

ANÁLISE DAS PERDAS DE SOLO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO BOM JARDIM, UBERLÂNDIA-MG, UMA COMPARAÇÃO ENTRE OS ANOS DE 2015 E 2025

Fernanda Oliveira Borges ¹
Pablo Rutierry Rodrigues Silva ²

RESUMO

A degradação dos solos é um processo bastante recorrente no território brasileiro devido a diversos fatores, como por exemplo, às particularidades do próprio solo, quanto à sua estrutura e textura, o que caracteriza o nível de susceptibilidade do mesmo a processos erosivos; ao seu uso e ocupação, ao clima (principalmente o índice pluviométrico), como também por diversas outras características físicas do meio, sendo uma destas a inclinação do terreno. O uso das geotecnologias tem sido fundamental na detecção de áreas problemáticas e manipulações em outras escalas de uma realidade em estudo. Dessa forma, pretende-se demonstrar aqui o resultado de uma modelagem realizada por meio equações (modelo EUPS – Equação Universal de Perdas de Solo), representações temáticas (mapas) e programas computacionais (software ArcGIS 10.1, SAGA GIS e Google Earth Engine), ensaiando a quantidade de perdas de solo, por ano, da Bacia do Ribeirão Bom Jardim, Uberlândia-MG, e quais são os fatores que mais influenciam na ocorrência de tal dinâmica. Além disso, realizou-se também uma comparação entre metodologias – utilizando uma de forma mais manual e outra totalmente automatizada, buscando visualizar a eficácia de cada uma – e anos diferentes – 2015 e 2025 – com o objetivo de identificar se, ao longo do tempo, as áreas com maior índice de perdas de solo se mantêm, ou seja, se as áreas identificadas em 2015 são as mesmas de 2025.

Palavras-chave: EUPS; Google Earth Engine, Erosão, IA, Conservação.

ABSTRACT

Soil degradation is a recurring process in Brazil due to various factors, such as the particularities of the soil itself, in terms of its structure and texture, which characterizes its susceptibility to erosive processes; its use and occupation, the climate (mainly rainfall), as well as various other physical characteristics of the environment, one of which is the slope of the land. The use of geotechnologies has been fundamental in detecting problem areas and manipulating other scales of a reality under study. The aim here is to demonstrate the results of a modeling exercise carried out using equations (EUPS model - Universal Soil Loss Equation), thematic representations (maps) and computer programs (ArcGIS 10.1 software, SAGA GIS and Google Earth Engine), testing the amount of soil loss per year in the Bom Jardim Stream Basin, Uberlândia-MG, and which factors most influence the occurrence of such dynamics. In addition, a comparison was made between methodologies - using a more manual method and a fully automated method, in order to visualize the effectiveness of each - and different years - 2015 and 2025 - with the aim of identifying whether, over time, the areas with the highest rates of soil loss remain the same, i.e. whether the areas identified in 2015 are the same as those identified in 2025.

Keywords: USLE, Google Earth Engine, Erosion, AI, Conservation.

¹ Doutoranda pelo Curso de Geografia da Universidade Federal de Uberlândia - UFU, fborges242@gmail.com;

² Doutorando pelo Curso de Geografia da Universidade Federal de Uberlândia - UFU, rutierry94@live.com.

INTRODUÇÃO

Em todo o processo histórico de evolução do homem e de suas técnicas houve o desenvolvimento de formas e ferramentas para o uso e ocupação da terra, sendo para plantações, visando a subsistência do grupo, ou de edificação de moradias para proteção do frio, chuva, de animais, ou para o próprio descanso. Para isto, necessitava-se de fazer a retirada da vegetação natural e sua substituição pelas necessidades dos sujeitos, alterando as propriedades físicas do solo e suas condições de revestimento.

Afinal, a simples retirada da vegetação, para inserção de uma agricultura de subsistência, já promove alterações em alguns elementos do meio físico local, principalmente aquelas relacionadas a algumas propriedades do solo. Logo, o uso intensivo das terras cultiváveis, caracterizado não só pela retirada da vegetação natural, mas sobretudo pela intensa mecanização e emprego de insumos, pode torná-las inóspitas, além de causar sérios danos ao meio ambiente.

A questão é que a intensa ocupação das terras agricultáveis tem atingido as bacias hidrográficas, provocando sérias consequências, onde o mais recorrente são os processos erosivos e perdas de materiais do solo. A erosão se manifesta quando há a ruptura de equilíbrio do meio ambiente, sendo um fenômeno resultante de tal condição, que ocorre devido à transformação da paisagem, por eliminação da cobertura natural e aplicação de novas maneiras de uso do solo. Com isso, é grande a preocupação de pesquisadores de diversas áreas, realizando estudos que visam mensurar qualitativa e quantitativamente os impactos gerados em áreas ambientais.

O avanço das tecnologias, principalmente das geotecnologias e, agora, mais recentemente das IAs, permite realizar levantamentos e manipulações matemáticas com o objetivo de obter informações aproximadas de uma área de estudo. Uma ferramenta de grande valor para estudos de erosão dos solos é a Equação Universal de Perdas de Solo – EUPS, modelo matemático que cruza os dados físicos e antrópicos de uma área, como a erosividade (R), capacidade potencial da água da chuva em provocar erosão, a erodibilidade (K), suscetibilidade do solo à erosão, o comprimento de vertente e a declividade do terreno (LS) e o uso e ocupação da terra (C).

Tendo em vista essas premissas, as tecnologias indicadas foram aplicadas na bacia hidrográfica do ribeirão Bom Jardim, importante afluente do rio Uberabinha, localizado nos municípios de Uberlândia e Uberaba, ambos em Minas Gerais, que garante a distribuição de água para a população da cidade de Uberlândia, por meio de um reservatório implantado pelo Departamento Municipal de Água e Esgoto – DMAE. Dessa forma, aplicar estudos referentes



ao seu uso e ocupação da terra, e às perdas de sedimentos da área é de suma importância para constatação de riscos ambientais que podem interferir diretamente nessa bacia, que, conseqüentemente, atingirá a população que dela depende, afinal, além do abastecimento de água, há também a produção agrícola, que vai desde a produção de *comodities* até a produção frutífera.

O interesse em realizar esse exercício prático na bacia hidrográfica do ribeirão Bom Jardim deveu-se ao fato da mesma estar localizada na bacia hidrográfica do rio Uberabinha, que por sua vez está inserida na bacia do rio Araguari, a qual faz parte do Programa Estadual de Microbacias Hidrográficas, situando-se numa região de grande importância socioeconômica do Estado de Minas Gerais.

A ideia de comparar 2015 com 2025 partiu da curiosidade em identificar se, ao longo do tempo, as áreas com maior índice de perdas de solo se mantêm, ou seja, se as áreas identificadas em 2015 são as mesmas de 2025, portanto, buscou-se imagens de satélite das mesmas épocas (mês de fevereiro), dos respectivos anos. Isso pode auxiliar num posterior mapeamento para melhor adequação do uso da terra em uma bacia hidrográfica, buscando sempre proteger as áreas mais frágeis.

Assim, o objetivo geral deste trabalho foi utilizar uma proposta de modelagem das perdas de solo, estimando a perspectiva da produção de sedimentos a partir de processos erosivos, quantificando as perdas de solo que estão ocorrendo na bacia devido ao seu uso e ocupação, além de analisar as consequências desse processo, utilizando também diferentes metodologias para cada cenário.

Para o cenário de 2015, a metodologia utilizada foi de forma mais manual, com vetorização de classes de uso e aplicação de fórmulas matemáticas para obtenção do fator LS. Já para o cenário de 2025, utilizou-se de ferramentas automatizadas como o SAGA GIS e o Google Earth Engine. Em decorrência disso, foram elaborados mapas de uso e ocupação da terra, um referente a 2015 e outro referente a 2025, e mapas das perdas de solos, também relativos aos anos já citados, utilizando modelos matemáticos e técnicas de geoprocessamento.

METODOLOGIA

Além da comparação na mudança da paisagem entre os anos de 2015 e 2025, focados nas áreas mais suscetíveis a perda de solos, assim como a quantidade de perdas por ano, também se aplicou diferentes metodologias, como forma de avaliar a veracidade e aplicação de cada uma delas, se se aproximam e identificar aquela que mais se aplica para tal tipo de análise. Essa diferenciação se baseia no tipo de dados de entrada para obtenção das informações relacionadas



ao relevo, *softwares* de manipulação de dados geográficos, bem como nas etapas para se chegar ao fator LS, fator topográfico, o qual também é uma importante variável da equação final.

O que se buscou manter entre os dois cenários foram as tipologias de classe de uso e seus respectivos valores para os índices que compõem o fator C do modelo EUPS, correspondente às práticas conservacionistas.

Cenário de 2015

Para os trabalhos práticos, foram utilizadas bases cartográficas obtidas no Laboratório de Cartografia da Universidade Federal de Uberlândia; o *software* ArcGIS 10.1 e a imagem do satélite Landsat 8, Sensor OLI, do dia 23/02/2015, obtida por meio do *Earth Explorer*, pelo site <http://earthexplorer.usgs.gov/>.

De forma a iniciar a construção dos mapas representativos, primeiramente foi realizado o processo de vetorização das curvas de nível, limite da bacia e rede hidrográfica em questão, os quais foram possíveis a partir do uso da carta topográfica e de ferramentas de edição do *software*. A partir desses dados, partiu-se então para a elaboração do MDE – Modelo Digital de Elevação.

Posterior a isto, elaborou-se o mapa de declividades utilizando como base o MDE, pela ferramenta *Slope*, na caixa de ferramentas *Spatial Analyst Tools*, definindo as classes de angulação (em graus) utilizando 5 (cinco) classes, conforme as objeções da Embrapa (1979), que variam de 0 a mais que 25 graus de declividade, as quais melhor se aplicam à área de estudo.

O MDE também foi utilizado para obter o parâmetro Fator (L), correspondente ao comprimento da encosta, que considera as seguintes variáveis hidrológicas: direção do fluxo d'água (*flow direction*), maior concentração do fluxo de água (*flow accumulation*) e comprimento de vertente da bacia (*flow length*) e, para chegar ao seu resultado, seguiu-se as formulações propostas por Barrios e Quiñonez (2000) para alcançar o ângulo da declividade (Fator F) (Equação 1), o comprimento da declividade (Fator M) (Equação 2) e o comprimento de rampa (Fator L) (Equação 3), demonstradas a seguir:

$$((\text{Sin}(\text{"slope"} * 0.01745) / 0.0896) / (3 * \text{Power}(\text{"slope"} * 0.01745, 0.8) + 0.56)) \quad (1)$$

$$\text{"fator_f"} / (1 + \text{"fator_f"}) \quad (2)$$



$$\frac{(\text{Power}(\text{"flow_acum"}+170.7618631),(\text{"fator_m"}+1))-\text{Power}(\text{"flow_acum"},(\text{"fator_m"}+1)))}{(\text{Power}(25,(\text{"fator_m"}+2))*\text{Power}(22.13,\text{"fator_m"}))}$$

(3)

Para obtenção das variáveis hidrológicas o MDE foi manipulado na ferramenta *Hidrology* do *software* ArcGIS 10.1, gerando produtos em formato raster necessários para o cálculo das fórmulas supracitadas. Tais fórmulas foram aplicadas na ferramenta *Raster Calculator*, substituindo os parâmetros de cada uma, pelos produtos raster gerados a partir das manipulações do MDE.

Após a aplicação das fórmulas, seguiu-se para a elaboração do parâmetro Fator Topográfico (LS), baseada em Lombardi Neto e Bertoni (1978) (Equação 4), que consiste na multiplicação entre o comprimento de vertente da bacia (L) e a declividade (S), o qual influenciará na velocidade, direção e quantidade do fluxo d'água do curso hídrico:

$$S = 0,00984 * L^{0,63} * S^{1,18} \quad (4)$$

A importância desse fator na detecção de perdas de solo em determinada área pauta-se na representação que este traz acerca da topografia e sua influência na ocorrência de processos erosivos, inferindo diretamente na velocidade e quantidade de sedimentos carregados pelo fluxo da água, seja este natural, da própria bacia, ou pela ação da água da chuva (SALOMÃO, 2007). O efeito desse fator não considera a sua forma, ou seja, côncava ou convexa, pois esta relação ainda não foi analisada, indicando que o comprimento da vertente e seu grau de declividade são os principais elementos que podem identificar a quantidade de perdas de solo.

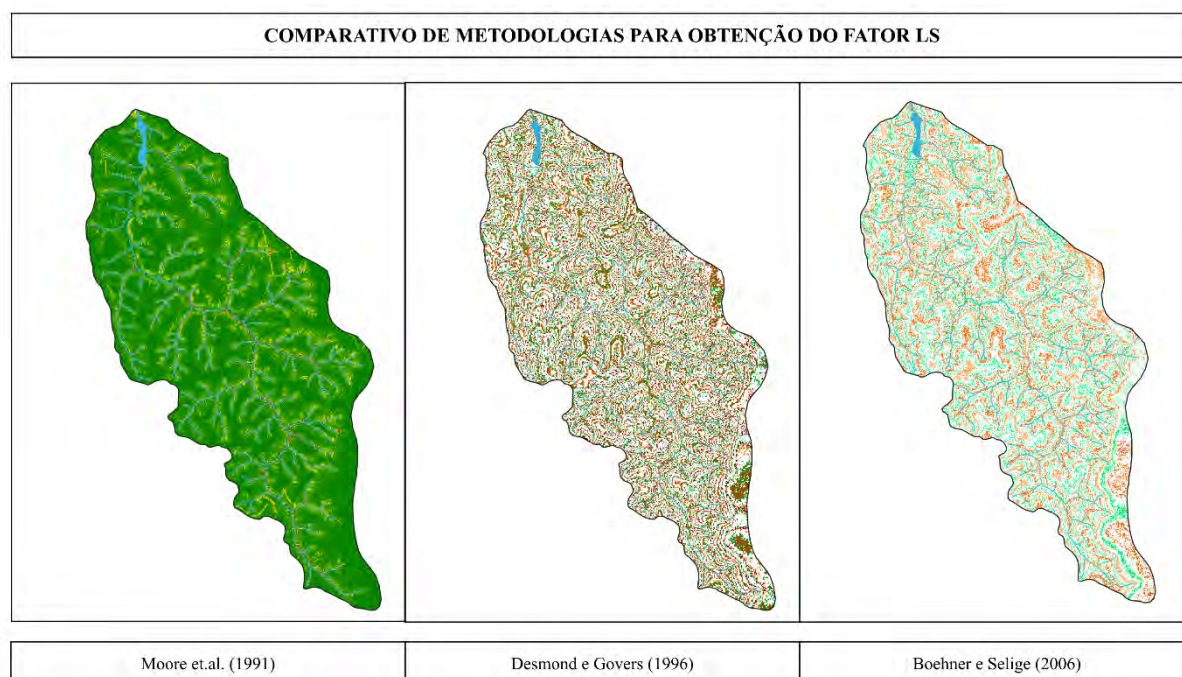
Cenário de 2025

Para este cenário, optou-se por utilizar modelos e *softwares* mais atualizados, buscando otimizar a obtenção das variáveis LS e comparar sua aplicabilidade. A imagem de satélite utilizada para o mapeamento do uso e ocupação da terra foi da constelação Sentinel 2, com a data de 07/02/2025, baixada e manipulada no *software* Google Earth Engine.

Como dado de entrada para as informações relacionadas ao relevo, utilizou-se da imagem SRTM, obtida, também, por meio do *Earth Explorer*, eliminando a necessidade de vetorização manual de curvas de nível a partir de cartas topográficas. É claro que o fator relevo não muda em dez anos, porém o objetivo aqui é de fato verificar a veracidade de modelos mais automatizados, além de otimizar o trabalho. Dessa forma, a partir da SRTM, foi desnecessária a geração de um modelo de declividade, bem como a aplicação das fórmulas e todo o passo a passo relatados no item anterior para se chegar ao fator LS.

Isto por que a partir da SRTM, utilizou-se o *software* SAGA GIS 9.7.1, para obter o fator LS com, basicamente, um clique, usando a ferramenta *LS Factor*, que compõem a caixa de ferramentas *Hydrology*; nesta ferramenta, é também possível definir o método que será utilizado para o cálculo do fator, os quais estão disponíveis: Moore et.al. (1991), Desmond e Govers (1996) e Boehner e Selige (2006). O método definido para este trabalho foi de Moore et.al. (1991), por ser uma avaliação que mais se aproxima da área de estudo e que mais se parece com aquela utilizada anteriormente para o cenário de 2015 (FIGURA 1).

FIGURA 1: Layout comparativo de metodologias do fator LS



Fonte: Elaborado pelos autores, 2025.

Aplicação do modelo EUPS

Com todas as variáveis obtidas em ambos os cenários, seguiu-se para a elaboração do mapa final, que corresponde à perda de solo em toneladas por ano (t/ano), utilizando a fórmula do modelo EUPS, baseada em estudos adaptados para os solos do Brasil de Bertoni e Lombardi Neto (2010), expressa pela equação (5), onde fez-se o cruzamento de todas as informações obtidas; para o cenário de 2015 foi realizado na ferramenta *Raster Calculator* do ArcGIS 10.1, e para o cenário de 2025 na ferramenta *Calculadora Raster*, do QGIS 3.34.

$$A = R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P \quad (5)$$

Onde:

A = perda de solo calculada por unidade de área, por ano (t/ano);

R = fator da chuva (erosividade);

K = erodibilidade do solo;

L = comprimento da vertente;

S = grau de declividade;

C = uso e manejo do solo;

P = práticas conservacionistas.

O fator erosividade (R) é obtido através da média de precipitação ao longo dos anos (WISCHMEIER; SMITH, 1978). O impacto direto das gotas de chuva em solo descoberto promove a desagregação e carreamento das partículas de solo que antes se mantinham estáveis. Neste contexto, a frequência das chuvas é o fator que mais influencia nas perdas de solo, dessa forma, se os intervalos entre as chuvas erosivas forem curtos e o teor de umidade no solo for alto a possibilidade destas chuvas desenvolverem enxurradas maiores é significativo, mesmo com baixa intensidade (WISCHMEIER; SMITH, 1978). No caso da pesquisa, ficou definido um período temporal de 24 (vinte e quatro) anos para o cenário de 2015; e 34 (trinta e quatro) anos para o cenário de 2025, obtendo um valor de 4.710 mm/ano e 9.361,77 mm/ano, respectivamente. Os dados são da estação pluviométrica da Universidade Federal de Uberlândia, obtidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia – INMET e pode ser definido como um valor considerável caso a área esteja sem cobertura vegetal.

A erodibilidade (K) define a susceptibilidade de cada tipo de solo à erosão, ou seja, a sua fragilidade frente às intempéries do meio. Na Tabela 1 visualiza-se os índices de erodibilidade para os tipos de solos que compreendem a área de estudo. Brito (2002) mapeou os tipos de solo da bacia e, em sua grande maioria, é representado pelos latossolos (FIGURA 2). Em suma, os latossolos não são classificados como solos muito frágeis, mas a inadequação do seu uso pode elevar o seu fator de erodibilidade.

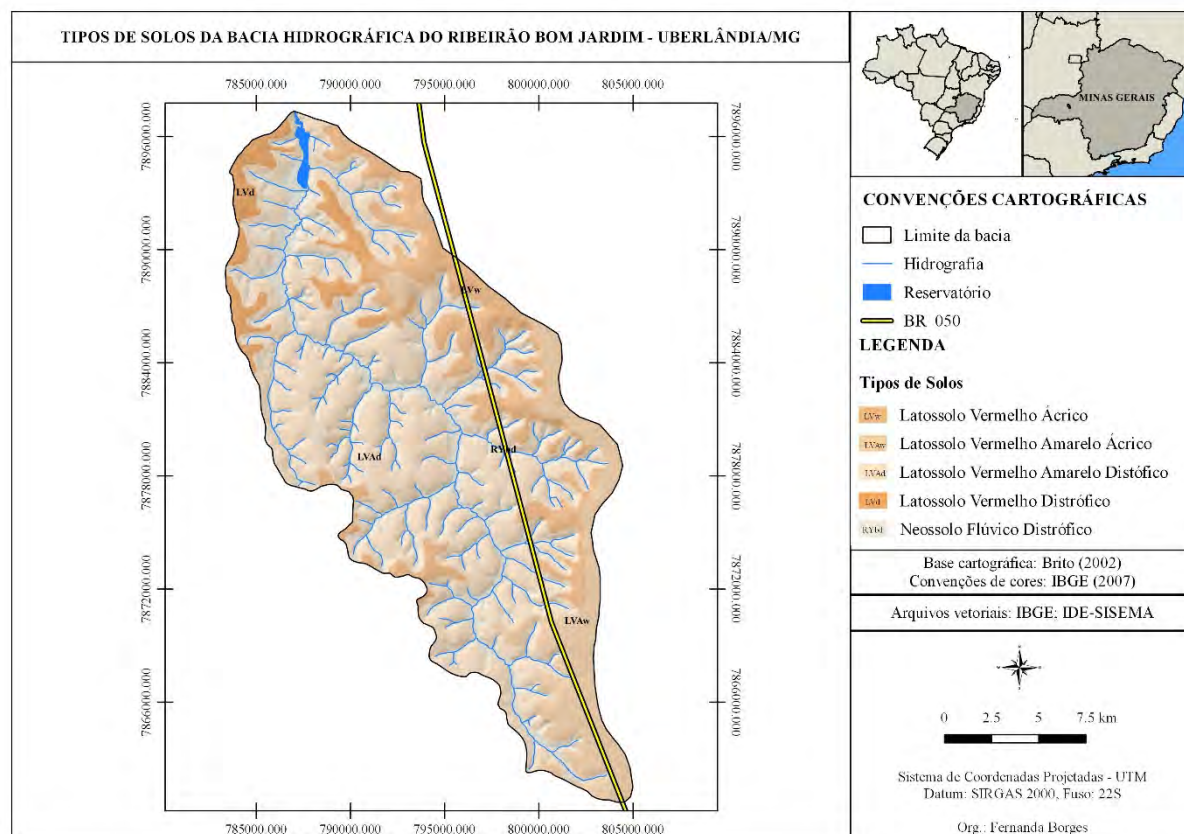
Tabela 1: Índices de Erodibilidade (fator K) por tipo de solo presente na área de estudo.

Tipos de Solos	Erodibilidade
Latossolo Vermelho Amarelo Ácrico	0,017
Latossolo Vermelho Ácrico	0,0263
Latossolo Vermelho Distrófico	0,0061
Latossolo Vermelho Amarelo Distófico	0,0012
Neossolo Flúvico Distrófico	0,025

Fonte: MANNIGEL, et.al., 2002.;

Org.: pelos autores, 2025.

FIGURA 2: Classes de solos da área de estudo



Fonte: BRITO, 2002; Adaptado pelos autores, 2025.

O fator C (uso e manejo do solo) é também importante para analisar como o solo está sendo protegido. Dessa forma, para o cenário de 2015, o mapa de uso foi elaborado com base em imagens de satélite do Landsat 8, Sensor OLI, utilizando a composição de bandas 5R6B4G, da qual mais representava o comportamento dos alvos da área e facilitava na detecção dos objetos. A partir disso, a construção do uso da terra para este cenário foi feita através da classificação manual, fazendo a vetorização e elaboração da tabela de atributos, caracterizando cada tipo de uso presente na área.

Para o cenário de 2025, as imagens utilizadas foram do satélite Sentinel 2 e foram manipuladas no *software* Google Earth Engine, utilizando a composição 8R4G3B. Com isso, a construção do uso da terra foi feita através da classificação semi-automática utilizando códigos do Google Earth Engine, exportando a imagem gerada para ser trabalhada no QGIS, onde, posteriormente, foi transformada em vetor, para que pudesse ser elaborada a tabela de atributos, atribuindo seus devidos valores (TABELA 2), com base em Oliveira (2004) e, novamente convertendo-a para raster para que pudesse compor a fórmula da EUPS. Optou-se por manter as mesmas classes de uso utilizadas no cenário de 2025 para que a comparação pudesse ser mais fiel, acrescentando somente a classe de palhada, por esta ser mais representativa no cenário

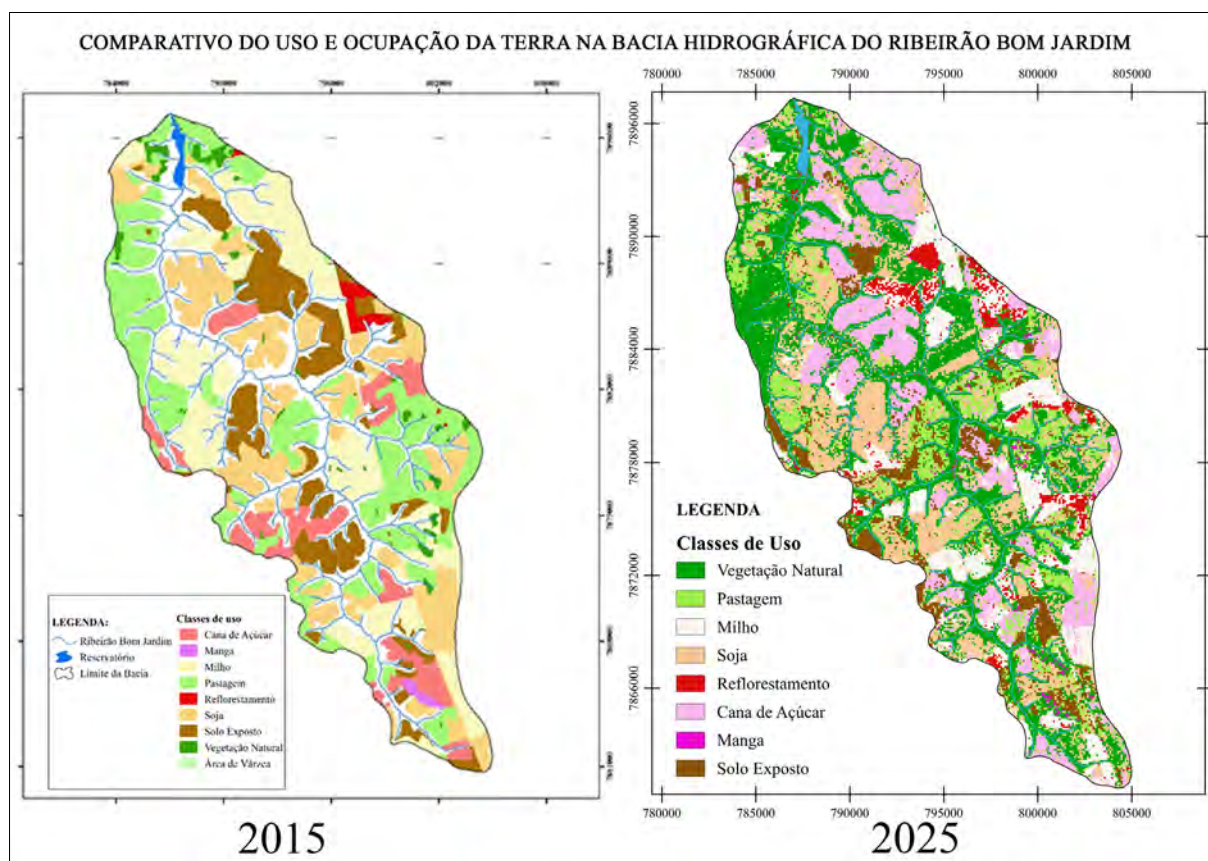
de 2025. O comparativo entre os cenários de uso e ocupação da terra podem ser vistos na Figura 3.

Tabela 2: Índices do Fator C.

Classes	Índices
Vegetação Natural	0,0004
Soja	0,045
Milho	0,0196
Reflorestamento	0,0489
Solo Exposto	1
Pastagem	0,0075
Mata Ciliar	0,0004
Manga	0,5
Cana de Açúcar	0,05

Fonte: OLIVEIRA, 2004.;
Org.: pelos autores, 2025.

FIGURA 3: Uso e ocupação da terra: cenários de 2015 e 2025



Fonte: Elaborado pelos autores, 2025.

E, por fim, para as práticas conservacionistas (P), conforme Bertoni e Lombardi Neto (2010) é utilizado um valor constante de 0,5, porém ressalta-se que o ideal é utilizar valores de

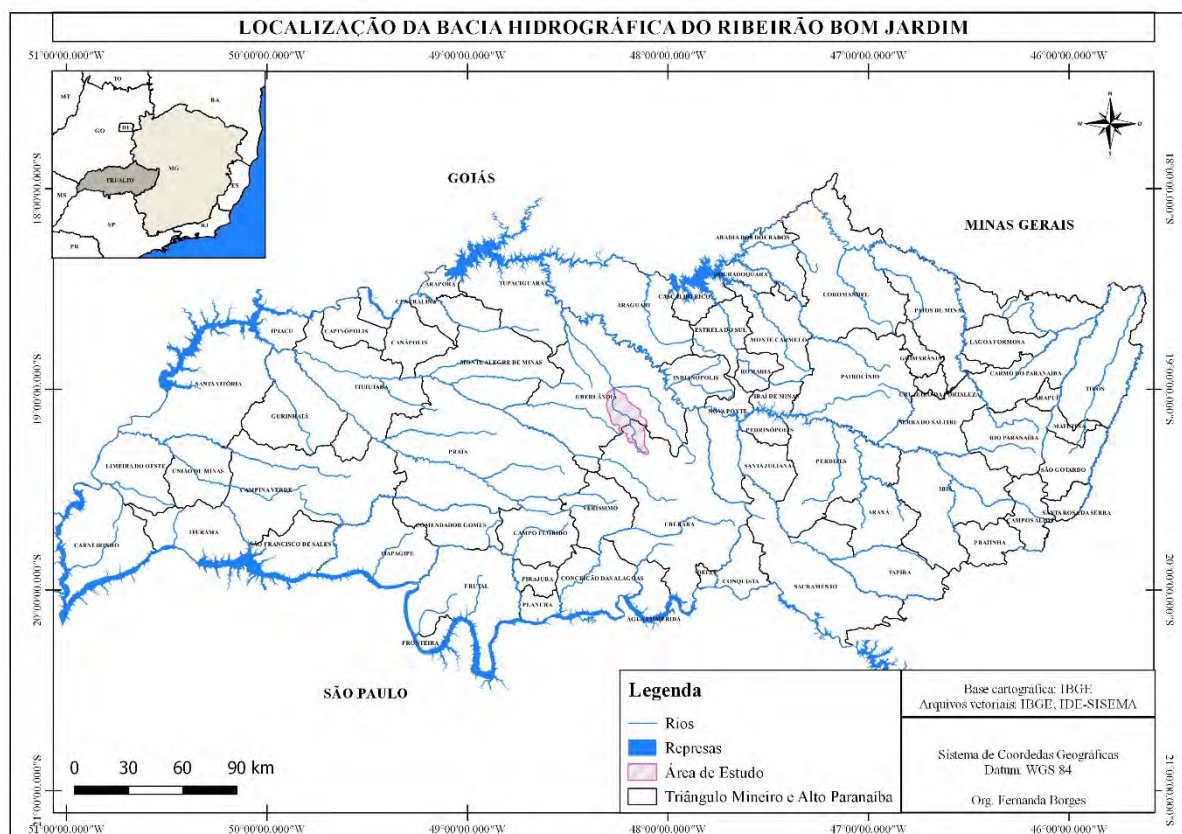


acordo com cada classe de uso, baseado em bibliografias e trabalhos de campo, para que o resultado seja mais fiel à realidade estudada.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A bacia hidrográfica do ribeirão Bom Jardim está localizada entre as coordenadas geográficas de 18°58'00" – 19°20'30" de latitude sul e 48°04'00" – 48°18'00" de longitude oeste, na região sul da cidade de Uberlândia, e sua área de drenagem abrange dois municípios: tanto Uberlândia, compreendendo a maior parte de seu curso, como Uberaba, onde está localizada sua nascente, ambos localizados no Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba (FIGURA 4).

FIGURA 4: Localização da bacia hidrográfica do ribeirão Bom Jardim



Fonte: BORGES, F. O, 2015.

Geograficamente falando (FIGURA 5), a área da bacia possui relevo levemente ondulado, com vertentes largas e vales em formato de “U”, onde a declividade é pouco acentuada – entre 3 e 8%, exceto por aquelas localizadas nas vertentes e nas nascentes – e altimetria que varia de 800 a 950 m. A bacia possui uma rede hidrográfica bem distribuída e bem drenada, possuindo quantidade considerável de córregos que abastecem o curso principal. A vegetação típica é de

Cerrado, possuindo variadas fitofisionomias ao longo da bacia, como matas de galeria, cerradão campo limpo e veredas.

FIGURA 5: Características geográficas da bacia hidrográfica do ribeirão Bom Jardim



Fonte: BORGES, F. O, 2015.

Com base nas representações da Figura 6, pode-se inferir que a cobertura do solo é de suma importância para a proteção contra perdas e possível desencadeamento de processos erosivos, ainda que essa cobertura seja por atividades antrópicas como a agricultura ou pastagem. Sendo assim, o uso da terra é um dos fatores de maior impacto para perdas de solo, sendo que, na área da bacia hidrográfica do ribeirão Bom Jardim, se constitui principalmente por cultivos anuais, como soja e milho, que juntos somam 34,35% da área; também é importante salientar que a área de solo exposto correspondente a 11,5% está relacionada, na sua maior parte, com a retirada dessas duas culturas citadas e de cana de açúcar (7,3%) (TABELA 3), em épocas de colheita e preparação do solo para novo plantio.

Tabela 3: Porcentagem de ocupação da área.

Classes de Uso	Área (%)
Pastagem	20,55
Soja	18,1
Milho	16,25
Manga	0,3
Cana de Açúcar	7,3

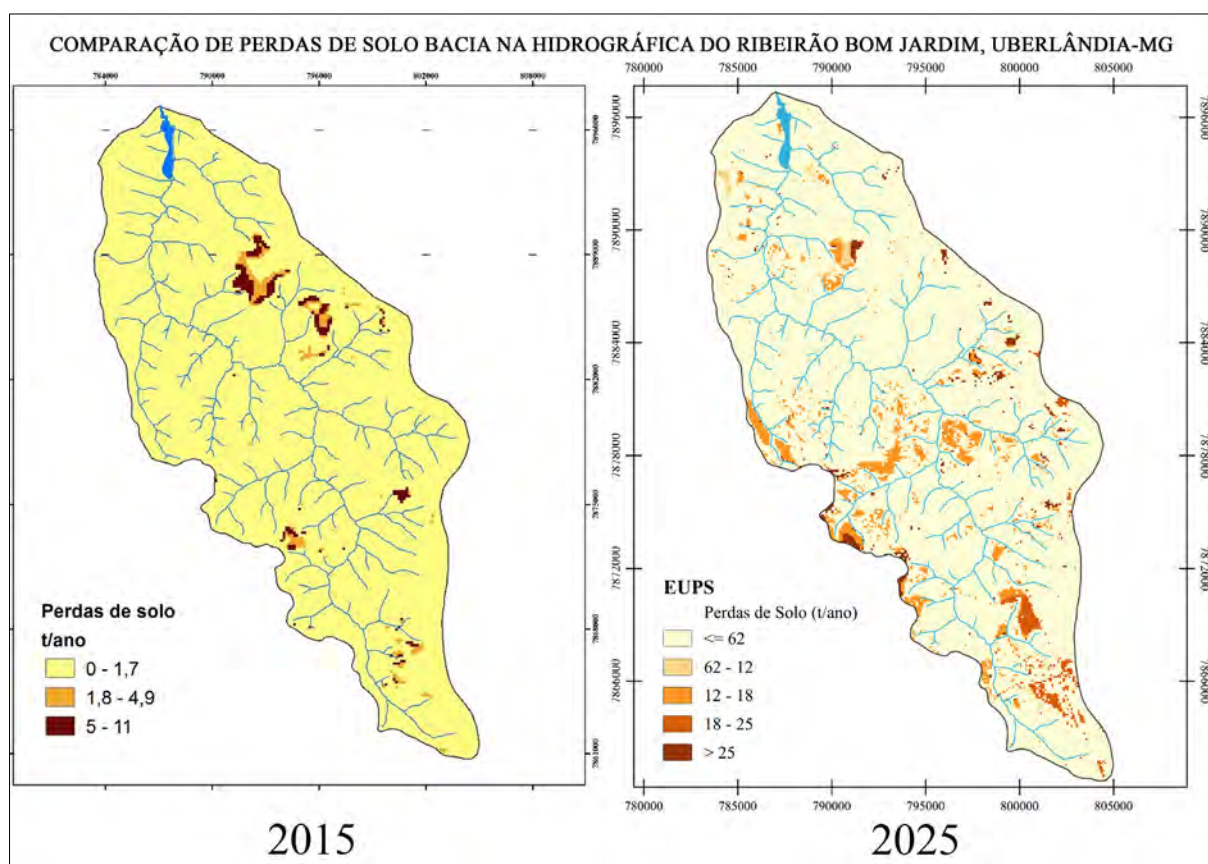


Solo Exposto	11,5
Reflorestamento	0,90
Vegetação Natural	1,80
Mata Ciliar	23,3
Área Total	100%

Fonte: Organizada pelos autores, 2025.

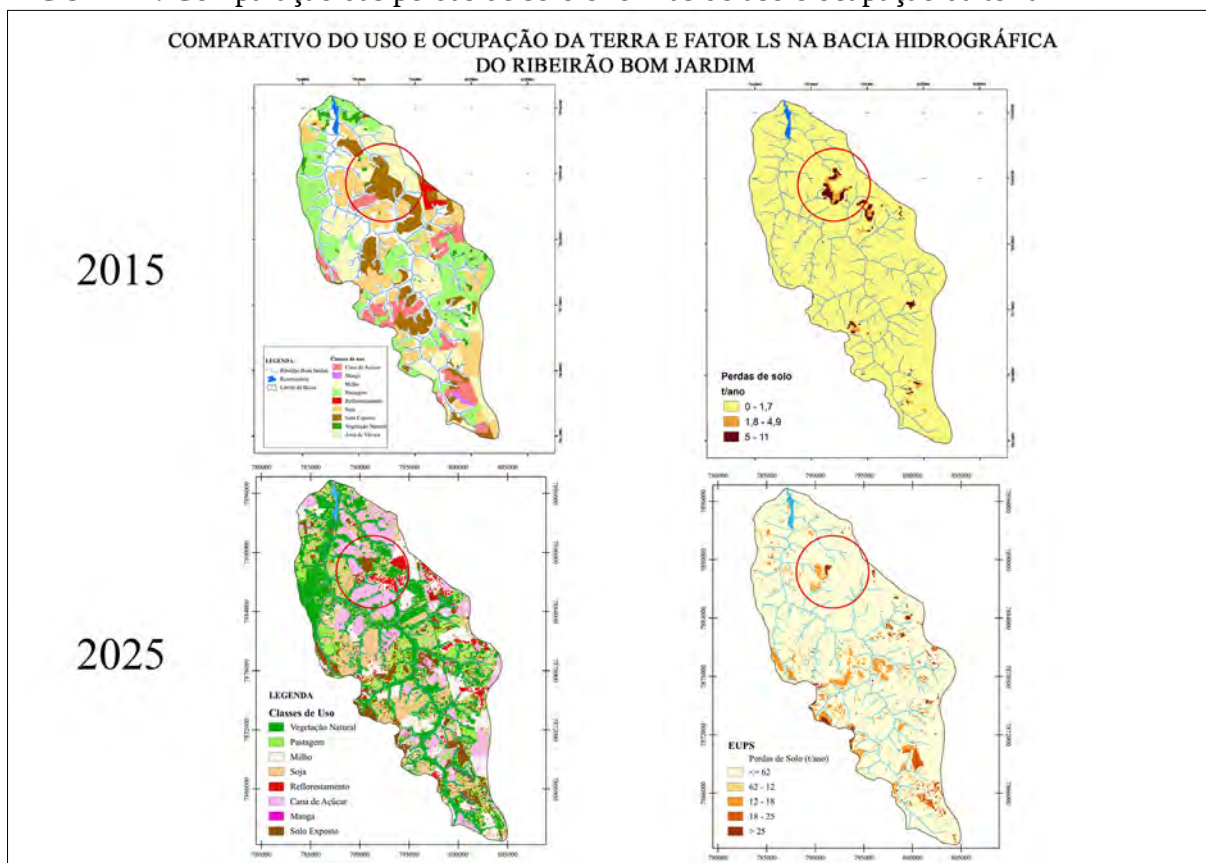
As manipulações a partir da metodologia utilizada permitiram quantificar que, de 5 a 11 t/ano, no caso do cenário de 2015, e até mais de 25 t/ano, podem ser perdidas caso o solo esteja sem cobertura vegetal; no entanto, as áreas mais suscetíveis à ocorrência dessas perdas são aquelas em que o solo está exposto, o que é possível identificar quando se faz uma comparação com o uso da terra (FIGURA 7). Vale destacar que, na área de estudo, as perdas mais significativas de materiais do solo podem acontecer periodicamente, ou seja, sempre quando houver a retirada das culturas e preparação do solo para um novo plantio.

FIGURA 6: Comparação das perdas de solo entre os anos de 2015 e 2025



Fonte: Elaborado pelos autores, 2025.

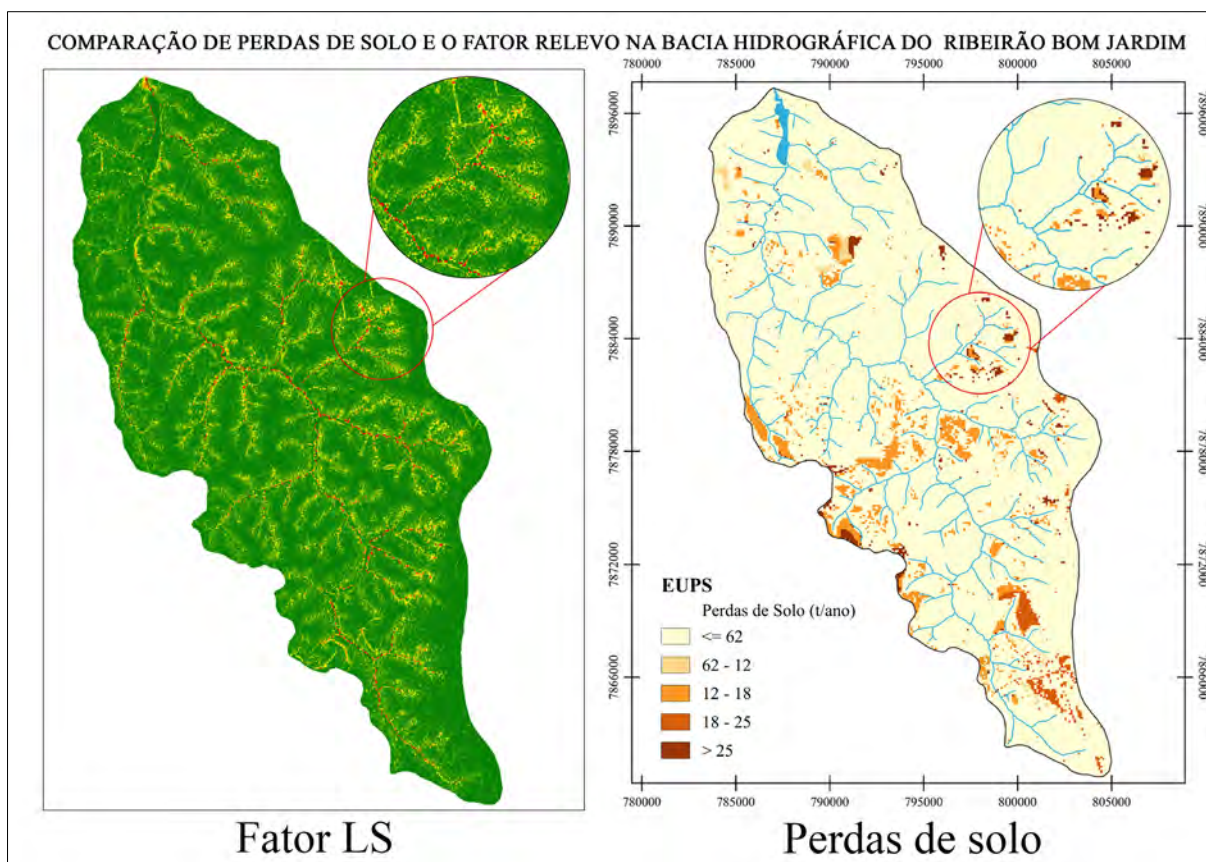
FIGURA 7: Comparação das perdas de solo e formas de uso e ocupação da terra



Fonte: Elaborado pelos autores, 2025.

Além das formas de uso e ocupação da terra, outro fator passível de correlação com as perdas de solo trata-se da declividade e o do comprimento da encosta (FIGURA 8), onde as áreas em vermelho são aquelas que mais possuem susceptibilidade à ocorrência de processos erosivos, por serem dotadas de uma declividade mais acentuada, em que a velocidade do fluxo de água será maior e seu efeito mais denso em relação às áreas mais planas (as regiões em verde e amarelo no mapa), onde quase não ocorrem ou são nulos. Sendo assim, percebe-se que as cabeceiras dos cursos d'água, ou seja, suas nascentes, e os canais daquele cursos mais declivosos, são as principais vítimas da erosão por perda de solo, o que pode ser um fato preocupante, pois a leva profunda de materiais pode, futuramente, assorear as nascentes, levando-as à seca, ou canais nas áreas mais baixas do relevo, prejudicando seu fluxo. (BORGES, 2015, p. 2350).

FIGURA 8: Layout comparativo do fator relevo e sua correlação com as perdas de solo



Fonte: Elaborado pelos autores, 2025.

Comparando mais especificamente os dois cenários analisados, fica claro que as áreas com maiores indícios de perda de solos são as mesmas. Porém, no cenário de 2025 as regiões suscetíveis são maiores e mais numerosas, além da quantidade de t/ano ser maior, fato que pode ser explicado pelo maior tempo de erosividade (33 anos), além do processo de colheita das culturas parecer ter acontecido mais tarde, por apresentar mais áreas com plantios recém-colhidos.

Ademais, os produtos gerados a partir das manipulações indicam que a área da bacia do ribeirão Bom Jardim não possui uma fragilidade elevada, uma vez que os tipos de solo são de baixa erodibilidade, ou seja, são mais resistentes, além de que a área permanece coberta quase o ano todo por culturas agrícolas. No entanto, chama-se a atenção para as formas de uso e ocupação da terra na área da bacia, as quais, se feitas de maneira inadequada, provocarão outros impactos ambientais, como poluição, desgaste e perda da aptidão agrícola. Pensando nisso, Brito (2001) elaborou mapas temáticos e obteve como resultado final um mapa de adequação das potencialidades do uso da terra nessa bacia. Os resultados mostraram que já nessa época a área apresentava problemas de degradação ambiental decorrentes do uso da terra inadequado.



Para Flores (1995) a inadequação do uso dos solos é uma das causas de malogro das atividades agrícolas, do abandono das terras esgotadas e dos impactos negativos no ambiente, variando o tipo de degradação de acordo com a sua natureza e o manejo utilizado, associado às peculiaridades hidroclimáticas e geomorfológicas locais. Ainda afirma que, os impactos ambientais decorrentes do uso da terra sem aptidão para as atividades agrícolas e/ou com práticas de manejo inadequadas, podem ser observados na atmosfera, litosfera, hidrosfera e na saúde da Terra como um todo.

De acordo com Pinto et al. (1989), [...] “a ocorrência de áreas de discrepâncias, entre o uso efetivo da terra e sua aptidão agrícola, pode concorrer em alguns casos, para o decréscimo da produtividade agrícola, bem como para a degradação dos solos”. Para evitar tal situação, propõem um levantamento periódico para o acompanhamento do uso da terra, com o intuito de obter-se uma avaliação histórica da ocupação antrópica, favorecendo uma análise de tendências, bem como criar registros referentes a esta temática como subsídio para planejamentos de ocupação territorial.

Dessa forma, constata-se a eficiência desta metodologia, para a avaliação entre a dinâmica de uso e ocupação da terra e as perdas de solos. Diversos trabalhos já foram realizados, como os de Pinto et. al. (2001 e 2002), Oliveira (2000 e 2004), Aquino (2002), dentre outros, utilizando de forma integrada as técnicas de sensoriamento remoto, os SIGs e o modelo da Equação Universal de Perdas de Solo - EUPS, como técnicas básicas para a aquisição, integração, modelagem e análise temporal de dados, chegando a resultados satisfatórios que podem ser usados como base para o planejamento do uso da terra. Atualmente, com a chegada das Ias, tais manipulações e estudos de bacias hidrográficas podem ser ainda mais satisfatórios, além de mais rápidos, visto que, boa parte do trabalho que antes era feita de forma manual, pode agora ser realizado de forma automatizada, sem perder qualidade de dados e processamentos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A aplicação do modelo EUPS em integração com os SIGs permitiu avaliar que a área da bacia hidrográfica do ribeirão Bom Jardim não é altamente frágil, quando se trata de suas características naturais, fato que foi avaliado em ambos anos de análise, porém, as formas inadequadas de uso e ocupação podem desencadear fragilidades e processos erosivos.

Por meio das manipulações, percebeu-se que o maior índice de ocorrência de perdas de solo – de 5 a 11 t/ano em 2015 e mais de 25 t/ano em 2025 – se localiza em áreas de solo exposto (para ambos os recortes temporais), em que, tais áreas devem-se à colheita de culturas e preparação para novo plantio; também ocorrem em declividades entre 3 e 6 graus, e onde

estão dispostos o latossolos vermelho-amarelo ácrico, de erodibilidade igual a 0,017, e os latossolos vermelho distrófico, de erodibilidade igual a 0,0061.

Apesar da eficácia demonstrada pela integração do modelo EUPS com os Sistemas de Informações Geográficas (SIGs), é fundamental reconhecer as limitações metodológicas que balizam a interpretação dos resultados quantitativos obtidos. Destaca-se que a natureza da modelagem empregada fornece apenas estimativas ou ensaios em relação à realidade da Bacia do Ribeirão Bom Jardim. Consequentemente, não é possível afirmar com total certeza que os valores de perda de solo produzidos pela modelagem são aqueles que ocorrem efetivamente na área, sendo que a análise precisa "perpassar o quantitativo". Para obter resultados mais fiéis à realidade e validar essas estimativas, é essencial a realização de pesquisas in situ, que devem incluir a amostragem de sedimentos e a análise do assoreamento do curso d'água. O estudo presente serve, portanto, como um ponto de partida para análises mais aprofundadas que deverão ser confirmadas por verificações de campo.

Adicionalmente, a aplicação do modelo EUPS dependeu de certas simplificações nos fatores de entrada que comprometem a fidelidade total à dinâmica local. Para o Fator P, utilizou-se um valor constante de 0,5, conforme a literatura adaptada para solos brasileiros (Bertoni e Lombardi Neto, 2010). Contudo, o ideal seria que fossem utilizados valores de acordo com cada classe de uso, baseados em bibliografias específicas e trabalhos de campo, a fim de garantir que o resultado seja mais fiel à realidade estudada. No caso do Fator Topográfico (LS), que utiliza o comprimento da vertente e o grau de declividade, identifica-se uma restrição metodológica onde o efeito deste fator não considera a forma da vertente (seja côncava ou convexa), uma relação ainda não analisada no âmbito do modelo utilizado.

No que tange à classificação do uso e ocupação da terra (Fator C), o estudo comparou uma metodologia analógica (2015) com uma abordagem totalmente automatizada (2025). Embora tenha sido concluído que ambas as modelagens "corresponderam e não apresentaram diferenças", confirmando a eficácia das metodologias, reconheceu-se que o método automático apresenta maior otimização do trabalho, maior distribuição e refinamento dos pixels e maior precisão na apresentação dos dados. Dada a observação de que o cenário de 2025 (automatizado) resultou em regiões suscetíveis maiores e mais numerosas, com uma quantidade superior de perda de solo (mais de 25 t/ano), é crucial uma discussão mais aprofundada sobre em que medida essa maior precisão e refinamento do método automatizado pode ter influenciado o resultado comparativo, revelando vulnerabilidades que a classificação manual e possivelmente mais subjetiva de 2015 possa ter subestimado. Uma análise robusta dessa distinção é necessária para contextualizar o aumento observado na perda de solo em 2025.



Em suma concluiu-se que a aplicação e integração dos SIGs com a manipulação matemática de terreno foram satisfatórios para a avaliação na bacia hidrográfica do ribeirão Bom Jardim, confirmando sua eficiência, alcançando os objetivos deste trabalho, que foram de utilizar a proposta de manipulação para a estimativa de produção de sedimentos, verificando as causas e consequências deste processo, comprovando que o uso inadequado da terra é aquele que mais influencia na degradação ambiental. E também, vale destacar que, tanto a modelagem realizada de forma manual, como aquela totalmente automatizada, corresponderam e não apresentaram diferenças, confirmando a eficácia do modelo e das suas metodologias, porém, o modelo automático apresenta maior otimização do trabalho, maior distribuição e refinamento dos pixels, usando suas características semelhantes durante o processamento, demonstrando uma maior precisão na apresentação dos dados.

REFERÊNCIAS

- AQUINO, L. H. M. de. Análise de parâmetros biofísicos para indicação de áreas de risco de erosão através de técnicas de sensoriamento remoto e sistemas de informações geográficas: o exemplo de uma sub-bacia de contribuição do reservatório de Peti (MG). 2002. 100 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geografia, PUC Minas, Belo Horizonte, 2002.
- BARRIOS, A. G.; QUIÑONEZ, E. Evaluación de la erosión utilizando el modelo (R) USLE, com apoyo de SIG. Aplicación en una microcuenca de los andes vnezuelanos. Venezuela: **Revista Forest**. Venez. 44 (1), 2000, P. 65-71.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. Conservação do Solo. 7. Ed. São Paulo: **Ed. Ícone**, 2010, 355p.
- BOEHNER, J.; SELIGE, T. Spatial Prediction of Soil Attributes Using Terrain Analysis and Climate Regionalisation. In: Boehner, J.; McCloy, K.R.; Strobl, J.: 'SAGA - Analysis and Modelling Applications', Goettinger Geographische Abhandlungen, v.115, 2006, p.13-27.
- BORGES, F. O. Análise do Fator Topográfico e sua influência na perda de solo na bacia do Ribeirão Bom Jardim, Uberlândia-MG, usando técnicas de Geoprocessamento e Modelo EUPS. Teresina, Piauí: XVI Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada: Territórios Brasileiros: Dinâmicas, potencialidades e vulnerabilidades. Anais... 28 de junho a 04 de julho de 2015, p. 2345-2352.
- BRITO, J. L. Os solos da Bacia do Ribeirão Bom jardim e suas relações com relevo e os recursos hídricos, Uberlândia (MG). Uberlândia: **Caminhos de Geografia**, v. 3. n. 7, out/2002, p. 20-40.
- DESMET, P. J. J. & G. GOVERS. A GIS procedure for automatically calculating the USLE LS factor on topographically complex landscape units. Journal of Soil and Water conservation, n. 51 v. 5, 1996, p. 427-433.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Súmula da 10. reunião Técnica de Levantamento de Solos. Rio de Janeiro (EMBRAPA-SNLCS. Micelânea, 1), 1979, 83 p.



FLORES, M. X. Uso agrícola do solo: principais tipos de solos, potencial de utilização e impactos ambientais. In: _____. QUEIROZ, T. A. Análise ambiental: estratégias e ações. Rio Claro, Editora LTDA, 1995. cap.7, 280 p.

LOMBARDI NETO, F. & BERTONI, J. **Tolerância de perdas de terra para solos do Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 1978, 12 p.

MANNIGEL, Anny Rosi (et.al). Fator erodibilidade e tolerância de perda dos solos do Estado de São Paulo. Maringá: Acta Scientiarum, v. 24, n. 5, 2002, p. 1335-1340.

MOORE, I.D.; GRAYSON, R.B. & LADSON, A.R. Digital terrain modeling: a review of hydrological, geomorphological and biological applications. Hydrol. Proc., 5:3-30, 1991. DOI:10.1002/hyp.3360050103.

OLIVEIRA, A. M. M. Análise da dinâmica do uso da terra: estudo da bacia hidrográfica do Ribeirão São João (SP). 2000. 110f. Dissertação (Mestrado) - IGCE, UNESP, Rio Claro, SP, 2000.

OLIVEIRA, A. M. M. de. **Aplicação de Geotecnologias e do Modelo Eups como subsídio ao Planejamento do Uso da Terra**: estudo de caso no alto curso da microbacia hidrográfica do ribeirão Cachoeirinha, Iracemápolis, S.P. 119 f. Tese (Doutorado) – Curso de Geografia, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Campus Rio Claro, 2004.

PINTO, S.A.F. et. al. Utilização de imagens TM/LANDSAT na análise comparativa entre dados de uso da terra e de aptidão agrícola. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v. 13, p.101-110, 1989.

PINTO, S.A.F. et. al. Modelo predictivo, sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados à caracterização de indicadores da erosão do solo: análise de cenários em uma bacia hidrográfica. Belo Horizonte, PUC Minas, 2001. (Relatório técnico Fapemig, processo CRA 81.006/97).

PINTO, S.A.F. et. al. Caracterização de indicadores da erosão do solo na bacia do rio Pará (MG). Anais... 10º CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL, Ouro Preto, 25 a 28 de agosto de 2002. Belo Horizonte, 2002.

SALOMÃO, Fernando Ximenes de Tavares. Controle e prevenção dos processos erosivos. In: _____. GUERRA, Antonio José Teixeira; SILVA, Antonio Soares da; BOTELHO, Rosângela Garrido Machado (orgs). Erosão e Conservação dos Solos: conceitos, temas e aplicações. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 3ª ed., 2007, 340 p.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. Agriculture Handbook n.537. Washington: **US Department of Agriculture**, 1978, 58p.