



ESTIMATIVA DO FATOR TOPOGRÁFICO DA EQUAÇÃO UNIVERSAL DE PERDA DE SOLO (USLE) UTILIZANDO O INVEST, NA BACIA PIRIRIM, AMAPÁ

Kevin Hyslop¹, Sergio Galdino², Sérgio Gomes Tôsto³, Carlos Fernando Quartaroli⁴

Nº 19506

RESUMO – O objetivo deste trabalho foi delimitar a bacia hidrográfica do rio Piririm, no estado do Amapá, bem como calcular o fator topográfico (LS) da Universal Soil Loss Equation (USLE), utilizando o software InVEST (Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs). Essa bacia é uma das áreas de estudo do projeto “Construção do conhecimento e sistematização de experiências sobre valoração e pagamento por serviços ecossistêmicos e ambientais no contexto agricultura familiar amazônica (Aseam)”. A bacia foi delimitada utilizando sistema de informações geográficas (SIG) com base em modelo digital de terreno (MDT) de resolução espacial de 2,5 m. Os arquivos foram trabalhados no SIG ArcGIS 10.6.1 e no software InVEST 3.6.0, utilizando a extensão ArcHydro Tools e a ferramenta DelineateIT, respectivamente. O fator topográfico da USLE foi mapeado utilizando o módulo SDR (Sediment Delivery Ratio) do InVEST. O InVEST possibilitou a delimitação da bacia do Rio Piririm de forma simples e com alta precisão. O módulo SDR estimou o fator topográfico (LS) da USLE com a vantagem de ser um software livre e com grande potencial de valoração para serviços ambientais e ecossistêmicos. A média do fator LS na bacia foi de 0,787, enquanto o maior valor computado foi de 97,494. As áreas com maiores valores de LS apresentam maior risco de erosão hídrica e, portanto, seu manejo deve ser mais criterioso. O software InVEST atendeu as demandas propostas neste trabalho e apresenta grande potencial para alcançar os objetivos previstos no projeto Aseam, financiado pelo Fundo Amazônia.

Palavras-chaves: geotecnologia, declividade, serviços ecossistêmicos, sistema de informação geográfica.

1 Autor, Bolsista CNPq (PIBIC): Graduação em Geografia, PUCC, Campinas-SP; kevin.hyslop@colaborador.embrapa.br.
2 Orientador: Pesquisador da Embrapa Territorial, Campinas-SP; sergio.galdino@embrapa.br.
3 Colaborador: Pesquisador da Embrapa Territorial, Campinas-SP.
4 Colaborador: Pesquisador da Embrapa Territorial, Campinas-SP.



ABSTRACT – *In this study we aimed to delimit the Pírim river's watershed, located in the Brazilian state of Amapá, as well as to calculate the Universal Soil Loss Equation's (USLE) topographic factor (LS) using the InVEST (Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs) software. This watershed is one of the areas studied by the project “Construção do conhecimento e sistematização de experiências sobre valoração e pagamento por serviços ecossistêmicos e ambientais no contexto agricultura familiar amazônica (Aseam)”. The watershed was delimited using a geographic information system (GIS) based on a Digital Terrain Model (DTM) with spatial resolution of 2.5 m. The files were processed using ArcHydro Tools and DelineateIT, available under ArcGIS 10.6.1 and InVEST 3.6.0 respectively. The LS factor was mapped using InVEST's SDR (Sediment Delivery Ratio) module. InVEST enabled a simple and precise delimitation of the Pírim river watershed. The SDR module used for estimating the LS factor has the advantage of being open source, and showed strong potential for use in the valuation of environmental and ecosystem services. The average LS for the watershed was 0.787, and the highest value estimated was 97.494. Areas with higher LS values show higher risk of water erosion, and must therefore undergo a more careful management. The InVEST software adequately fulfilled the tasks performed in this study, and shows good potential for use to fulfill other objectives of the Aseam project, which is sponsored by the Amazon Fund.*

Keywords: geotechnology, steepness, ecosystem services, geographic information system.

1 INTRODUÇÃO

A degradação das terras agrícolas pela erosão é um fenômeno universal que leva à perda de solo. Por isso a estimativa e a identificação de áreas mais vulneráveis à erosão é fundamental para a decisão sobre práticas e manejos visando reduzir, manter ou mesmo melhorar a capacidade produtiva dos solos e seus diversos usos. Segundo Sharp et al. (2018), uma vasta gama de fatores influencia e determina as dinâmicas sedimentares, tais como fatores climáticos (intensidade das chuvas), fatores antrópicos (uso do solo e práticas agrícolas), topografia, propriedades específicas do solo e vegetação.

A *Universal Soil Loss Equation* (USLE), desenvolvida por Wischmeier e Smith (1978), é um dos modelos mais utilizados no mundo para estimar a perda de solo em encostas por erosão hídrica laminar. O fator topográfico (LS) da USLE representa o relevo, que envolve a declividade e



o comprimento de rampa, e desempenha importante papel nas dinâmicas de perda e conservação dos solos, portanto é um importante fator constituinte para a ponderação da erosão.

Com o advento dos sistemas de informações geográficas (SIGs), foi possível mapear as perdas de solo em relevos complexos. Um desses SIGs é o software InVEST (*Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs*) (Sharp et al., 2018). Desenvolvido pelo *Natural Capital Project*, o InVEST constitui um conjunto de algoritmos utilizados para quantificar, mapear e valorar diversos serviços ambientais, para suporte à tomada de decisões. O uso de módulos e ferramentas do InVEST possibilita delimitar uma bacia hidrográfica, bem como quantificar/mapear as perdas de solo.

O projeto Aseam (Construção do conhecimento e sistematização de experiências sobre valoração e pagamento por serviços ecossistêmicos e ambientais no contexto agricultura familiar amazônica) prevê, dentre outros objetivos, a estimativa das perdas de solo e a valoração deste serviço ambiental/ecossistêmico.

Assim o objetivo deste trabalho é delimitar a bacia hidrográfica do Rio Piririm, localizada no estado do Amapá, e estimar o fator topográfico da USLE utilizando o algoritmo de Desmet e Govers (1996) por meio do software InVEST.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

A área de estudo é a bacia do Rio Piririm, localizada entre os municípios de Ferreira Gomes, Cutias, Itaubal e Macapá no estado do Amapá. A hidrografia, os limites municipais, o exutório da bacia a ser delimitada e o modelo digital de terreno (MDT) da área de estudo podem ser visualizadas na Figura 1.

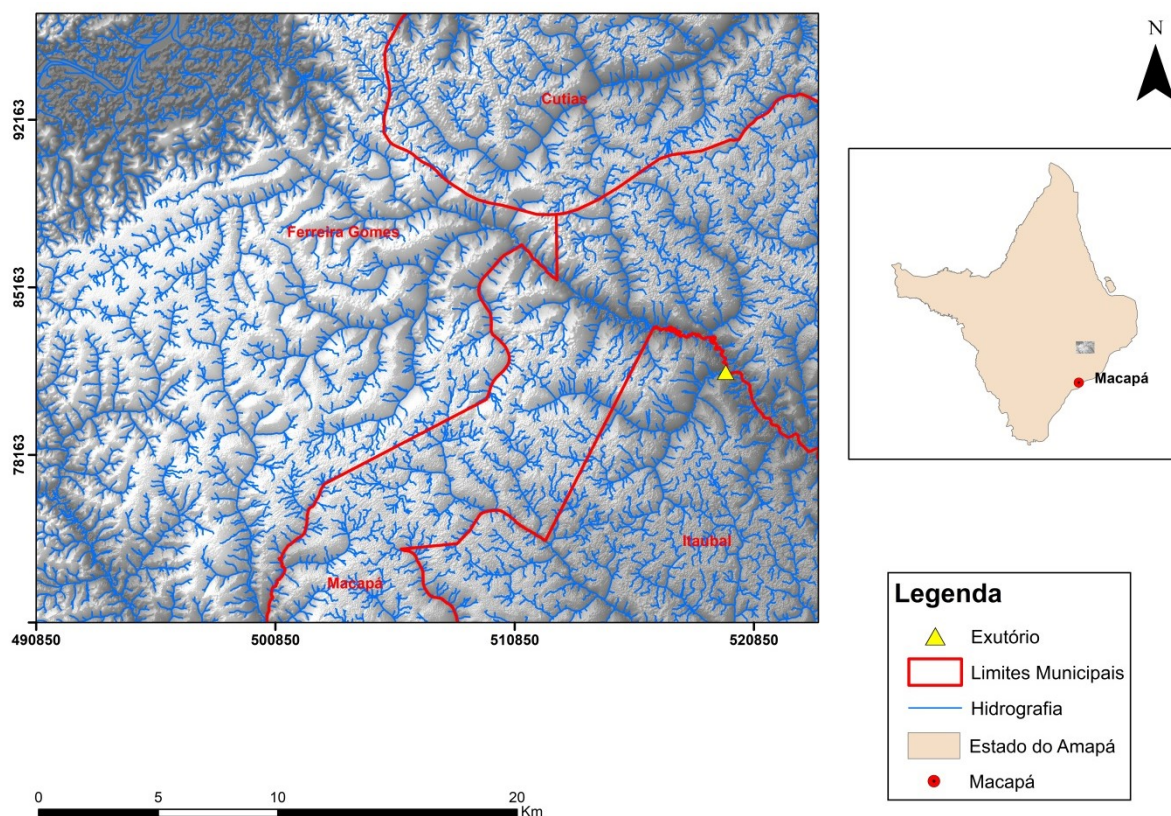


Figura 1. Localização da área de estudo, com representação da rede hidrográfica, limites municipais, exútorio e capital do estado do Amapá.

A principal classe de solo, obtida a partir do recorte da base de dados geográficos do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), é o Latossolo Amarelo Distrófico (LAd), que recobre 97,29% da superfície da bacia (IBGE, 2003). Essa classe de solo diferencia-se quanto à textura, sendo que o LAd de textura média e argilosa ocorre em 58,91% da área, e o LAd de textura argilosa e muito argilosa recobre 38,38% da superfície.

Na área de estudo não existe estação pluviométrica, conforme o inventário da Agência Nacional de Águas (ANA). A estação pluviométrica Carmo (código 8050000) é a mais próxima da área de estudo. Segundo essa estação a precipitação média anual foi de 1.909 mm no período de 1985 a 1998. O período chuvoso, com total mensal acima de 100 mm, inicia-se em dezembro e encerra-se em junho. Nesse período o volume médio das chuvas corresponde a 88,15% do total anual. Os meses mais chuvosos vão de fevereiro a abril, com média mensal superior a 300 mm por mês (303,5 mm). O período mais seco, com precipitação média mensal inferior a 100 mm, vai de julho a novembro, e os meses menos chuvosos são setembro e outubro, com precipitação média mensal de 14,07 mm.



2.2 Delimitação da Bacia Hidrográfica Piririm, AP

O cálculo do fator LS da equação de perda de solo exige a delimitação de uma bacia hidrográfica. Com base na área estudada e no objetivo do projeto Aseam, o Rio Piririm foi escolhido para a delimitação da bacia. Um MDT com resolução espacial 2,5 m na escala 1:25.000, fornecido pelo Governo do Estado do Amapá¹, foi utilizado como base tanto para a delimitação da bacia hidrográfica do Rio Piririm como para o cálculo do fator LS. Foram utilizados os programas InVEST 3.6.0 e ArcGIS 10.6.1.

2.2.1 Método do ArcGIS

Para fins comparativos, a delimitação da bacia hidrográfica do Rio Piririm foi feita utilizando o software ArcGIS 10.6.1 com a extensão *ArchHydro Tools* instalada. O procedimento metodológico para a delimitação da bacia foi feito conforme a metodologia de Camargo et al. (2016).

2.2.2 Método do InVEST

Para a delimitação da bacia hidrográfica, foi utilizada a ferramenta *DelineateIT* do InVEST. Apesar de ser um SIG, a ferramenta não permite criar arquivos específicos em formato *shapefile* e *raster*, o que torna necessária a utilização de outros SIGs, como o ArcGIS e/ou QGIS.

O módulo *DelineateIT* do InVEST precisa de dois arquivos para gerar a delimitação de uma bacia: um MDT (*raster*) e um *Outlet Point* (ponto de controle/exutório) em formato *shapefile* de ponto. O ponto de controle no Rio Piririm foi criado utilizando o *ArchHydro Tools* e a metodologia descrita por Camargo et al. (2016).

Os arquivos foram inseridos no módulo *DelineateIT*, bem como os valores dos parâmetros *Threshold Flow Accumulation* e *Pixel Distance to Snap Outlet Points*, que foram de 1000 e 100, respectivamente. Na Figura 2 é mostrada a interface do módulo *DelineateIT*.

A delimitação da bacia hidrográfica feita usando o InVEST foi comparada à delimitação da bacia com o mesmo exutório feita usando a extensão *ArchHydro Tools* no ArcGIS 10.6.1.

¹ Exército Brasileiro; Governo do Estado do Amapá. Base cartográfica digital contínua do estado do Amapá: Modelo Digital de Terreno (DTM) de 32 bits, resolução espacial de 2,5 m, escala 1:25.000, 2017.

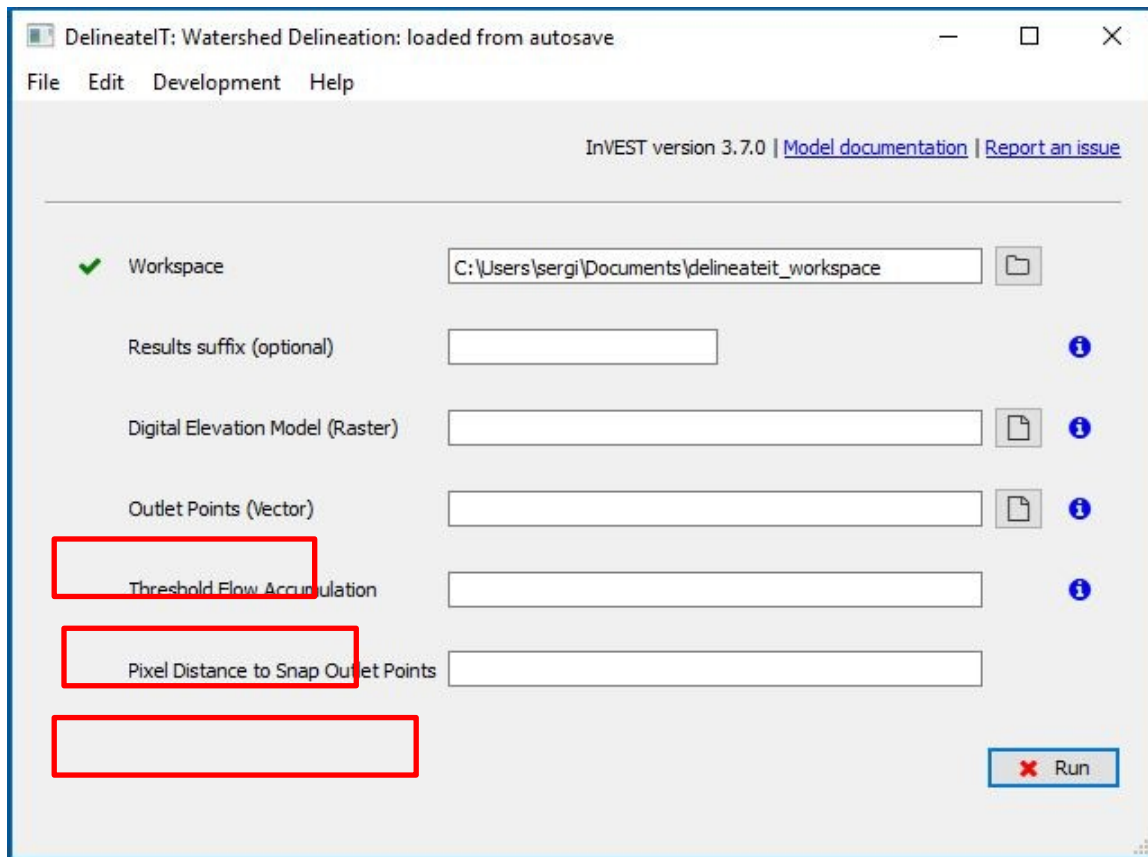


Figura 2. Interface da ferramenta *DelineateIT* do InVEST.

2.3 Declividade

Após a delimitação da bacia, foi elaborado o mapa da declividade usando do MDT e empregando a ferramenta *Slope* do ArcGIS. Utilizando a ferramenta *Reclassify* e com base na classificação proposta pela Embrapa (1979), foram definidas quatro classes de relevo: 0% a 3%, relevo plano; 3% a 8%, suave-ondulado; 8% a 20%, ondulado; e 20% a 45%, forte-ondulado. O arquivo *raster* gerado contém uma tabela de atributos com os valores de pixel por classe. Os valores foram utilizados para calcular a porcentagem de ocorrência de cada classe de relevo na bacia.

3 USO DO MÓDULO SDR DO INVEST

O módulo SDR (*Sediment Delivery Ratio*) do InVEST tem como produto final o cálculo da taxa de sedimento entregue até o fluxo e os pontos de captação (*catchment*), bem como aquele retido pela vegetação e produzido por fatores topográficos (Sharp et al., 2018).

O modelo trabalha com a resolução espacial do MDT e computa, para cada pixel, valores do fator LS da equação de perda anual de solo, entre outros. O SDR pode ser utilizado para calcular o potencial natural de erosão (PNE), a perda anual de solo e a produção de sedimento. A interface do módulo SDR é mostrada na Figura 3.

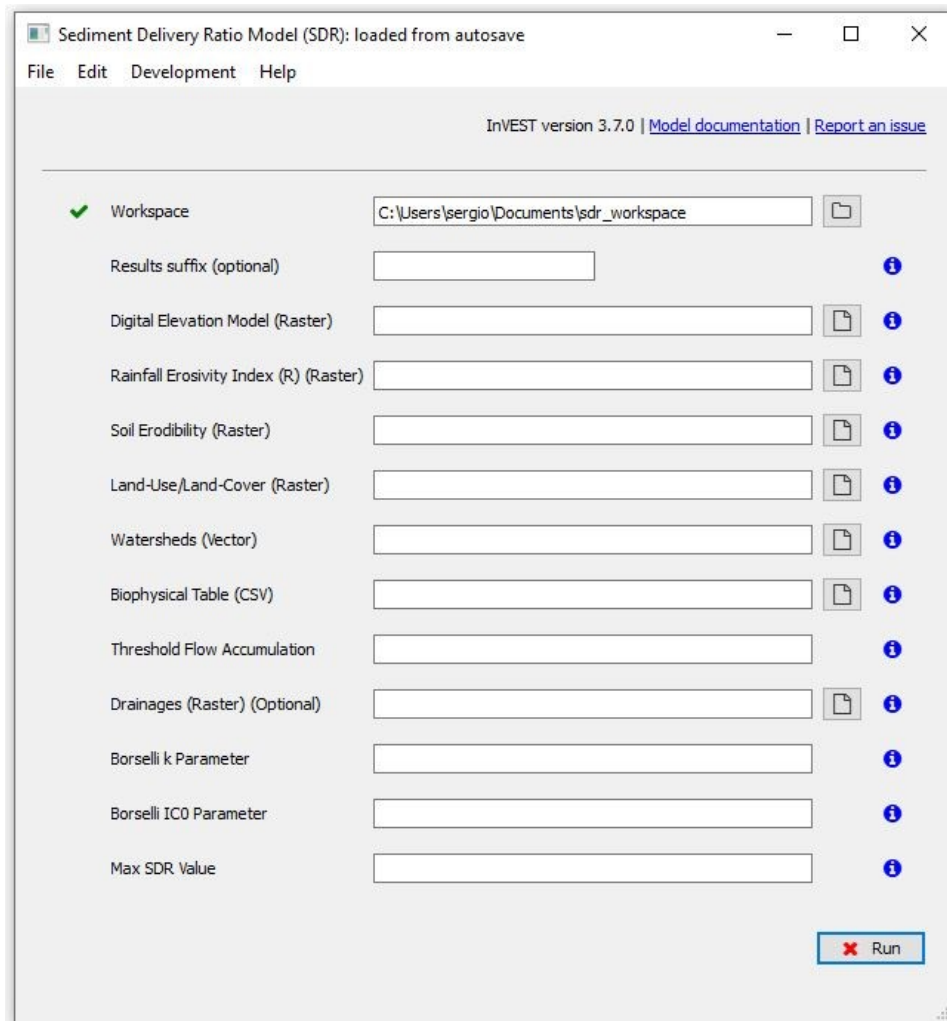


Figura 3. Interface do modulo SDR do InVEST.

Para calcular o fator topográfico (LS) da USLE, todos os demais fatores devem ser iguais ao valor unitário. O módulo requer o MDT e os fatores (R, K, C e P) em formato *raster*. Assim, foi feita uma reclassificação de uma única classe com valor igual a 1, utilizando como base a resolução espacial do MDT. Para a reclassificação e criação do *raster* foi utilizada a ferramenta *Reclassify* do ArcGIS. O *raster* criado foi inserido nos campos *Rainfall Erosivity Index*, *Soil Erodibility* e *Land-use/land-cover*.

O SDR também solicita arquivo em formato *shapefile* do limite da bacia a ser utilizada para o cálculo. Foi inserido o *shapefile* da bacia delimitada usando o módulo *DelineateIT*. Também foi criada uma tabela em formato *csv* contendo os campos *lucode*, *usle_c* e *usle_p*. Os valores inseridos nos parâmetros *Threshold Flow Accumulation*, *Borselli k*, *Borselli IC0* e *Max SDR Value* foram de 1000; 2; 0.5 e 0.8 respectivamente. Os valores dos três últimos parâmetros foram extraídos do "Guia do usuário do InVEST" (Sharp et al., 2018), na seção 5.6.5, referente aos dados necessários para executar o módulo.

Depois de inseridos todos os arquivos e valores requisitados, o módulo foi executado. O arquivo *raster* gerado corresponde ao fator LS da USLE. Um recorte da área da bacia sobre o fator topográfico foi feito utilizando a ferramenta *Clip* (recortar) do ArcGIS.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A bacia hidrográfica do Rio Piririm delimitada pela ferramenta *DelineateIT* do InVEST é mostrada na Figura 4.

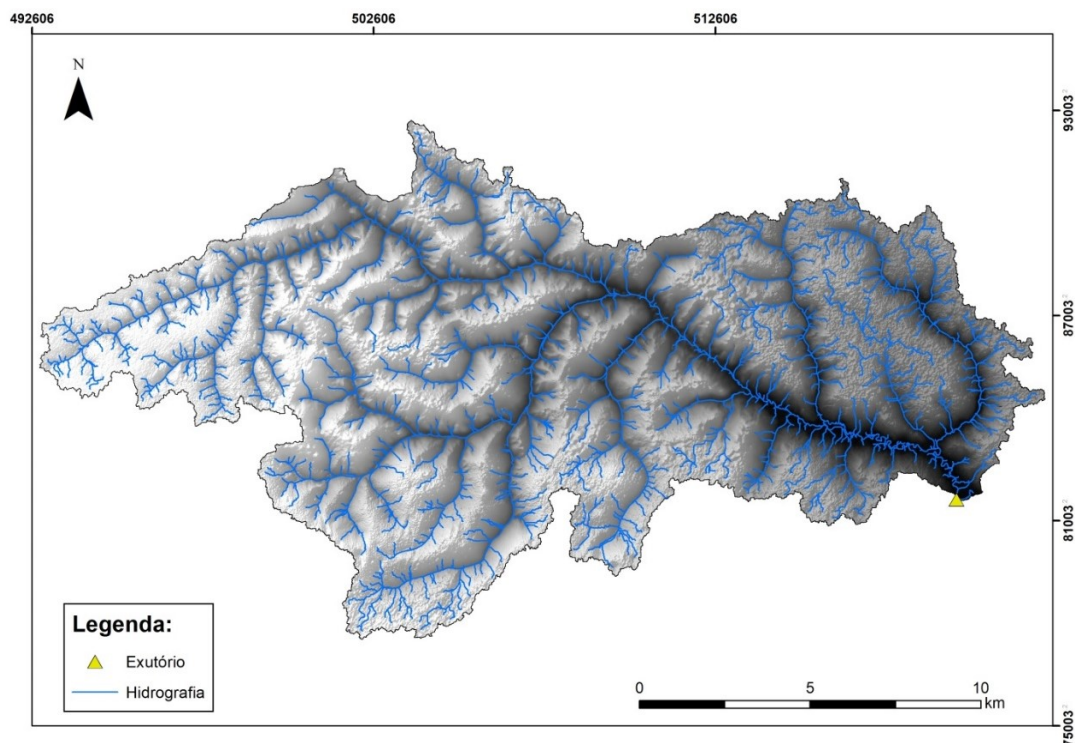


Figura 4. Limite da bacia hidrográfica Pírim (AP) com representação da rede hidrográfica e do exutório.

As bacias delimitadas pelo InVEST e pelo *ArchHydro Tools* foram comparadas quanto à área delimitada. A sobreposição da bacia hidrográfica gerada pelo *DelineateIT* e da bacia delimitada pelo *ArchHydro Tools* foi de 99,904%, assim apenas 0,096% (22 hectares) não foram coincidentes. Esse resultado demonstra que o InVEST, mesmo sendo um software gratuito, de fácil manuseio, apresentou alta precisão para a delimitação de bacias hidrográficas.

A distribuição das classes de relevo na bacia hidrográfica do Rio Piririm é mostrada na Figura 5.

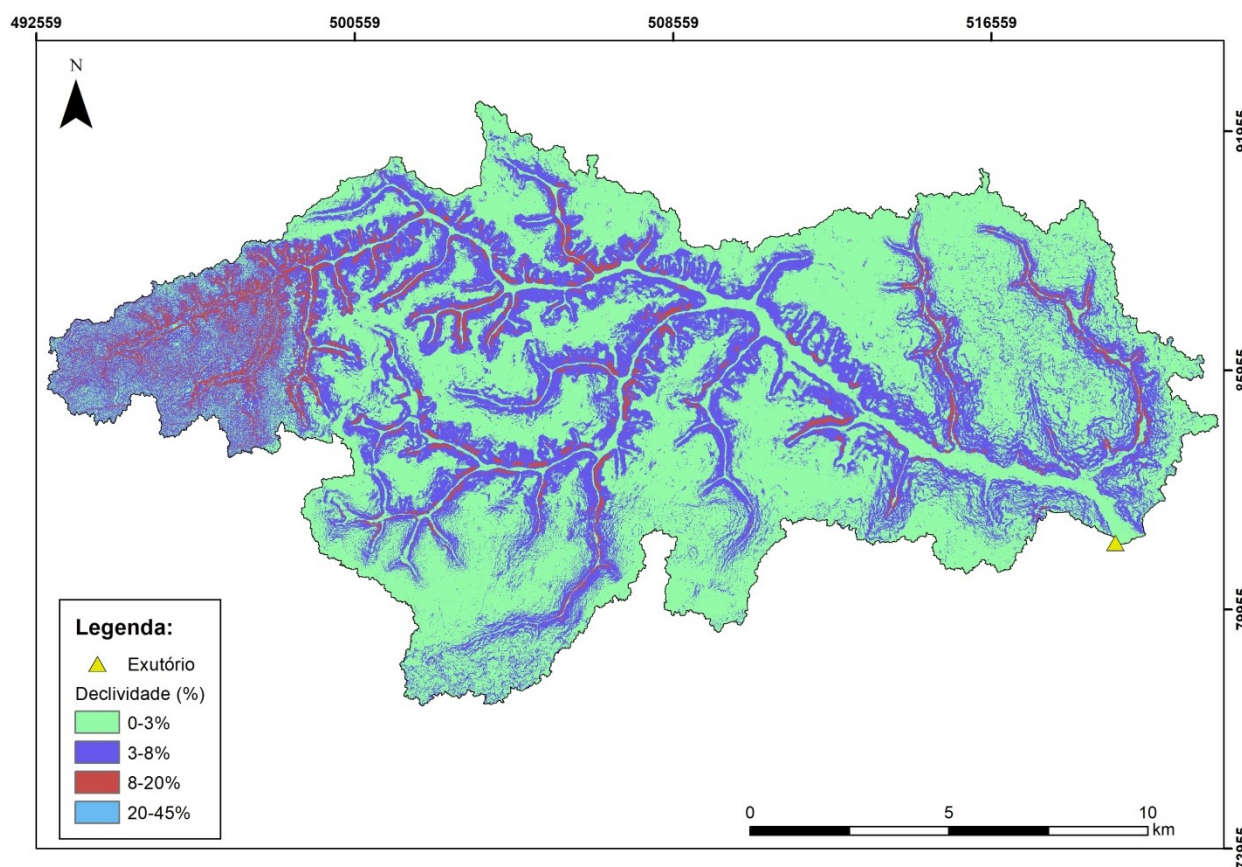


Figura 5. Classes de relevo na bacia hidrográfica do Rio Piririm (AP).

A área estudada apresentou declividade predominante (mais de 95%) de relevo plano e suave-ondulado, com 58,4% e 37%, respectivamente, enquanto os relevos ondulado e forte-ondulado representaram 4,6% e 0,05% da área estudada, respectivamente.

A distribuição do fator LS da USLE, estimado pelo módulo SDR do InVEST, é mostrada na Figura 6.

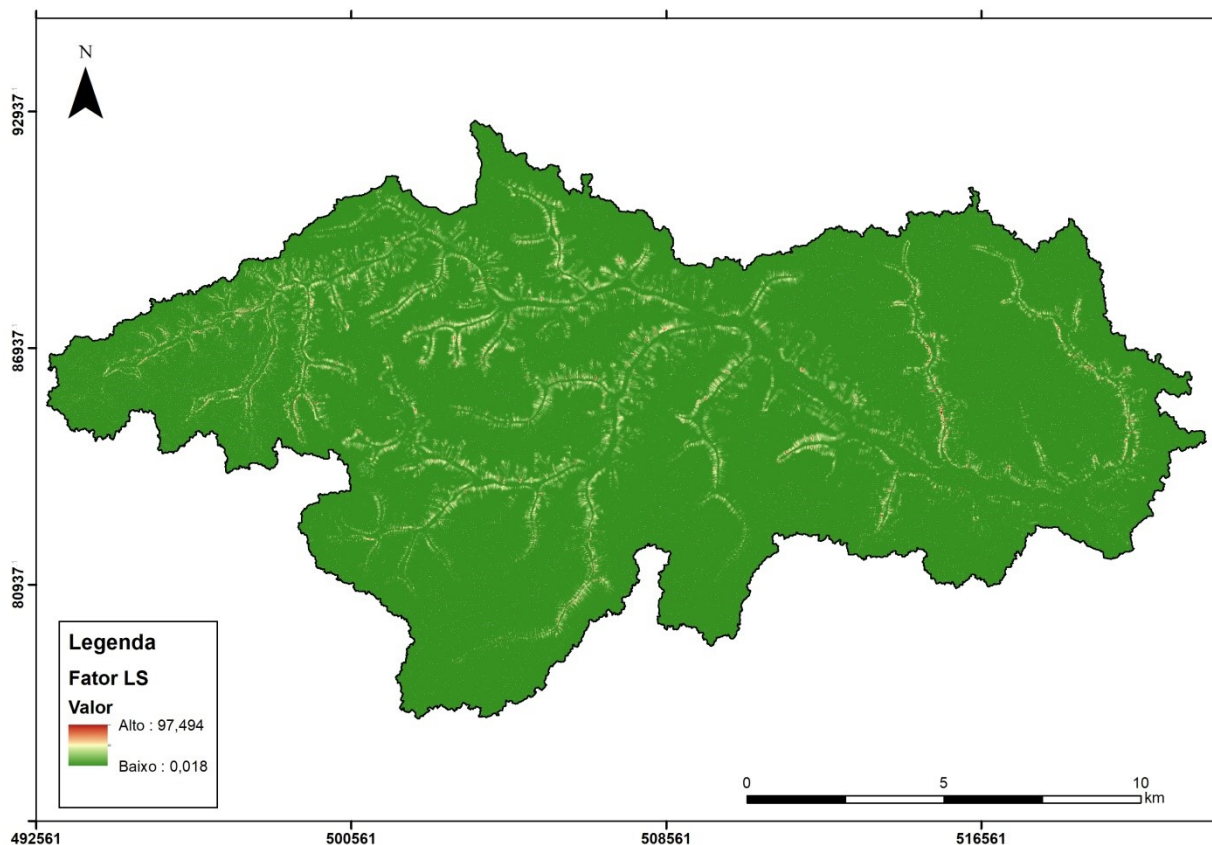


Figura 6. Distribuição do fator LS da USLE na bacia hidrográfica do Rio Pírim (AP).

O valor máximo para o fator LS computado na bacia foi de 97,494, enquanto o mais baixo foi de 0,018 e a média foi de 0,787. Áreas com maiores valores de LS são mais sujeitas ao risco de erosão hídrica e, portanto, o seu uso e manejo devem ser mais criteriosos.

As áreas próximas aos recursos hídricos obtiveram valores de LS mais altos (Figura 6), portanto o uso/cobertura dessas terras merece especial atenção. Nessas áreas, a proteção permanente (APPs) é fundamental para reduzir a perda de solo.

5 CONCLUSÃO

A ferramenta *DelineateIT* do software InVEST possibilitou a delimitação da bacia hidrográfica do Rio Pírim (AP) de forma simples e com grande acurácia. O módulo SDR do InVEST possibilitou a estimativa do fator topográfico (LS) da USLE e com a vantagem de ser um software livre, com grande potencial para quantificação e valoração de diversos serviços ambientais e ecossistêmicos. O software atendeu as demandas propostas neste trabalho e apresenta potencial para uso em outros objetivos previstos pelo projeto Aseam, financiado pelo Fundo Amazônia.



6 AGRADECIMENTOS

Ao CNPq, pela concessão de bolsa PIBIC; à Embrapa Territorial, pela oportunidade de pesquisa no projeto “Construção do conhecimento e sistematização de experiências sobre valoração e pagamento por serviços ecossistêmicos e ambientais no contexto agricultura familiar amazônica (Aseam)”.

7 REFERÊNCIAS

CAMARGO, A. A.; GALDINO, S.; QUARTAROLI, C. F. Delimitação de bacias hidrográficas utilizando modelo digital de terreno gerado a partir de mapas topográficos e imagens de alta resolução espacial. In: CONGRESSO INTERINSTITUCIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA 10., 2016, Campinas. **Anais...** Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2016. 1 p.

DESMET, P. J.; GOVERS, G. A GIS procedure for automatically calculating the USLE LS factor on topographically complex landscape units. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 51, n. 5, p. 427-433, 1996.

EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Súmula da 10ª reunião técnica de levantamento de solos**. Rio de Janeiro: Embrapa, 1979. 83 p. (Embrapa-SNLCS. Miscelânea, 1).

IBGE. **Banco de dados geográfico da Amazônia Legal**: mapa de pedologia. 2003. Disponível em: <https://downloads.ibge.gov.br/downloads_geociencias.htm>. Acesso em: 29 abr. 2019.

SHARP, R.; TALLIS, H. T.; RICKETTS, T.; GUERRY, A. D.; WOOD, S. A.; CHAPLIN-KRAMER, R.; NELSON, E.; ENNAANAY, D.; WOLNY, S.; OLWERO, N.; VIGERSTOL, K.; PENNINGTON, D.; MENDOZA, G.; AUKEMA, J.; FOSTER, J.; FORREST, J.; CAMERON, D.; ARKEMA, K.; LONSDORF, E.; KENNEDY, C.; VERUTES, G.; KIM, C. K.; GUANNEL, G.; PAPENFUS, M.; TOFT, J.; MARSIK, M.; BERNHARDT, J.; GRIFFIN, R.; GLOWINSKI, K.; CHAUMONT, N.; PERELMAN, A.; LACAYO, M. MANDLE, L.; HAMEL, P.; VOGL, A. L.; ROGERS, L.; BIERBOWER, W.; DENU, D.; DOUGLASS, J. **InVEST 3.7.0.post9+ug.h12fced18548 User’s Guide**. The Natural Capital Project; Stanford University; University of Minnesota; The Nature Conservancy; World Wildlife Foundation, 2018. 308 p.

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