, 2015, p. 84; MANSUR *et al.*, 2013, p. 22; GUIMARAES, 2013, p. 1).

Nesse contexto, o objetivo geral deste artigo é demonstrar a aplicação do InVEST para a modelagem de serviços ambientais decorrentes da implementação de boas práticas de manejo promovidas pelo Programa Produtor de Água, por meio de um estudo de caso na bacia do córrego Rodeador, sub-bacia do rio Descoberto no Distrito Federal. Como objetivos específicos busca-se o estabelecimento da linha de base da região, em termos de erosão, aporte e retenção de sedimentos, e a quantificação dos benefícios a serem auferidos em função da implementação de boas práticas de manejo.

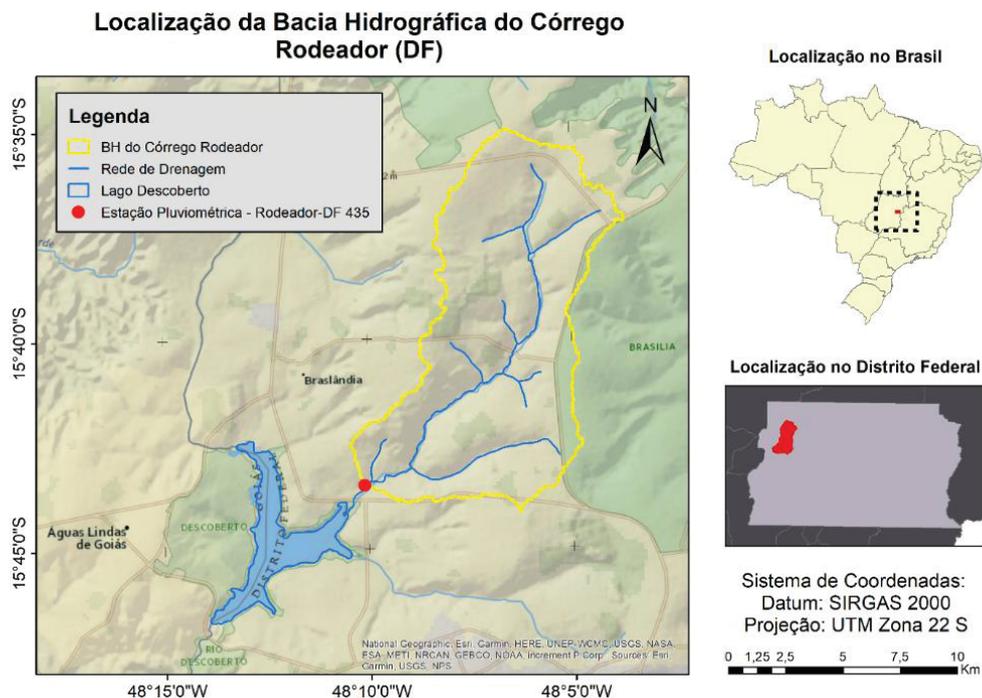
ESTUDO DE CASO

1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A bacia hidrográfica do córrego Rodeador (Figura 1), sub-bacia do rio Descoberto, é composta pelos córregos Jatobá, Cabeceira Comprida, Curral, córrego

do Meio, Jatobazinho, Cristal e pelo Córrego Rodeador (UNESCO, 2018a, p. 63) e apresenta uma área de aproximadamente 109,75 Km² (10.975 hectares). O represamento do rio Descoberto e dos córregos Rodeador, Rocinha, Ribeirão das Pedras, Coqueiro, Olaria e Chapadinha dá origem ao Lago Descoberto (UNESCO, 2018b, p. 4).

FIGURA 1. LOCALIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO RODEADOR - DISTRITO FEDERAL (DF)



FONTE: A autora (2019).

O clima da Bacia, de acordo com a classificação climática Köppen – Gieger, é considerado predominantemente Aw - tropical com inverno seco. A região possui duas estações bem definidas, com inverno bastante seco e período chuvoso concentrado no verão, com precipitação média anual de 1.427,9 mm (UNESCO, 2017, p. 86).

A bacia do córrego Rodeador apresenta baixa densidade demográfica, caracterizando-se por uma bacia em um distrito rural (UNESCO, 2018b, p. 29). Ela está completamente inserida no Bioma Cerrado, e suas formações vegetais predominantes são Cerrado Típico, Cerradão, Mata de Galeria, Campo Limpo e Campo de Murundus (FERRIGO, 2014, p. 93). Além disso, a área da bacia é praticamente toda coberta por unidades de conservação, abrangendo o Parque Nacional de Brasília (PARNA), as Áreas de Proteção Ambiental (APAs) da Bacia do

Rio Descoberto e do Planalto Central e a Floresta Nacional de Brasília (FLONA) (ICMBio, 2019).

Dentre os fatores que influenciaram a escolha da área, destaca-se a celebração, em março de 2019, do Acordo de Cooperação Técnica nº 007/2019/ANA (BRASIL, 2019) entre a Agência Nacional de Águas, o Distrito Federal e o Estado de Goiás, além de outros entes públicos e privados, para a implementação do Programa Produtor de Água na bacia do rio Descoberto. A bacia abastece aproximadamente 65% da população do Distrito Federal, mas passou recentemente por uma inédita escassez hídrica, o que demandou a tomada de ações emergenciais e a intensificação de políticas públicas visando à melhor gestão dos recursos hídricos (CGU, 2019, p. 14). Além disso, ressalta-se que dentre as sub-bacias que contribuem para o Lago Descoberto, a do Rodeador é a mais afetada por problemas de conflitos pelo uso da água, uma vez que possui canais de irrigação e captação superficial de irrigação para manutenção das áreas cultiváveis (UNESCO, 2018b, p. 29), tornando-se, por conta disso, forte candidata para o recebimento prioritário das ações elencadas no Programa Produtor de Água no Descoberto.

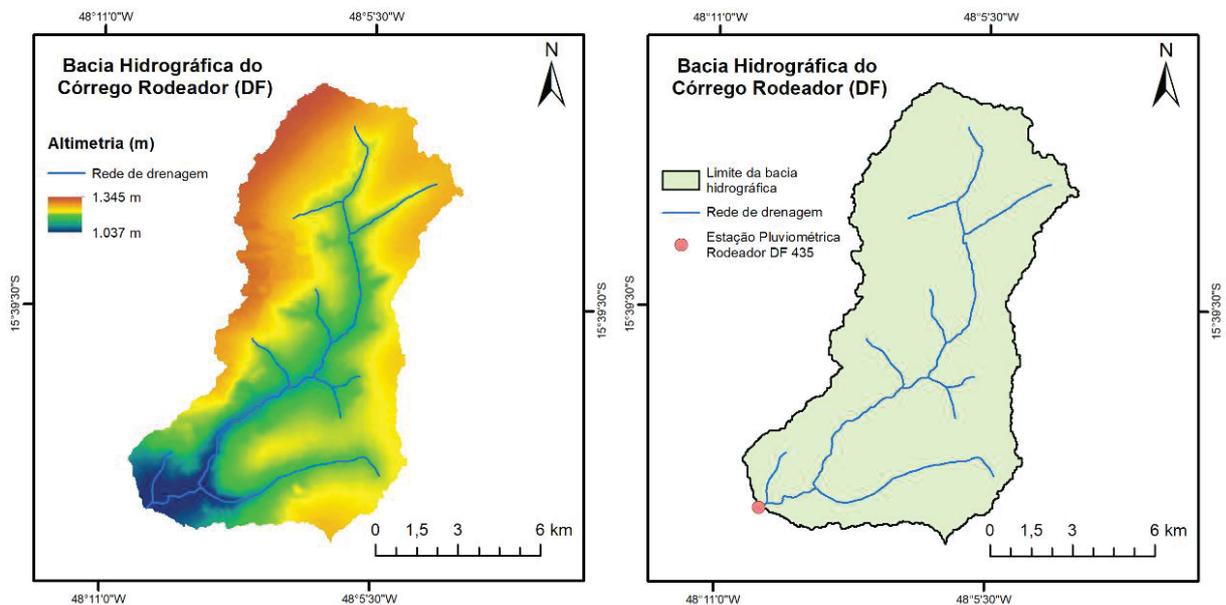
2. MODELO SDR E DADOS REQUERIDOS

Para mapear os processos de erosão, retenção e aporte de sedimentos na bacia do córrego Rodeador em termos da situação atual (linha de base) e estimar a variação nesses fatores, a partir da implementação de práticas conservacionistas promovidas pelo Programa Produtor de Água, foi utilizado o modelo de erosão e aporte de sedimentos do InVEST (*Sediment Delivery Ratio – SDR Model*). O SDR é baseado na metodologia da USLE, que é amplamente difundida e aplicada em estudos de processos erosivos, perda de solo agrícola e sedimentação de corpos de água (MANSUR *et al.*, 2013, p. 22).

Como dados de entrada, são requeridos: limite da bacia hidrográfica, modelo digital de elevação, mapa de erodibilidade do solo, mapa de erosividade da chuva, rede de drenagem, mapa de uso e cobertura do solo, além de coeficientes relacionados à rede de drenagem, ao uso do solo e às práticas conservacionistas. Para criação dos dados de entrada e visualização das saídas do modelo, foi utilizado o software ArcGIS Desktop, versão 10.5. Todos os arquivos matriciais foram trabalhados na resolução espacial de 30 metros.

O modelo digital de elevação (Figura 2), que é uma representação do relevo, foi obtido a partir do projeto Topodata, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – Inpe (TOPODATA, 2009). O limite da bacia hidrográfica (Figura 2) foi gerado a partir do modelo digital de elevação por meio da extensão ArcHydro do ArcGIS, utilizando como exutório a estação pluviométrica ‘Rodeador-DF 435’ (ANA, 2019).

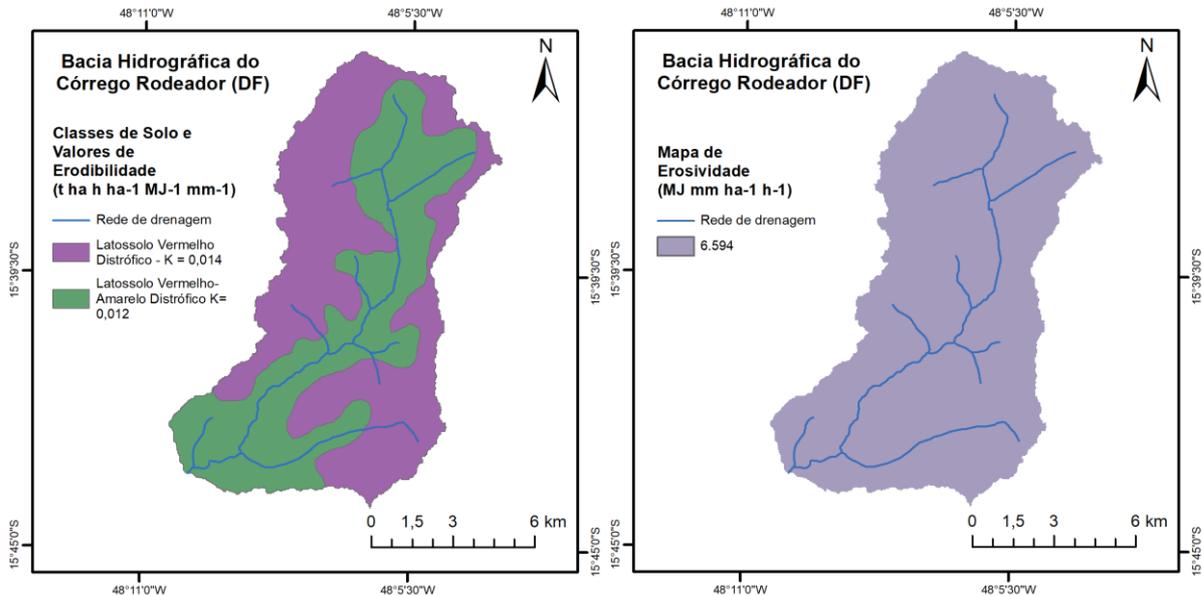
FIGURA 2. MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO E LIMITE DA BACIA HIDROGRÁFICA DO CÔRREGO RODEADOR (DF)



FONTE: A autora (2019), adaptado de Topodata (2009).

Já o mapa de erodibilidade do solo (Figura 3) foi construído a partir do mapa de solos para o estado do Goiás, disponível no site do Sistema Estadual de Geoinformação – SIEG (EMATER/GO, 2017), correlacionado com os valores de erodibilidade de cada classe de solo, obtidos em Chaves e Piau (2008, p. 5). Para a geração do mapa de erosividade da chuva (Figura 3), foram utilizados os dados de precipitação mensal média estimados para o córrego Rodeador (UNESCO, 2017, p. 86). A partir dos dados de precipitação, a erosividade foi calculada pela fórmula proposta por Val *et al.* (1986 apud CHAVES, 2010, p. 4).

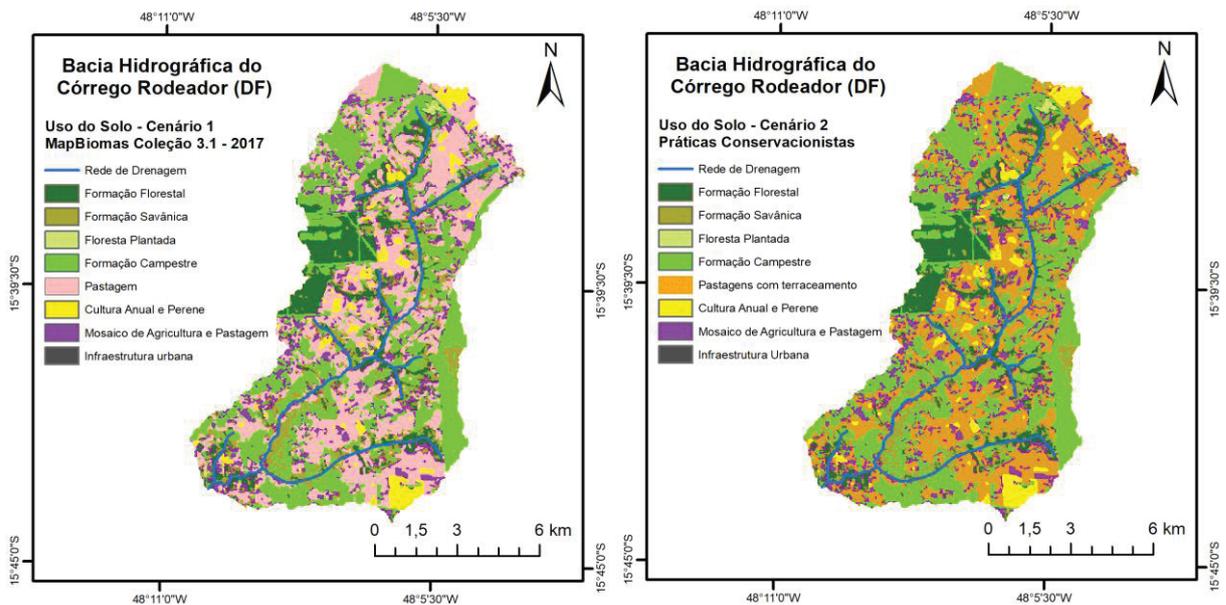
FIGURA 3. MAPAS DE ERODIBILIDADE E EROSIVIDADE PARA A BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO RODEADOR (DF)



FONTE: A autora (2019), adaptado de EMATER/GO (2017); CHAVES; PIAU (2008, p. 5); UNESCO (2017, p.86).

O limite de acumulação do fluxo foi definido empiricamente como 1.500 pixels, pois foi o valor em que a drenagem gerada a partir do modelo digital de elevação melhor se adequou à drenagem obtida para a região (SIC, 2014). Os fatores C e P, que são associados às opções de uso e manejo do solo e às práticas conservacionistas, foram obtidos a partir do estudo de Chaves (2012, p. 29). Para os parâmetros K_b , IC_0 e SDR_{max} foram adotados os valores padrão (*default*) do modelo (SHARP *et al.*, 2018, p. 142).

A modelagem com o SDR foi realizada analisando dois cenários (Figura 4), o que demandou a criação de dois mapas de uso do solo. O primeiro corresponde ao uso do solo atual e para sua criação foram utilizados os dados gerados pelo projeto MapBiomias, Coleção 3.1, para o ano de 2017 (MAPBIOMAS, 2019). Já o segundo cenário é uma simulação de recomposição florestal de Áreas de Preservação Permanente – APPs e de construção de terraços nas áreas de pastagem, ações elegíveis entre aquelas apoiadas pelo Programa Produtor de Água (ANA, 2012, p. 15; SANTOS; SENA, 2018, p. 86).

Figura 4. CENÁRIOS DE ANÁLISE COM O *SEDIMENT DELIVERY RATIO MODEL*

Fonte: a autora (2019), adaptado de MapBiomias (2019).

A recomposição florestal nas áreas de preservação permanente é um fator positivo no controle da erosão e do aporte de sedimentos aos cursos de água, pois essas áreas, se corretamente manejadas, podem funcionar como barreiras ao transporte de sedimentos (SANTOS, 2016, p. 22). Chaves *et al.* (1997, p. 3) destacam a estreita relação entre a largura da faixa coberta com vegetação nativa junto à rede de drenagem e a retenção de sedimentos, evidenciando que quanto maior a quantidade de sedimentos gerada numa vertente, menor a eficiência de retenção de sedimentos de uma determinada largura de mata ripária. Observa-se, portanto, que somente a recomposição florestal das APPs pode não ser suficiente para a obtenção de benefícios consideráveis em termos de redução da sedimentação em corpos de água, visto que dependendo do uso que se dá à terra à montante dessas matas, sua eficiência de retenção pode ser alterada (CHAVES *et al.*, 1997, p. 3).

Por conta disso, optou-se por incluir na simulação a implementação de terraços nas áreas de pastagem. O terraceamento é uma prática conservacionista de caráter mecânico que se baseia na construção de estruturas físicas no sentido transversal ao terreno, visando ao controle do escoamento superficial das águas da chuva (ZONTA *et al.*, 2012, p. 12). Chaves (2010, p. 8), num estudo sobre as incertezas na predição da erosão com a USLE, observou que a implementação de terraços proporcionou uma redução de 73% na perda de solo em relação à condição original da gleba, além de diminuir a probabilidade de que a perda de solo seja superior à tolerância à erosão.

Nesse sentido, para a geração do cenário 2 primeiramente foram delimitadas as áreas de preservação permanente - APPs de curso d'água (30 metros) e as APPS de nascentes (50 metros), conforme o estabelecido no Código Florestal (BRASIL, 2012). Essas áreas foram comparadas com o mapa do cenário 1, procedimento que permitiu a identificação de APPs com uso conflitante com aquele previsto em lei. Em seguida, foi realizada uma simulação de recomposição florestal nas APPs, por meio da alteração de parâmetros relacionados ao tipo de uso do solo. Procedimento semelhante foi realizado para o terraceamento, implementado nas pastagens identificadas no cenário 1.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A tabela 1, abaixo, apresenta os valores de erosão, aporte e retenção de sedimentos para os cenários analisados.

TABELA 1. VALORES DE EROSIÃO, APORTE E RETENÇÃO DE SEDIMENTOS VERIFICADOS POR MEIO DO MODELO SDR - INVEST PARA A BACIA DO CÓRREGO RODEADOR/DF (ÁREA TOTAL DA BACIA: 10.975,68 HECTARES)

Área de estudo: Bacia do Córrego Rodeador - Distrito Federal						
Cenário	Erosão Total na Bacia (ton/ano)	Erosão Média na Bacia (ton/ha*ano)	Aporte de Sedimentos Total (ton/ano)	Aporte de Sedimentos Médio (ton/ha*ano)	Retenção de Sedimentos Total (ton/ano)	Retenção de Sedimentos Média (ton/ha*ano)
Cenário 1 - uso da terra atual (linha de base)	177.961,35	16,21	6.084,09	0,55	5.377.630,63	489,96
Cenário 2 - uso da terra após práticas conservacionistas	126.991,52	11,57	3.711,78	0,34	5.403.989,41	492,36
Varição Absoluta	50.969,83	4,64	2.372,31	0,22	26.358,78	2,40
Varição Percentual	-29%	-29%	-39%	-39%	0,5%	0,5%

FONTE: a autora (2019).

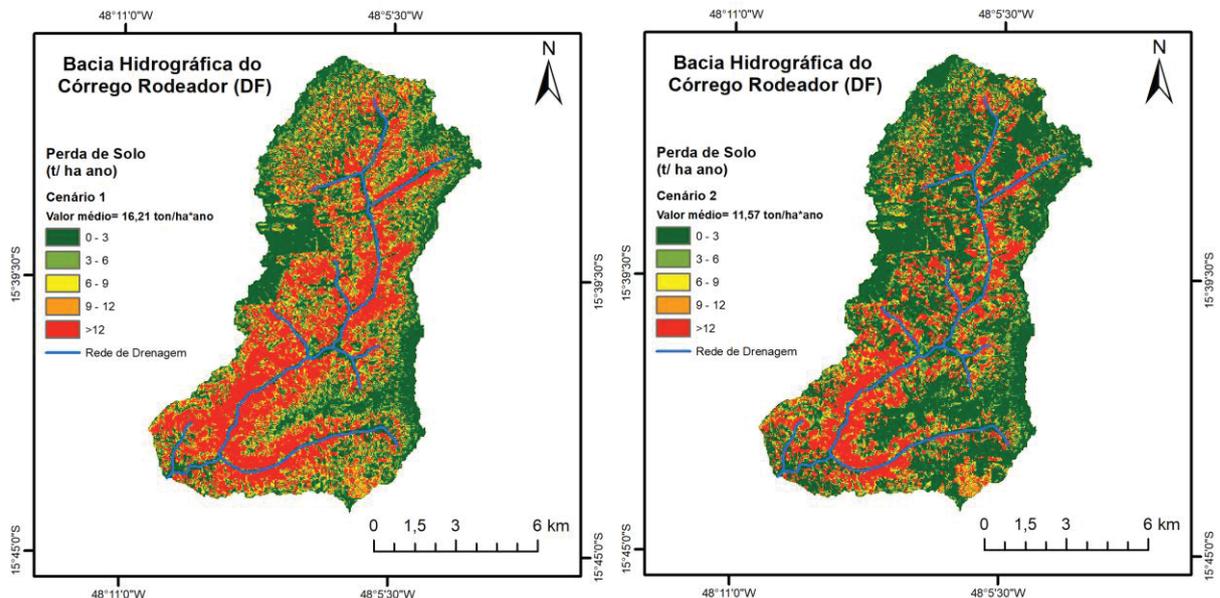
Considerando o Cenário 1, a modelagem de erosão e aporte de sedimentos verificou que a bacia hidrográfica do córrego Rodeador apresenta um valor médio de erosão de 16,21 ton/ha*ano. Essa taxa de erosão é considerada alta, pois ultrapassa

o valor de tolerância à erosão dos solos da região, estimado em 11,42 ton/ha*ano por Mannigel *et al.* (2002, p. 4). Em relação ao aporte de sedimentos, o modelo InVEST gerou uma estimativa de aporte de sedimentos de 0,55 ton/ha*ano ou 6.084,09 toneladas por ano, considerando toda a bacia. Por outro lado, a retenção de sedimentos foi estimada em 489,96 ton/ha*ano.

Esses valores indicam um acelerado processo de erosão na bacia, o que afeta fortemente a qualidade do solo e prejudica a qualidade da água à jusante. Enquanto níveis de tolerância de perda de solo da ordem de 4,5 ton/ha*ano a 11,5 ton/ha*ano foram estabelecidos para os Estados Unidos da América (EUA), estudos indicam que no Brasil os valores de tolerância de perda também se situam próximos a essa faixa (ZONTA *et al.*, 2012, p. 3).

No cenário 2, considerando a aplicação das intervenções propostas, a taxa de erosão média anual passou de 16,21 ton/ha*ano para 11,57 ton/ha*ano, configurando uma redução de 29% na perda de solo observada na bacia (Figura 5). Já o aporte de sedimentos foi para 0,34 ton/ha*ano, redução de 39% em relação ao cenário 1. Em relação à retenção de sedimentos, foi observado um aumento de 0,5% na taxa de retenção, o que impediria a exportação de algo em torno de 26 toneladas de sedimentos aos cursos de água, por ano.

FIGURA 5. EROÇÃO MÉDIA ANUAL, EM TONELADAS POR HECTARE, CALCULADA PARA O CENÁRIO ATUAL E PARA O CENÁRIO DE INTERVENÇÕES CONSERVACIONISTAS



FONTE: a autora (2019).

Segundo Mansur *et al.* (2013, p. 26), a redução mais significativa no aporte de sedimentos do que na taxa de erosão pode ser explicada pelo fato de que, embora a redução da erosão ocorra somente nas áreas onde foram implementadas as ações conservacionistas, estas áreas apresentam um incremento em sua capacidade de reter sedimentos provenientes de partes mais altas. Para o autor, essa verificação reforça a premissa de que a restauração ecológica pode incrementar o efeito barreira gerado pelas matas ciliares, fato também verificado por Chaves *et al.* (1997, p. 3).

Cumprе ressaltar que um dos fatores limitantes do modelo é que ele apenas prevê o processo de erosão laminar, logo, outras fontes erosivas como voçorocas e erosões em sulco necessitam ser estudadas e identificadas a partir de abordagens diversas (MONTALVÃO, 2016, p. 58). Além disso, as estimativas são anuais, não permitindo a análise da variação sazonal e de eventos extremos (TALLIS, 2002, *apud* THOMPSON; FIDALGO, 2013, p. 6). Outro ponto relevante é que, apesar de ser robusta e largamente utilizada em todo o mundo, a Equação Universal de Perdas de Solo – USLE, na qual o modelo SDR se baseia, apresenta uma eficiência preditiva de aproximadamente 80%, sendo uma variável aleatória, fortemente influenciada por cada um de seus fatores (CHAVES, 2010, p.2).

Finalmente, destaca-se que, como ressaltado por Mansur *et al.* (2013, p. 26), os efeitos das intervenções se relevam a médio e longo prazo, já que o modelo

considera um cenário onde todas as intervenções já foram estabelecidas. Além disso, como os parâmetros K_b , IC_0 e SDR_{max} não foram calibrados especificamente para a bacia, os resultados são mais confiáveis em suas dimensões relativas, e não absolutas (SHARP *et al.*, 2018, p. 140).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Programa Produtor de Água é um relevante instrumento para a promoção do desenvolvimento sustentável e foi pioneiro ao implementar em larga escala a política de Pagamento por Serviços Ambientais no Brasil.

Os resultados do presente artigo demonstram que, ao estimular e remunerar produtores rurais pela adoção de práticas de conservação de solo e da vegetação, o Programa pode conseguir bons resultados em termos de redução da carga de sedimentos que chega aos cursos d'água, aumentando a qualidade e a quantidade de água em bacias hidrográficas estratégicas para o país.

Nesse sentido, a introdução de modelos e ferramentas, como o InVEST, para o cálculo dos benefícios ambientais obtidos a partir da adoção de práticas conservacionistas pode potencializar as ações tomadas, revestindo de objetividade e transparência o processo de certificação e remuneração dos produtores rurais.

REFERÊNCIAS

- ANA. (2018a) **Anexo B: Diretrizes para o Programa Produtor de Água: Detalhamento de instruções, diretrizes e procedimentos para a prestação de serviços pela Caixa Econômica Federal - CAIXA, na condição de mandatária da União, na operacionalização de programas e ações da Agência Nacional de Águas – ANA, mediante a celebração de contratos de repasse, para implementação de projetos de revitalização de bacias hidrográficas.** Brasília: Agência Nacional de Águas, 2018. 38 p. Disponível em: <<https://www.ana.gov.br/todos-os-documentos-do-portal/documentos-sip/produtor-de-agua/documentos-relacionados/anexo-b-diretrizes-projetos-produtores-agua-contrato-ana-x-caixa/view>>. Acesso em: 23 jul. 2019.
- ANA. (2018b) **Nota Informativa** – Programa Produtor de Água / Agência Nacional de Águas. Brasília: agosto, 2018. 17 p.
- ANA. **Manual Operativo do Programa Produtor de Água** / Agência Nacional de Águas. 2ª Edição. Brasília: ANA, 2012. 74 p.

ANA. **Rede Hidrometeorológica Nacional**. Escala 1:1.000.000. Atualizada em junho de 2019. Agência Nacional de Águas. Disponível em: <<https://metadados.ana.gov.br/geonetwork/srv/pt/main.home>>. Acesso em: 05 ago. 2019.

BERGHÖFER, A. et al. **Increasing the Policy Impact of Ecosystem Service Assessments and Valuations: Insights from Practice**. Alemanha: Helmholtz-zentrum Für Umweltforschung (ufz) Leipzig GmbH And Deutsche Gesellschaft Für Internationale Zusammenarbeit (giz) GmbH, Leipzig, Germany, 2016. 40 p. Disponível em: <http://www.cifor.org/publications/pdf_files/Reports/RWunder1601.pdf>. Acesso em: 06 ago. 2019.

BRASIL. **Extrato de Acordo de Cooperação Técnica nº 007/2019/ANA, de 22 de março de 2019**. Objeto: Integração de esforços entre os Partícipes para o desenvolvimento e aplicação de instrumentos e metodologias visando à implementação do Programa Produtor de Água no Descoberto, na Bacia Hidrográfica do Alto Rio Descoberto. Diário Oficial da União, 18 abr. 2019. Edição 75, Seção 3. Disponível em: <<http://www.in.gov.br/web/dou/-/extrato-de-acordo-de-cooperacao-tecnica-72134214?inheritRedirect=true>>. Acesso em: 12 set. 2019.

BRASIL. **Lei nº 12.651, de 12 de maio de 2012**. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Brasília, maio de 2012.

CGU. **Relatório de Avaliação: Gestão Hídrica - Abordagem Investimentos; Consolidação dos Resultados da 1ª Etapa - Melhoria nos Sistemas de Abastecimento de Água nas Regiões Metropolitanas**. Brasília: Controladoria Geral da União, 2019. 39 p.

CHAVES, H. M. L. **Avaliação Econômica e Socioambiental do Retorno do Investimento da Implantação do Projeto Produtor de Água na Bacia do Ribeirão Pipiripau (DF/GO)**. The Nature Conservancy do Brasil – TNC, Contrato No. AFCS-BR 00293-2012. Brasília, outubro de 2012. 145 p.

CHAVES, H. M. L. et al. **Quantificação dos Benefícios Ambientais e Compensações Financeiras do “Programa do Produtor de Água” (ANA): I. Teoria**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos - RBRH, Brasília, v. 9, n. 3, p.05-14, set. 2004.

CHAVES, H. M. L. **Incertezas na predição da erosão com a USLE: impactos e mitigação**. Rev. Bras. Ciênc. Solo, Viçosa, v. 34, n. 6, p. 2021-2029, Dez. 2010. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832010000600026&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 12 ago. 2019.

CHAVES, H. M. L.; PIAU, L. P. **Efeito da variabilidade da precipitação pluvial e do uso e manejo do solo sobre o escoamento superficial e o aporte de sedimento de uma bacia hidrográfica do Distrito Federal**. Rev. Bras. Ciênc. Solo,

Viçosa, v. 32, n. 1, p. 333-343, Fev. 2008. Disponível em:
<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832008000100031&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 30 jul. 2019.

CHAVES, H. M. L.; ROSA, J. W. C.; SANTOS, M. V. **Evaluation of the sediment trapping efficiency of gallery forests through sedimentation modeling.** Proceedings of the International Symposium on Assessment and Monitoring of Forests in Tropical Dry Regions with Special Reference to Gallery Forests. University of Brasilia. 1997.

DAILY, G. C. et al. **Ecosystem services in decision making: time to deliver.** Frontiers In Ecology And The Environment, [s.l.], v. 7, n. 1, p.21-28, fev. 2009. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1890/080025>. Disponível em:
<<https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1890/080025>>. Acesso em: 14 jun. 2019.

EMATER/GO. **Mapa de Solos do Estado de Goiás** – Refinamento do mapeamento de solos para escala de 1:250.000. Agência Goiana de Assistência Técnica, Extensão Rural e Pesquisa Agropecuária. Setembro, 2017. Disponível em: <<http://www.sieg.go.gov.br/siegdwnloads/>>. Acesso em: 30 jul. 2019.

FERRIGO, S. **Análise de consistência dos parâmetros do modelo SWAT obtidos por calibração automática** – Estudo de caso da bacia do lago Descoberto – DF. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Publicação PTARH.DM-159/14, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2014, 164 p.

FIDALGO, E. C. C.; THOMPSON, D. **Estimativa da perda de solos por meio da equação universal de perdas de solos (USLE) com uso do invest para a bacia hidrográfica do Rio Guapi-Macacu.** SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 20., 2013. Bento Gonçalves, RS. Anais. Bento Gonçalves, RS: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2013.

FOREST TRENDS. **Incentivos econômicos para serviços ecossistêmicos no Brasil.** Rio de Janeiro: Forest Trends, 2015. 118 p. Disponível em:
<http://www.forest-trends.org/publication_details.php?publicationID=4940>. Acesso em: 22 jul. 2019.

GUEDES, F. B; SEEHUSEN, S. E. (Org.). **Pagamentos por Serviços Ambientais na Mata Atlântica: Lições aprendidas e desafios.** 2. ed. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2012. 272 p. (Biodiversidade 42).

GUIMARÃES, J., 2013. **Application of Invest's Sedimentation Retention model for restoration benefits forecast at Cantareira Water Supply System.** InVEST Datasets. NatCap Publications. Disponível em:
<http://data.naturalcapitalproject.org/natcap/NatCap%20Publications/Invest_Sediment_Retention_Cantareira.pdf>. Acesso em: 07 ago. 2019.

ICMBio. **Limites das Unidades de Conservação Federais.** ICMBio – Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. Julho de 2019. Disponível em:
<<<http://www.icmbio.gov.br/portal/geoprocessamentos/51-menu-servicos/4004->

downloads-mapa-tematico-e-dados-geoestatisticos-das-uc-s>. Acesso em: 27 agosto de 2019.

LIMA, J. E. F. W. **A experiência da Embrapa na implantação do Projeto Produtor de Água na bacia do Ribeirão Piriapau**. In: LIMA, J. E. F. W; RAMOS, A. E. (Ed.). *A experiência do Projeto Produtor de Água na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Piriapau*. Brasília: Adasa, Ana, Emater, WWF, 2018. P. 221- 239. Disponível em: <<http://www.produtordeaguapiriapau.df.gov.br/wp-content/uploads/2018/03/livro.pdf>>. Acesso em: 23 jul. 2019.

MANNIGEL, A. R., E CARVALHO, M. DE P., MORETI, D.; MEDEIROS, L. DA R. **Fator erodibilidade e tolerância de perda dos solos do Estado de São Paulo**. *Acta Scientiarum. Agronomy*, v. 24, n. 5, 1335-1340, 2002.

MANSUR, H; GUIMARÃES, J; KLEZ, C. (Coord.). **Estudo de Viabilidade de Implantação do Programa Pro-PSA na Região Hidrográfica do Guandu – Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro: Tnc, 2013. 68 p. Disponível em: <http://www.inea.rj.gov.br/cs/groups/public/@inter_digat_geget/documents/document/zwew/mtew/~edisp/inea0110840.pdf>. Acesso em: 07 ago. 2019.

MAPBIOMAS. **Projeto MapBiomass – Coleção 3.1 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil**. Abril, 2019. Disponível em: <https://mapbiomas.org/downloads_colecoes>. Acesso em: 05 ago. 2019.

MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT. **Ecosystems and Human Well-being: Synthesis**. Island Press, Washington, DC., 2005. 155 p.

MONTALVÃO, M. T. L. **Modelagem dos serviços hidroambientais resultantes de práticas conservacionistas na Bacia do Córrego Taquara - DF**. 2016. vii, 58 f., il. Monografia (Bacharelado em Engenharia Florestal) - Universidade de Brasília, Brasília, 2016.

NEUGARTEN, R. A. et al. **Tools for measuring, modelling, and valuing ecosystem services: Guidance for Key Biodiversity Areas, natural World Heritage sites, and protected areas**. Gland, Switzerland: IUCN, 2018. 82 p. (Best Practice Protected Area Guidelines Series No. 28). Disponível em: <<https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/PAG-028-En.pdf>>. Acesso em: 06 ago. 2019.

OCHOA, V.; URBINA-CARDONA, N. **Tools for spatially modeling ecosystem services: Publication trends, conceptual reflections and future challenges**. 2017. *Ecosystem Services*, 26, 155–169. doi:10.1016/j.ecoser.2017.06.011

SANTOS, D. G.; SENA, R. F. M. **O Programa Produtor de Água: histórico e implementação**. In: LIMA, J. E. F. W; RAMOS, A. E. (Ed.). *A experiência do Projeto Produtor de Água na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Piriapau*. Brasília: Adasa, Ana, Emater, Wwf, 2018. P. 81- 93. Disponível em: <<http://www.produtordeaguapiriapau.df.gov.br/wp-content/uploads/2018/03/livro.pdf>>. Acesso em: 23 jul. 2019.

SANTOS, T. V. M. N. **Mapeamento de áreas prioritárias para ações de conservação e recuperação ambiental na Bacia do Rio Descoberto**. 2016. 78 f.,

il. Monografia (Bacharelado em Engenharia Florestal) - Universidade de Brasília, Brasília, 2016.

SHARP, R. et al. (Ed.). **InVEST User's Guide**: Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs. The Natural Capital Project, Stanford University, University Of Minnesota, The Nature Conservancy, And World Wildlife Fund., 2018. 309 p. (Version 3.7.0.post17+ug.hbeb7e1912b14). Disponível em: <<http://releases.naturalcapitalproject.org/invest-userguide/latest/#>>. Acesso em: 08 ago. 2019.

SIC. **Mapa da Hidrografia do Estado de Goiás**. Macrozoneamento Agroecológico e Econômico do Estado de Goiás. SIC – Superintendência de Geologia e Mineração. Junho de 2014. Escala: 1:100.000. Disponível em: <<http://www.sieg.go.gov.br/siegdownloads/>>. Acesso em: 30 jul. 2019.

SILVA, R. F. T. **Manual de direito ambiental**. 7. ed. rev., atual. e ampl. – Salvador: JusPODIVM, 2017.

TALLIS, H.; RICKETTS, T., GUERRY, A.; WOOD, S.; SHARP, R. **InVEST 2.3.0 user's guide**: integrated valuation of environmental services and tradeoffs. 2012. In: FIDALGO, E. C. C.; THOMPSON, D. Estimativa da perda de solos por meio da equação universal de perdas de solos (USLE) com uso do invest para a bacia hidrográfica do Rio Guapi-Macacu. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 20., 2013. Bento Gonçalves, RS. Anais. Bento Gonçalves, RS: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2013.

TEEB. **The Economics of Ecosystems and Biodiversity Ecological and Economic Foundations**. Edited by Pushpam Kumar. Earthscan, London and Washington. 2010. 422 p.

TOPODATA. **Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil**. Projeto Topodata – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – Inpe, 2009. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/topodata/acesso.php>>. Acesso em: 19 jul. 2019.

UNESCO. (2018a) **Produto 2 – Estudo Técnico sobre as Disponibilidades do Recurso Hídrico na Bacia do Alto Descoberto**. Edital 05/2017, Projeto de Cooperação Técnica Internacional, Projeto UNESCO 914BRZ2016, Modelagem Hidrológica da Bacia do Alto Descoberto. Janeiro, 2018. 199 p. Disponível em: <http://www.adasa.df.gov.br/images/storage/area_de_atuacao/recursos_hidricos/regulacao/resolucoes_estudos/Bacia_Alto_Descoberto/UNESCO_ED0517_1.pdf>. Acesso em: 19 jul. 2019

UNESCO. (2018b) **Produto 3 – Estudo Técnico Sobre Demanda do Recurso Hídrico na Bacia do Alto Descoberto**. Edital 05/2017, Projeto de Cooperação Técnica Internacional, Projeto UNESCO 914BRZ2016, Modelagem Hidrológica da Bacia do Alto Descoberto. Fevereiro, 2018. 58 p. Disponível em: <http://www.adasa.df.gov.br/images/storage/area_de_atuacao/recursos_hidricos/regulacao/resolucoes_estudos/Bacia_Alto_Descoberto/UNESCO_ED0517_2.pdf>. Acesso em: 19 jul. 2019.

UNESCO. **Produto 6 – Modelagem Hidrológica da Bacia do Alto Descoberto.**

Edital 05/2017, Projeto de Cooperação Técnica Internacional, Projeto UNESCO 914BRZ2016, Modelagem Hidrológica da Bacia do Alto Descoberto. Dezembro, 2017. 114 p. Disponível em:

<http://www.adasa.df.gov.br/images/storage/area_de_atuacao/recursos_hidricos/regulacao/resolucoes_estudos/Bacia_Alto_Descoberto/UNESCO_ED0517_5.pdf>. Acesso em: 19 jul. 2019.

VAL, L.A.; BAHIA, V.G.; FREIRE, J.C. & DIAS JUNIOR, M.S. Erosividade das chuvas em Lavras, MG. Ci. Prática, 10:199- 209, 1986. In: CHAVES, H. M. L.

Incertezas na predição da erosão com a USLE: impactos e mitigação. Rev. Bras. Ciênc. Solo, Viçosa, v. 34, n. 6, p. 2021-2029, Dez. 2010. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832010000600026&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 12 ago. 2019.

WUNDER, S. Payment for environmental services: some nuts and bolts. 2005. In: GUEDES, F. B; SEEHUSEN, S. E. (Org.). **Pagamentos por Serviços Ambientais na Mata Atlântica: Lições aprendidas e desafios.** 2. ed. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2012. 272 p. (Biodiversidade 42).

ZONTA, J. H. et al. **Práticas de Conservação de Solo e Água.** Circular Técnica 133, Embrapa. Campina Grande, PB, Setembro, 21p. 2012.