

Carta de áreas prioritárias à recuperação para a microbacia do córrego Curupaí, Mato Grosso do Sul

Map of priority areas to recovery for the Curupaí stream watershed, Mato Grosso do Sul – Brazil

Mapa de áreas prioritarias para la recuperación de la microcuenca del arroyo Curupaí, Mato Grosso do Sul - Brasil

Recebido: 20/04/2022 | Revisado: 27/04/2022 | Aceito: 02/05/2022 | Publicado: 04/05/2022

Bruna Alves de Souza

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1347-8217>
Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Brasil
E-mail: bruh-as@hotmail.com

Vinícius de Oliveira Ribeiro

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4373-1132>
Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Brasil
E-mail: vinicius.ribeiro@uems.br

Nelison Ferreira Correa

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4210-0619>
Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Brasil
E-mail: nelison_ferreira@hotmail.com

João Lucas Alves da Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7293-3553>
Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Brasil
E-mail: jlalves@pm.me

Jonailce Oliveira Diodato

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0463-9456>
Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Brasil
E-mail: jodiodato@gmail.com

Lucimara Gonçalves Narcizo

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0156-1902>
Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Brasil
E-mail: lucinhanarcizo@gmail.com

Resumo

Dados que compõem a Equação Universal de Perdas de Solo (USLE), bem como a Temperatura de Superfície Terrestre (TST) são fatores qualitativos fundamentais no uso e conservação do solo, e, em geral, analisados individualmente. O objetivo deste trabalho foi identificação de áreas prioritárias à recuperação na bacia hidrográfica do Córrego Curupaí/ MS. Para tanto, elaboraram-se cartas específicas referentes a cada fator componente da USLE, além da confecção da carta de Temperatura de Superfície Terrestre (TST), em ambiente SIG. Na sequência, as cartas de estimativa de perda anual de solo (Fator A) e de temperatura de superfície foram reclassificadas para obtenção da carta de áreas prioritárias para recuperação. Como resultado, a Carta de Índice de Áreas Prioritárias para Recuperação (IAP) apontou áreas de média e alta prioridades, que, isoladamente, as componentes de USLE e TST indicavam como de baixa prioridade. A integração dos fatores mencionados mostrou potencial para identificação de áreas ambientalmente sensíveis com análise de múltiplos parâmetros simultâneos.

Palavras-chave: EUPS; TST; Bacia hidrográfica; IAP.

Abstract

Data composing the Universal Soil Loss Equation (USLE) and the Land Surface Temperature (LST) are fundamental qualitative and quantitative factors in the use and soil conservation and are analyzed individually. This work aims to identify priority areas for recovery in the Curupaí/ MS-Brazil stream watershed. First, specific maps were prepared to this end to refer to each component factor of the USLE and Land Surface Temperature (LST) in a GIS environment. Subsequently, the annual soil loss estimation (Factor A) and surface temperature maps were reclassified to obtain the map of priority areas for recovery. As a result, the Priority Areas for Recovery Index (IAP) map identified medium and high priority areas, which the USLE and LST components alone indicated low priority. Furthermore, integrating the mentioned factors showed potential for identifying environmentally sensitive areas by analyzing multiple simultaneous parameters.

Keywords: USLE; LST; Basin; IAP.

Resumen

Los datos que componen la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE), así como la Temperatura Superficial de la Tierra (TST) son factores cualitativos y cuantitativos fundamentales en el uso y conservación del suelo, y, en general, analizados individualmente. El objetivo de este trabajo es identificar áreas prioritarias para la recuperación en la cuenca del arroyo Curupá/MS - Brasil. Para ello, se elaboraron cartas específicas referentes a cada factor componente de la USLE, además de la elaboración de la carta de Temperatura de la Superficie Terrestre (TST), en un entorno SIG. Posteriormente, se reclasificó la estimación anual de pérdida de suelo (Factor A) y los mapas de temperatura superficial para obtener el mapa de áreas prioritarias para la recuperación. Como resultado, el mapa del Índice de Áreas Prioritarias para la Recuperación (IAP) identificó áreas de prioridad media y alta, que los componentes USLE y TST por sí solos indicaron como de baja prioridad. La integración de los factores mencionados mostró potencial para la identificación de áreas ambientalmente sensibles con el análisis de múltiples parámetros simultáneos.

Palabras clave: EUPS; TST; Cuenca hidrográfica; IAP.

1. Introdução

Compreende-se a erosão hídrica como um acontecimento natural, decorrente da relação entre o solo e as chuvas, contudo, tal interação é acentuada por aspectos como o manejo inadequado do solo e a remoção da cobertura vegetal. Wang et al. (2016) afirma que, estes fatores proporcionam perdas de solo e nutrientes, que resultam em assoreamento e poluição de corpos hídricos. A ação da chuva, em solos desprotegidos, causa a ruptura dos agregados do solo, acarretando o selamento superficial, reduzindo a capacidade de infiltração da água além do adensamento do mesmo (Guerra et al., 2012; Falcão et al., 2020).

Em consequência disso, torna-se essencial tomar conhecimento antecipado da suscetibilidade do processo erosivo do solo em uma determinada localidade, para que assim, medidas atenuantes possam ser tomadas. Portanto, o estudo ambiental proporciona uma tomada de decisões com enfoque harmônico, levando em consideração o desenvolvimento sustentável (Costa, 2005; Colman et al. 2022).

Conforme Pereira et al. (2015), diversas áreas objetivando avaliar os riscos de erosão laminar hídrica dos solos, utilizam o modelo da Equação Universal de Perdas de Solo – EUPS ou USLE, do inglês *Universal Soil Loss Equation* (Wischmeier & Smith, 1978) como ferramenta de análise. Wischmeier e Smith (1978) apresentam a equação como um instrumento relevante na investigação sobre o processo erosivo, pois, baseando-se nas particularidades e propriedades dos fatores ambientais, responsáveis pelas perdas de solos, possibilita-se a divisão da paisagem em níveis de instabilidade, permitindo ações mais efetivas de planejamento ambiental e aprimoramento do uso dos recursos naturais.

Outra técnica utilizada para a classificação de áreas prioritárias à recuperação, é a Temperatura de Superfície Terrestre-TST (Zolin et al., 2020). As trocas e o balanço de energia superficial são resultados da relação entre a radiação e a cobertura terrestre, essas podem evidenciar situações em relação ao clima urbano, ao nível de planejamento, a qualidade de vida da população, a concentração de vegetação, e, de certa forma, a vigor do solo (Sousa, 2012).

Entre as estratégias que podem auxiliar na melhoria das condições ambientais do solo estão as Áreas de Preservação Permanente-APP, definidas pelo Código Florestal (Brasil, 2012) com a finalidade preservar os recursos hídricos, a paisagem, a biodiversidade e o bem-estar público além de mitigar os processos de erosão e deslizamentos, dificultando, assim, o assoreamento de corpos hídricos (Hupp, 2013). Complementarmente, a preservação e a recuperação das APP visam garantir maior conforto ambiental, amenizando as temperaturas e elevando a umidade do ar (Schäffer et al., 2011; Cunha et al., 2022).

Diante do exposto, o teve como propósito a criação de uma carta de áreas prioritárias à recuperação na bacia hidrográfica do Córrego Curupá, em Mato Grosso do Sul, baseando-se simultaneamente na USLE e na TST, conforme metodologia proposta por Zolin et al. (2020).

2. Metodologia

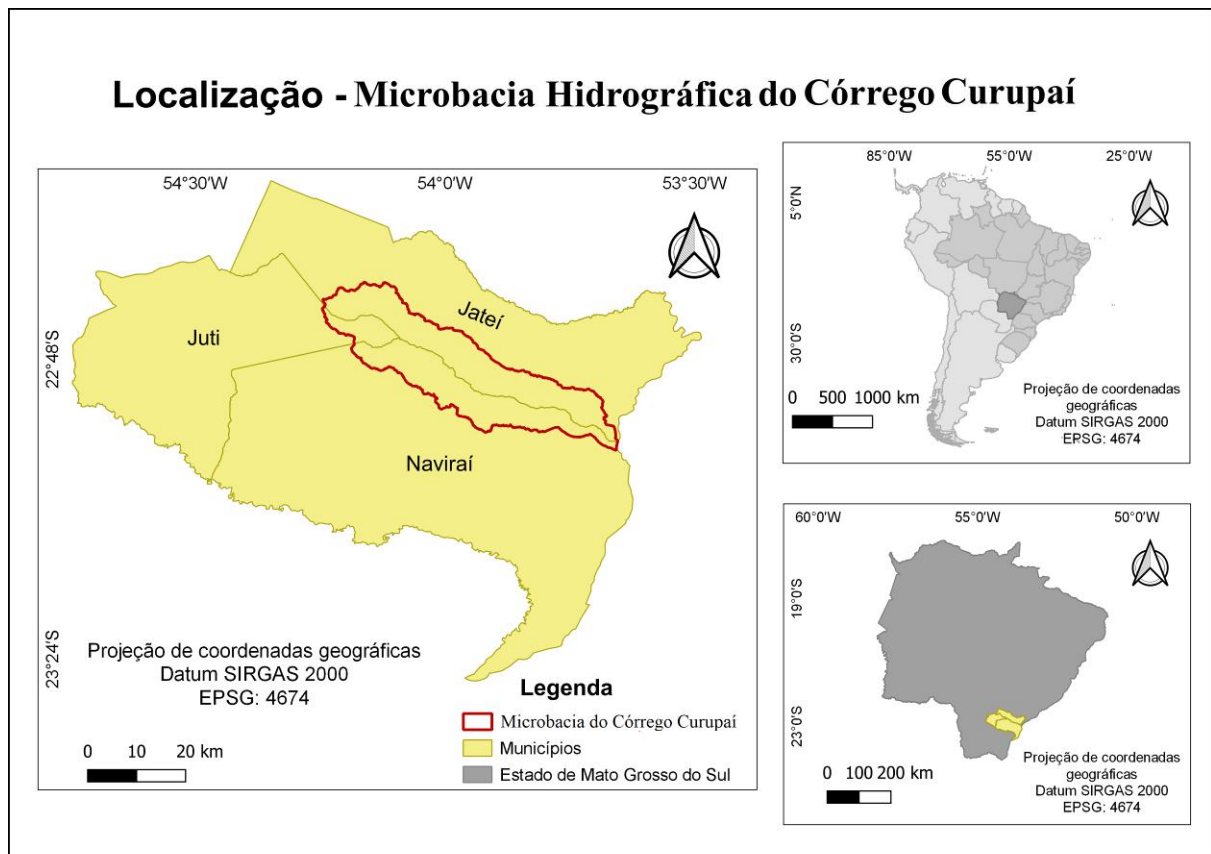
Para estimar a erosão hídrica laminar, utilizou-se o modelo digital de superfície - MDS SRTM (*Shuttle Radar Topograph Mission*) (USGS, 2000), que possui 30 m de resolução espacial e as imagens do satélite Landsat 8, órbita ponto 224/76, com data de passagem de 23/09/2020, com 30 m de pixel (Earth Explorer, 2021). Com relação à carta de temperatura de superfície, empregou-se apenas a banda de número 10 do satélite mencionado acima.

Foram usados ainda, arquivos vetoriais em formato shapefile, representativos do limite político-administrativo e da carta de solos do Estado de Mato Grosso do Sul, obtidos no Sítio do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, além das redes hidrográficas nacionais (arquivo do tipo linha) adquiridas na mesma plataforma, todos convertidos para o Datum SIRGAS 2000. Todos os processos e etapas do projeto foram executados com o auxílio do software livre e gratuito QGIS 3.12.0 (Qgis Development Team, 2020).

2.1 Caracterização da Área de Estudo

A área de estudo refere-se à microbacia do Córrego Curupaí, localizada entre os municípios de Jateí, Juti e Naviraí (Figura 1), Mato Grosso do Sul. A microbacia apresenta uma área de 818,36 Km².

Figura 1. Localização da microbacia hidrográfica do Córrego Curupaí/ MS.



Fonte: Autores (2022).

Localizada na Microrregião Geográfica (MRG) de Iguatemi (Jateí e Naviraí) e Dourados (Juti), o clima da região, segundo a classificação de Köppen, é considerado subtropical úmido – subtipo Cfa, com inverno brando e verão quente com temperatura média de 23°C e precipitação anual média entre 1.400 mm a 1.750 mm. Com um relevo fortemente plano verifica-se a dominância de Latossolo Vermelho-escuro de textura média (MS, 2015). Com relação à vegetação, a bacia está inserida na

área de incidência do Bioma Mata Atlântica da Planície do rio Paraná, incluindo formações florestais de floresta estacional semidecidual e floresta estacional decidual, matas ciliares e remanescentes incrustados nos Biomas Cerrado e Pantanal.

2.2 Delimitação da Microbacia Hidrográfica

A delimitação automática foi obtida com o auxílio do pacote de algoritmos GRASS, instalado no QGIS 3.12.0 (Qgis Development Team, 2020). Através do algoritmo *watershed*, foi possível elaborar os segmentos de fluxo e direções de drenagem, sendo empregado o número de convergência de equivalente a 500. Por meio do algoritmo *water outlet* definiu-se a área de influência da microbacia, considerando-se o seu ponto de exutório, permitindo a definição da área da bacia de estudo.

2.3 USLE

2.3.1 Obtenção do Mapa do Fator Topográfico - Fator (LS)

Os fatores L e S foram obtidos de forma conjunta, desse modo, como input empregou-se o SRTM (USGS, 2000) na ferramenta *r.watershed* e *Slope lenght and steepness (LS) factor for USLE*.

2.3.2 Obtenção da Carta de Uso, Manejo e Práticas Conservacionistas - Fator (CP)

O fator C (cobertura vegetal e seu manejo) e o fator P (práticas conservacionistas) foram obtidos conjuntamente, para avaliação a perda de solo por erosão. Sua obtenção deu-se por meio do plugin Dzetsaka, que realizou a classificação semiautomática supervisionada da imagem de satélite Landsat 8, órbita ponto 224/76, com data de passagem em 23/09/2020, utilizando-se, para tanto, as bandas 4, 3 e 2 (composição *red-green-blue/ RGB*). Além disso, a banda pancromática (banda 8) foi fusionada para a obtenção de uma resolução espacial da cena colorida de 15 (quinze) metros. As classes de uso e ocupação estão estabelecidas na Tabela 1, assim como os valores de CP adotados conforme sugerido por Oliveira (2012).

Tabela 1. Valores adotados para o fator CP conforme as classes de uso do solo.

| Classes | Fator CP |
|--------------------------------|----------|
| Áreas artificiais | 0 |
| Solo exposto | 1 |
| Corpos hídricos e áreas úmidas | 0 |
| Florestas e áreas seminaturais | 0,0007 |
| Áreas agrícolas | 0,25 |

Fonte: Adaptado de Oliveira (2012).

2.3.3 Obtenção da Carta de Erosividade da Chuva – Fator (R)

A carta de erosividade da chuva do Estado de Mato Grosso do Sul (MS) utilizada neste trabalho foi a desenvolvida por Oliveira et al. (2012). Oliveira et al., para a confecção dela, utilizou-se de dados e informações de três estações pluviométricas das cidades de Campo Grande, Dourados e Coxim, em conjunto com referências de precipitação de 109 estações pluviométricas do Estado de Mato Grosso do Sul disponíveis no Sistema de Informações Hidrológicas da Agência Nacional de Águas (HidroWeb).

2.3.4 Obtenção da Carta de Erodibilidade do Solo – Fator (K)

Este fator foi obtido a partir do Mapa Pedológico do Brasil, em escala 1: 250.000 (IBGE, 2011). Após a sua inserção no SIG, realizou-se o recorte conforme o limite da microbacia hidrográfica de interesse.

A nomenclatura da classificação dos solos já se apresentava atualizada de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos - SiBCS (Embrapa, 2013), sendo os valores de K alocados em um novo campo na tabela de atributos do arquivo. Os valores e as bibliografias de referência foram dispostos na tabela 2.

Tabela 2. Diferentes valores de K e suas respectivas referências bibliográficas variando conforme as classes de solo.

| Classificação do solo (EMBRAPA, 2013) | Fator K (ton.ha.h/ ha.MJ.mm) | Bibliografia consultada |
|---------------------------------------|------------------------------|-------------------------|
| Gleissolo Háptico Tb Eutrófico | 0,0148 | Embrapa (2011) |
| Latossolo Vermelho Distrófico | 0,0120 | Paranhos Filho (2000) |
| Neossolo Quartzarênico Órtico | 0,0886 | Embrapa (2009) |
| Planossolo Háptico Distrófico | 0,0921 | Embrapa (2011) |

Fonte: Autores (2022).

2.3.5 Carta de Estimativa de Perda de Solo – Fator A

Com o auxílio da calculadora raster, todos os fatores que compõem a USLE foram integrados, e como resultado obteve-se a carta da Estimativa de Perda Anual de Solo para a microbacia hidrográfica do Córrego Curupaí (Figura 6).

$$A = R * K * (LS) * (CP) \quad (\text{Equação 1})$$

Onde: A = Perda média anual de solo por unidade de área ($\text{ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$); R = Erosividade da chuva ($\text{MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$); K = Erodibilidade do solo ($\text{ton.ha.h.ha}^{-1}.\text{MJ}^{-1}.\text{mm}^{-1}$); LS = Comprimento da vertente e declividade da vertente; CP = Uso e manejo do solo e práticas conservacionistas.

2.4 TST

Para a obtenção dos dados de temperatura da superfície (TST) empregou-se a banda 10, correspondente ao Infravermelho Termal do Landsat 8 (órbita-ponto 224/076, com data de passagem em 23 de setembro de 2020).

O processamento dos dados contidos na imagem foi realizado com a assistência da ferramenta calculadora raster para a conversão do *Digital Number* (DN) para valores de radiância espectral (Equação 1), seguida da transformação da reflectância para temperatura em Kelvin (Equação 2) e, finalmente, a conversão do resultado para Celsius (Equação 3). As equações empregadas foram disponibilizadas pelo Serviço Geológico Americano (USGS).

$$L_{\lambda} = M_L * Q_{cal} + A_L \quad (\text{Equação 2})$$

Onde: L_{λ} = Radiância espectral do sensor ($\text{W}.\text{m}^2.\text{sr}.\mu\text{m}^{-1}$); M_L = Fator multiplicativo de redimensionamento da banda 10 (0,00033420); Q_{cal} = Valor do pixel em DN (Banda 10); A_L = Fator de redimensionamento aditivo específico da banda 10 (0,10000).

$$T = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_\lambda} + 1\right)} \quad (\text{Equação 3})$$

Onde: T = Temperatura efetiva no satélite em Kelvin (K); K_2 = Constante de calibração 1 (774,89 K); K_1 = Constante de calibração 2 (1.321,08 K); L_λ = Radiância espectral do sensor ($W.(m^2.sr.\mu m)^{-1}$).

$$T_{\text{c}} = T_K + 273,15 \quad (\text{Equação 4})$$

Onde: T_{c} = Temperatura da superfície terrestre em °C; T_K = Temperatura da superfície terrestre em K.

Posteriormente, utilizou-se uma escala cromática de pseudocores na imagem resultante (Zolin et. al., 2020), de modo que as temperaturas pudessem ser visualizadas com maior clareza (Figura 7).

2.5 Índice de Áreas Prioritárias

As cartas de TST e do Fator A da USLE foram reclassificadas utilizando-se o plugin r.reclass, presente no pacote de algoritmos GRASS. Para o fator A foram atribuídos pesos de 1 a 3, conforme metodologia proposta por Zolin et. al. (2020) e Salis, Costa e Viana (2019), para áreas de terreno plano à suavemente ondulado (Tabela 3), sendo 1 as áreas com maior prioridade e 3 áreas com menor prioridade.

Tabela 3. Pesos atribuídos à perda de solos, adaptado de Zolin (2020) e Salis, Costa e Viana (2019).

| Perda de solo (ton. ha ⁻¹ . ano ⁻¹) | Peso | Nível de prioridade |
|--|------|---------------------|
| > 5 | 1 | Alto |
| 3 - 5 | 2 | Médio |
| 0 - 3 | 3 | Baixo |

Fonte: Adaptado Zolin (2020) e Salis, Costa e Viana (2019).

Para a TST, conforme proposição de Zolin et. al. (2020), a distribuição de pesos seguir o estabelecido na Tabela 4, na qual o peso 1 área com maior prioridade e o peso 3 áreas menor prioridade de recuperação, de acordo com a temperatura de superfície.

Tabela 4. Pesos atribuídos à temperatura de superfície adaptado de Zolin (2018).

| Temperatura de superfície (°C) | Peso | Nível de prioridade |
|--------------------------------|------|---------------------|
| 30 - 36 | 1 | Alto |
| 25 - 30 | 2 | Médio |
| 21 - 25 | 3 | Baixo |

Fonte: Adaptado Zolin (2018).

O Índice de Áreas Prioritárias é obtido pela interação dos fatores A e TST, através da equação 5, onde: **IAP** = Índice de Áreas Prioritárias para Recuperação; **TST** = Temperatura de Superfície Terrestre, em °C; **USLE** = Estimativa de perda de solo por erosão hídrica laminar, em ton. ha⁻¹. ano⁻¹.

$$IAP = \frac{(TST * 2) + USLE}{3} \quad (\text{Equação 5})$$

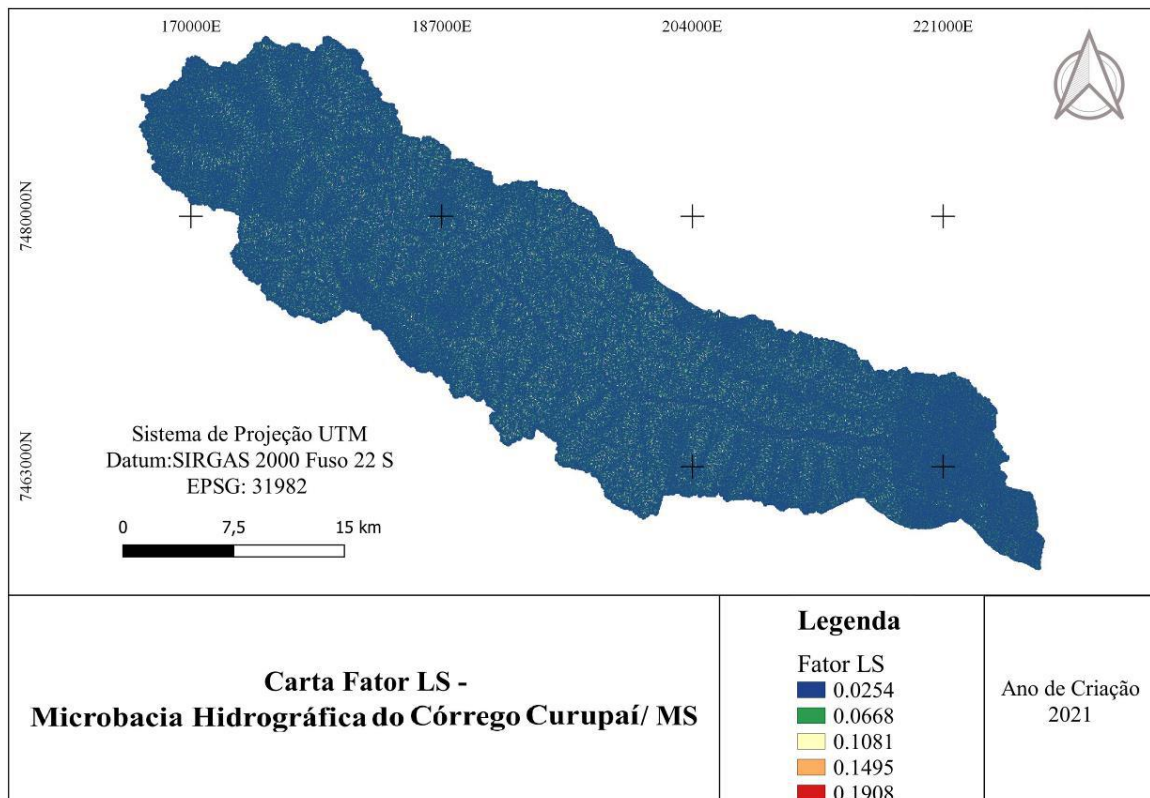
2.6 Áreas de Preservação Permanente – APP

Gerada a carta de índice IAP para toda a bacia, efetuou-se uma análise das áreas de APP da microbacia. Para tal, a partir da vetorização dos cursos de água, tendo por base a cena Landsat 8 fusionada com sua banda pancromática (resolução espacial de quinze metros), aplicou-se a ferramenta “*Variable distance buffer*” para a definição das APP, sendo de 30 metros para as matas ciliares (para córregos e/ou rios com largura inferior a 10 metros), e 50 metros para as nascentes e matas ciliares cujos cursos hídricos apresentavam largura entre 10 e 50 metros. Posteriormente, realizou-se a sobreposição dos vetores das APP com a carta de IAP para avaliação.

3. Resultados e Discussão

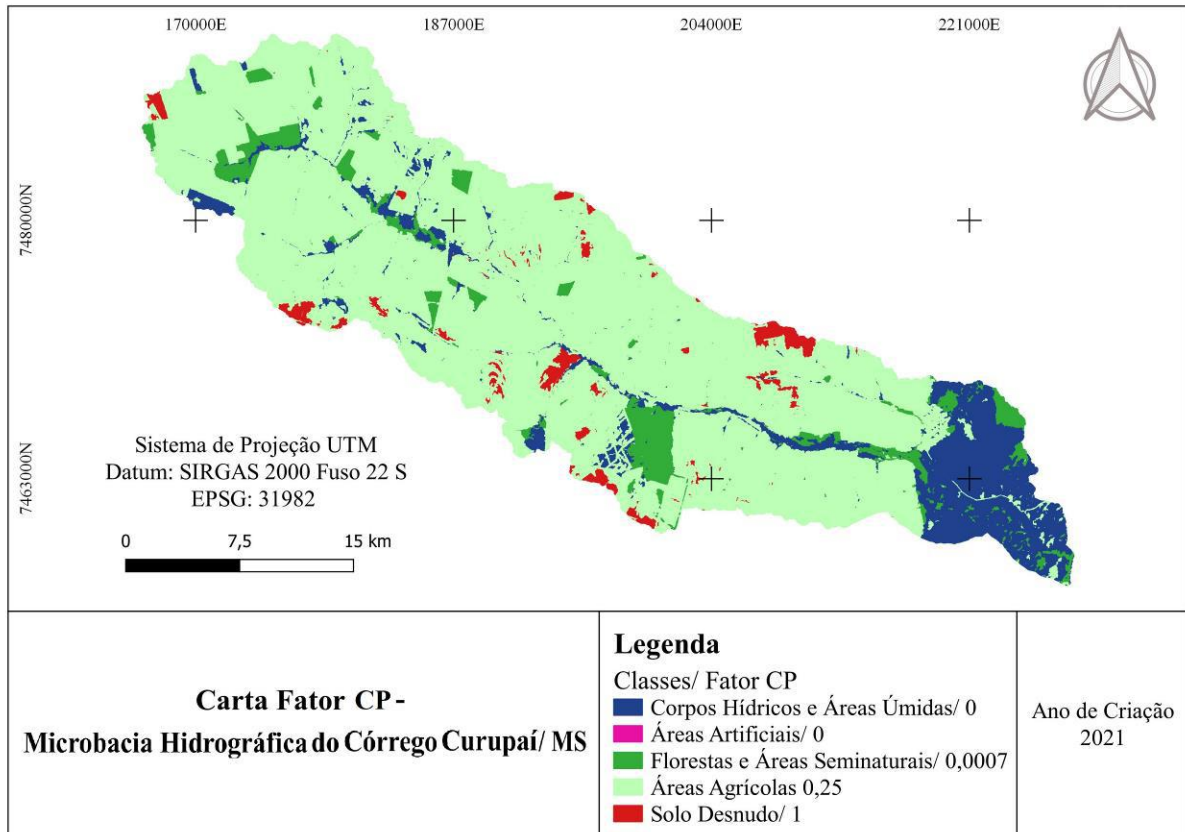
A carta que representa o Potencial Topográfico de Erosão Hídrica Laminar (Fator LS) apresenta valores com variação entre 0 e 0,19, com predominância dos valores entre 0 e 0,06 (Figura 2). Valores reduzidos para tal fator auxiliam para menores taxas de escoamento superficial, e, portanto, desfavorece a erosão hídrica laminar. Apesar de não apresentar um relevo acentuado, o fator LS desempenha um importante papel no processo erosivo, contudo, apenas a sua análise isolada não é suficiente para determinar o grau dos processos erosivos na área de estudo.

Figura 1. Carta do fator topográfico da microbacia hidrográfica do Córrego Curupaí/ MS – Fator LS.



Percebe-se na carta do fator CP, que os valores variam de 0 a 1, sendo o valor 0 a representação de corpos hídricos, áreas úmidas e artificiais, o valor de 0,0007 relacionado a locais com cobertura vegetal densa, o valor de 0,25 associado a áreas com pouca ou nenhuma vegetação (áreas cultiváveis, pastagens e áreas urbanas) e o valor 1 que diz respeito ao solo exposto (Figura 3).

Figura 2. Carta de uso e cobertura do solo e práticas conservacionistas da microbacia hidrográfica do Córrego Curupáí/ MS – Fator CP.

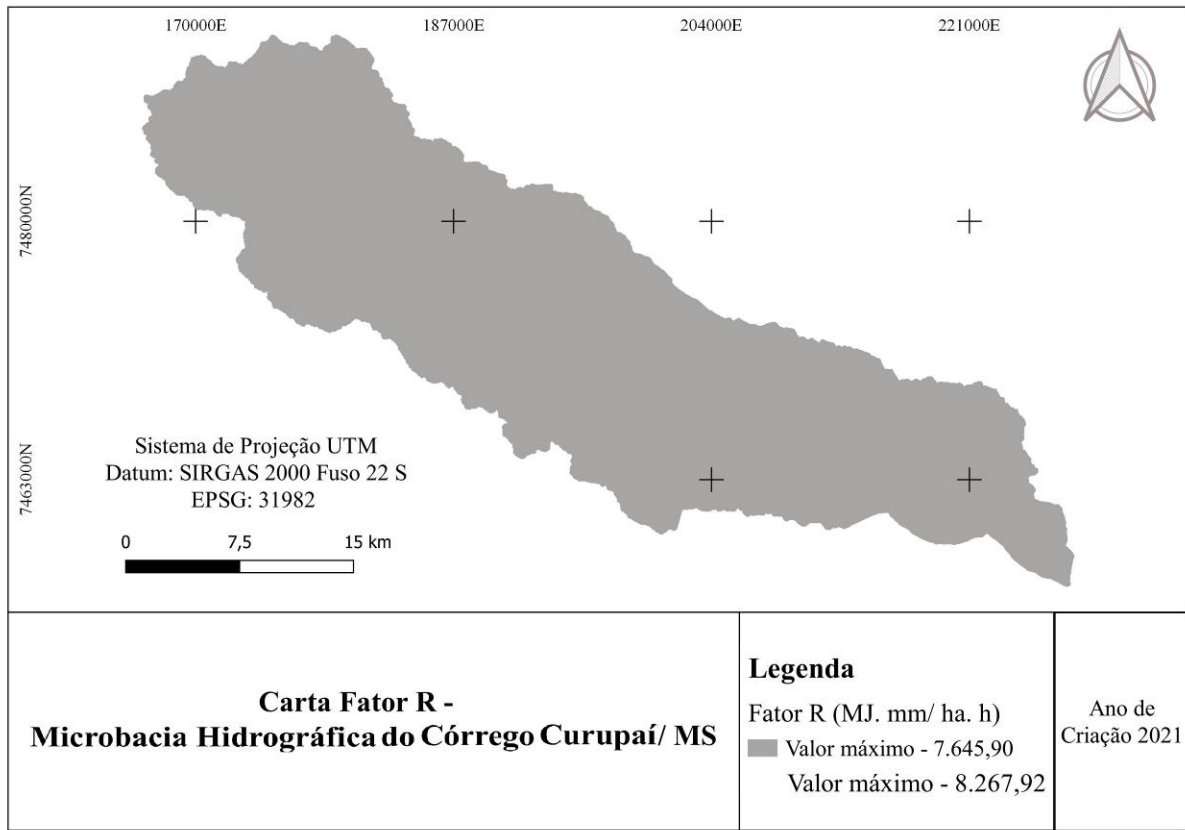


Fonte: Autores.

A existência de cobertura vegetal, assim como a sua densidade, afeta diretamente no processo erosivo. Regiões com solo desnudo ou com vegetação rala tendem a sofrer mais com a erosão do que áreas densamente cobertas. Ou seja, quanto maior a densidade de cobertura vegetal, menor a perda de solo por erosão, uma vez que ela auxilia na proteção e estabilidade da superfície, possibilitando menor suscetibilidade ao desprendimento das partículas do solo (Cunha et al., 2022).

Sendo este fator associado às características pluviométricas da área de estudo, observa-se valores distintos ao longo da microbacia hidrográfica que variam de 7.645,90 MJ.mm/ha.h a 8.267,92 MJ.mm/ha.h (Figura 4). O intervalo verificado para a variável em questão, segundo Carvalho (2008), indica classe forte de erosividade ($7357 < R < 9810$), ocasionando elevados valores de perda de solo e de risco de erosão.

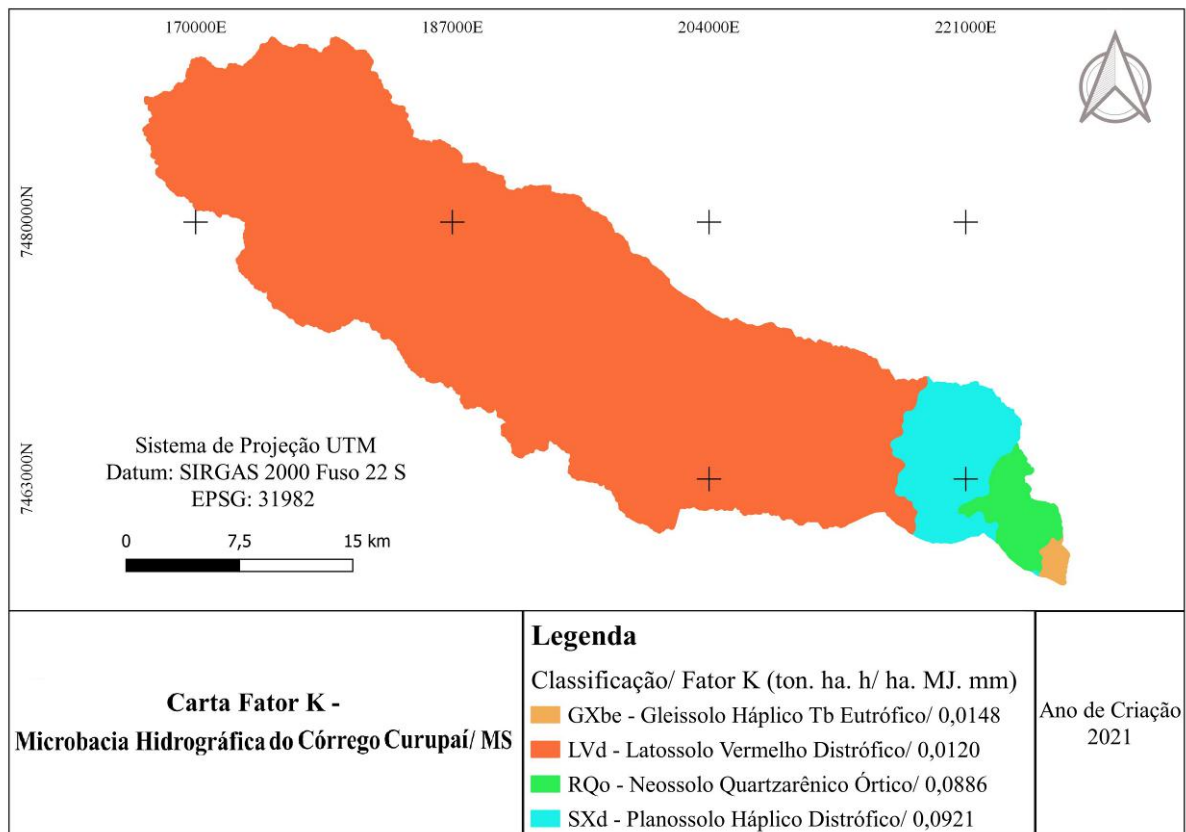
Figura 3. Carta de erosividade das chuvas da microbacia hidrográfica do Córrego Curupaí/ MS - Fator R.



Fonte: Autores.

O fator K indica a partir das diferentes classes de solo a maior ou menor facilidade à erosão, conforme o nível de profundidade e maturidade diminui o grau de erodibilidade se eleva. Para a microbacia analisada percebe-se que a sua maior porção é representada pelo Latossolo Vermelho Distroférrico (Figura 5), sendo a sua espessura raramente inferior a um metro, dispondo de boa resistência à erosão (Embrapa, 2013). Entretanto, não se devem dispensar as ações conservacionistas em seu uso.

Figura 4. Carta de erodibilidade dos solos da microbacia hidrográfica do Córrego Curupaí/ MS Fator K.



Fonte: Autores.

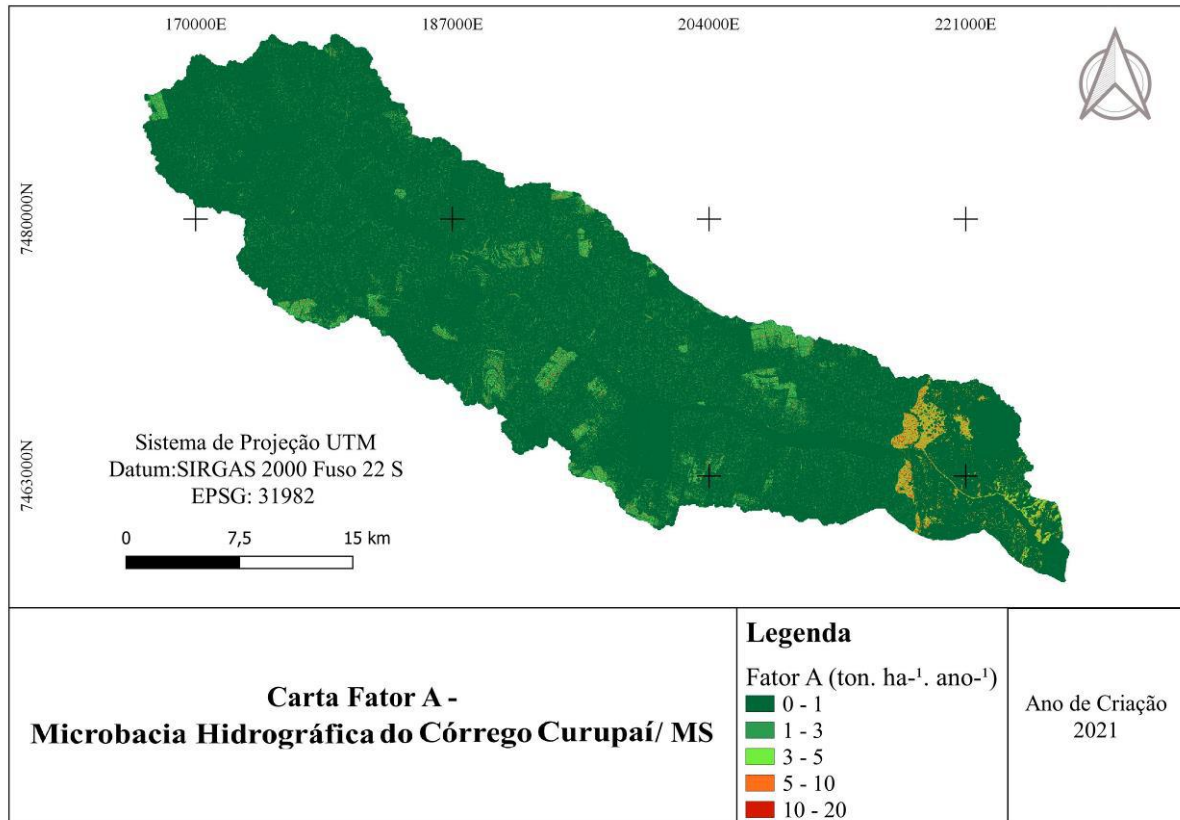
Por meio da álgebra de mapas obteve-se o mapa de perda do solo em toneladas por hectare por ano – Fator A (Figura 6). Os resultados da estimativa da perda anual de solo para a bacia analisada variam entre 0 e 20 ($\text{ton} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$). Esses valores foram divididos em 5 classes, como proposto por Salis, Costa e Viana (2019), a Tabela 5 representa o descritivo das áreas ao longo da Bacia.

Tabela 5. Classificação de perda de solo anual por faixa de valores, proposta por Salis, Costa e Viana (2019).

| Perda de Solo ($\text{ton} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$) | Categoria | Área (Km^2) | Porcentagem (%) |
|---|-------------|------------------------|-----------------|
| 0 - 1 | Muito Baixa | 715,06 | 87,38 |
| 1 - 3 | Baixa | 76,16 | 9,31 |
| 3 - 5 | Moderada | 11,15 | 1,36 |
| 5 - 10 | Severa | 15,15 | 1,85 |
| 10 - 20 | Alta | 0,84 | 0,10 |
| TOTAL | | 818,36 | 100 |

Fonte: Adaptada de Salis, Costa e Viana (2019).

Figura 5. Carta de estimativa da perda anual de solos da microbacia hidrográfica do Córrego Curupaí/ MS – Fator A.

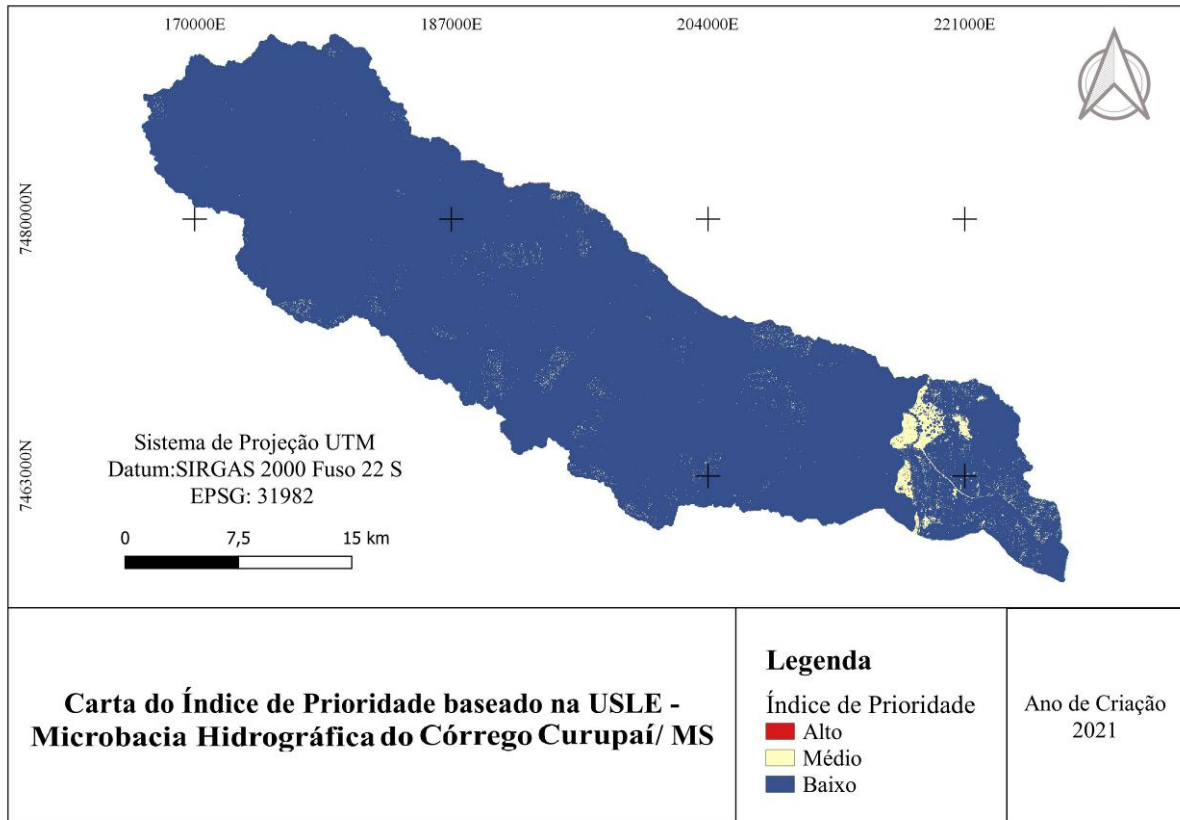


Fonte: Autores.

Observa-se pela análise do fator A isoladamente, que a microbacia apresenta baixíssima vulnerabilidade a processos erosivos. Os fatores componentes da USLE que mais influenciaram no cálculo da estimativa de perdas de solo, foram o Fator CP e o Fator K. Tratando-se de uma região de relevo predominantemente plano, a declividade do terreno exerce pouca interferência no processo da erosão hídrica. Desse modo, nota-se que os locais que mais sofrem perdas de solo são as áreas antropizadas (áreas agrícolas, de pastagem e urbanas) e de solo desnudo, bem como, as áreas associadas à ocorrência de Planossolo Háplico Distrófico e Neossolo Quartzarênico Hórtico, onde por consequência, os solos são menos profundos e mais instáveis.

Findada a etapa de atribuição de pesos obteve-se a carta do índice de prioridade com base na USLE (Figura 7). Percebe-se que grande parte da microbacia hidrográfica possui baixo índice de prioridade (3) com base na USLE (96,3%). Com a ocorrência de algumas áreas com média prioridade (2,5 %) e isolados pontos com alta prioridade a recuperação (1,2%). Apesar de a USLE ser uma ferramenta muito útil, uma análise baseada isoladamente nela, pode acarretar uma avaliação equivocada quanto à não necessidade de ações de recuperação de áreas degradadas ou alteradas na microbacia.

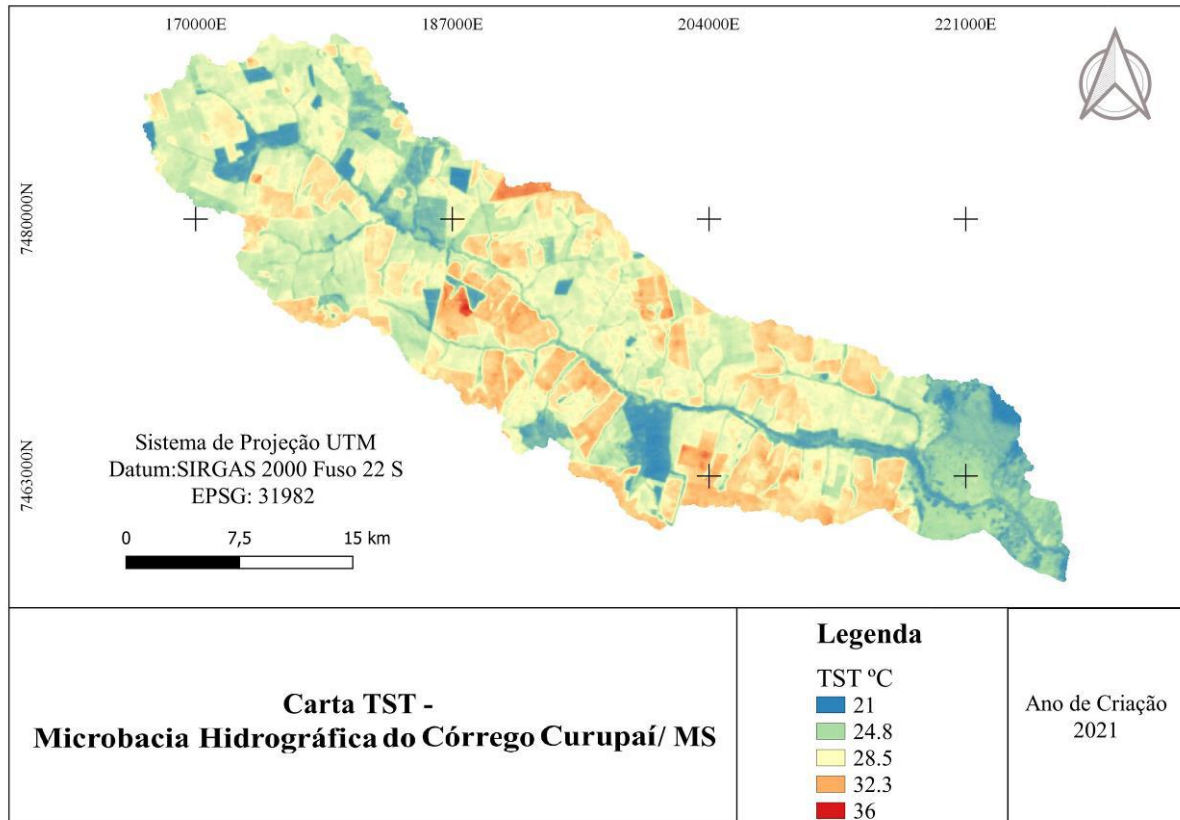
Figura 7. Carta do índice de prioridade com base na USLE para a microbacia hidrográfica do Córrego Curupai/ MS.



Fonte: Autores.

Na carta que representa a Temperatura de Superfície Terrestre (TST), observou-se valores com variação entre 21 e 36°C (Figura 8). Constatou-se que as temperaturas mais baixas são referentes aos corpos hídricos, áreas úmidas e próximas das áreas de preservação permanente. Já as mais elevadas estão localizadas em solos desnudos e áreas agrícolas.

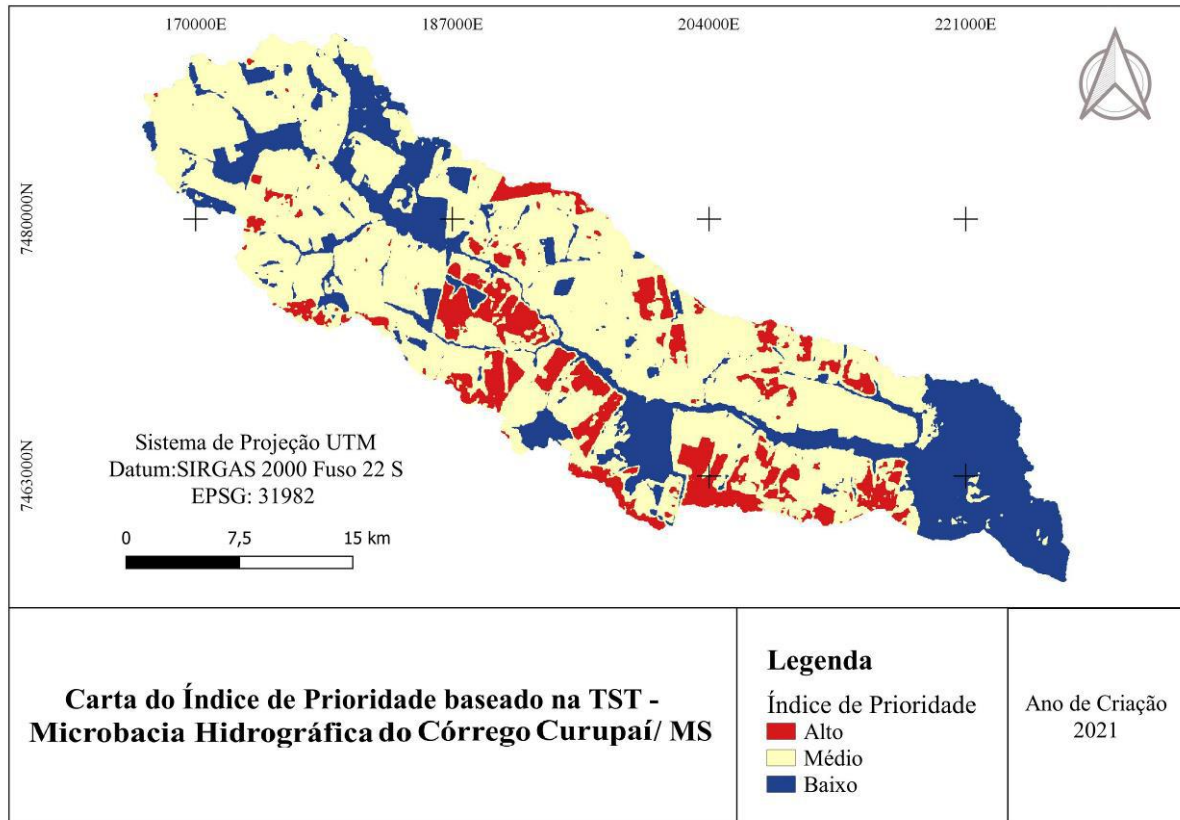
Figura 6. Carta de temperatura da superfície terrestre da microbacia hidrográfica do Córrego Curupaí/ MS.



Fonte: Autores.

Na carta do índice de prioridade com base na TST (Figura 9), tem-se a determinação de que as áreas com baixa prioridade (26,0%), estão relacionadas as regiões úmidas e corpos hídricos, já que apresentam temperaturas abaixo de 25°C. Ao passo que as regiões agrícolas apresentam médio nível de prioridade (62,20%) com variações de temperaturas entre 25 e 30°C. Verifica-se a presença de algumas áreas com alto índice de prioridade (11,80%), nas quais as temperaturas são superiores a 30°C, principalmente nas zonas agrícolas.

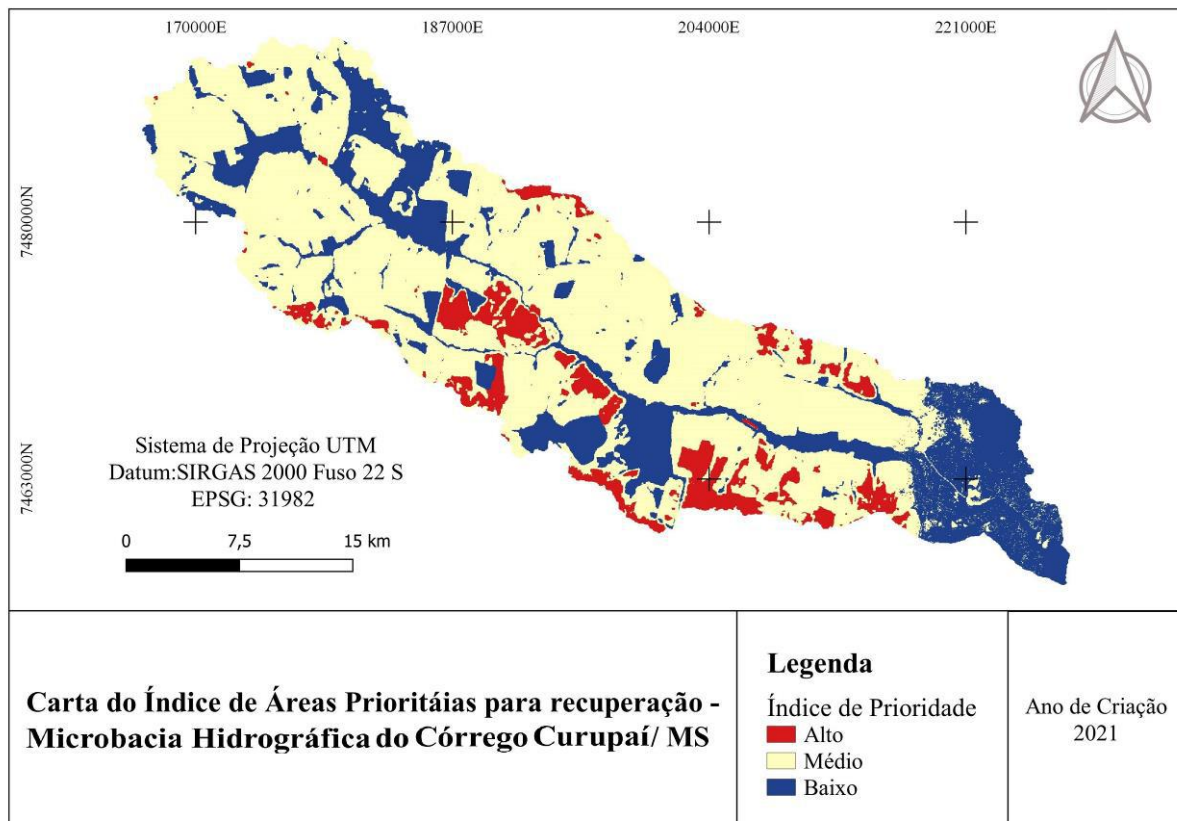
Figura 7. Carta do índice de prioridade com base na TST para a microbacia hidrográfica do Córrego Curupai/ MS.



Fonte: Autores.

Comparativamente as cartas que lhe dão origem, a carta de IAP Geral (Figura 10) atenuou as indicações de áreas com alto índice de prioridade à recuperação (9,3%), indicadas pela TST (11,8%). Essa amenização das prioridades, na área de estudo, foi em detrimento do Fator A, que indica a microbacia, predominantemente, como de baixa prioridade de recuperação (96,3%) (Tabela 6). O mesmo se observa para as áreas de média prioridade, onde a IAP Geral aponta 53,1% contra TST 62,2% e USLE 2,5%.

Figura 8. Carta do índice de áreas prioritária para recuperação da microbacia hidrográfica do Córrego Curupáí.



Fonte: Autores.

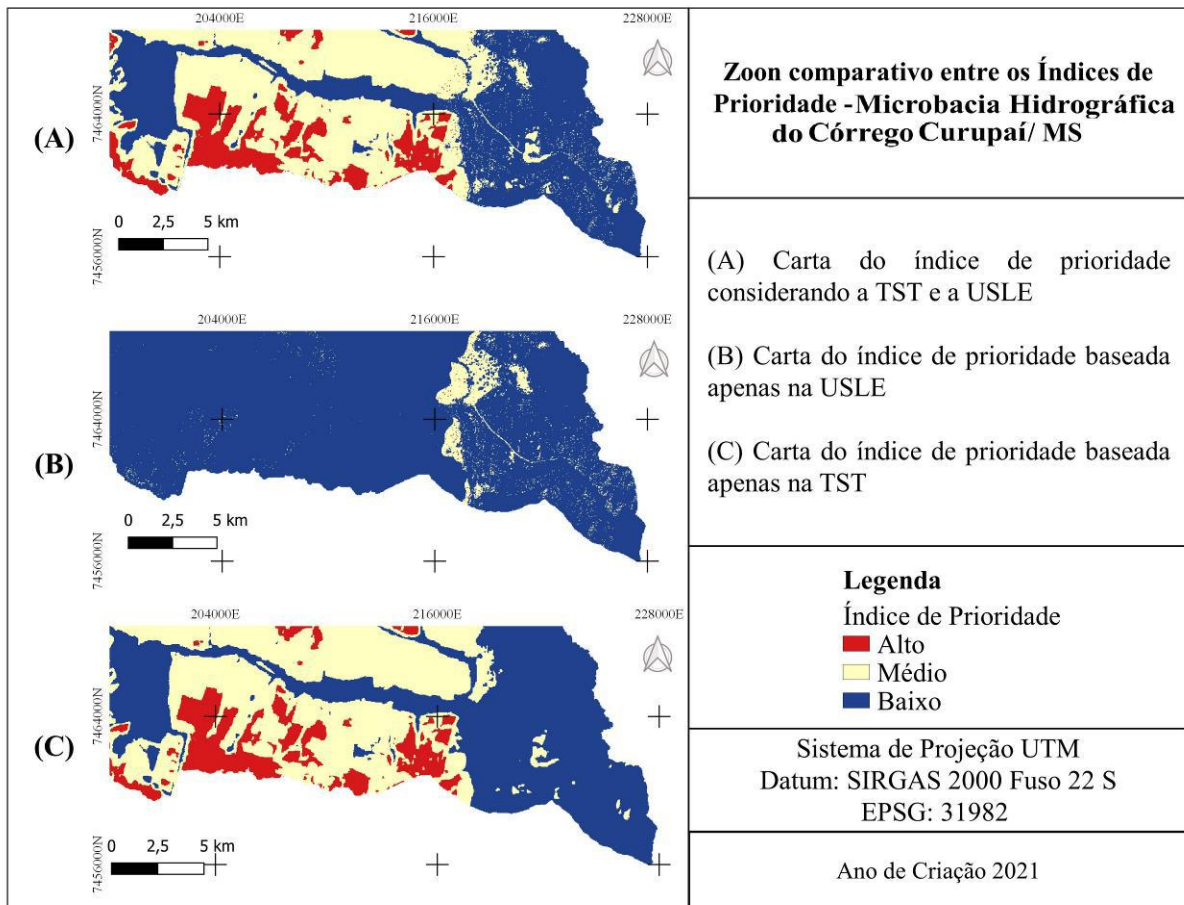
Tabela 6. Estatística dos índices de prioridade a recuperação baseados na USLE e TST frente resultado de integração para a microbacia do córrego Curupáí, em MS.

| Índice de Prioridade | IAP - USLE % | IAP - TST % | IAP - Geral % |
|----------------------|-----------------|----------------|------------------|
| Alto | 1,2 | 11,8 | 9,3 |
| Médio | 2,5 | 62,2 | 53,1 |
| Baixo | 96,3 | 26,0 | 37,6 |

Fonte: Autores.

Os elementos em conjunto, utilizados para a elaboração da Carta de Índice de Áreas Prioritárias para Recuperação (IAP) possibilita ampliar o leque ferramental para suporte decisório, no tocante a definição das áreas degradadas e/ou alteradas a serem recuperadas (Zolin et al., 2020). Na região de foz da microbacia, por exemplo, mesmo que em sua predominância a carta da USLE indique a bacia como de baixa prioridade (96,3%), ela apontou áreas com média prioridade, que a carta de TST isoladamente apontou como de baixa (Figura 11).

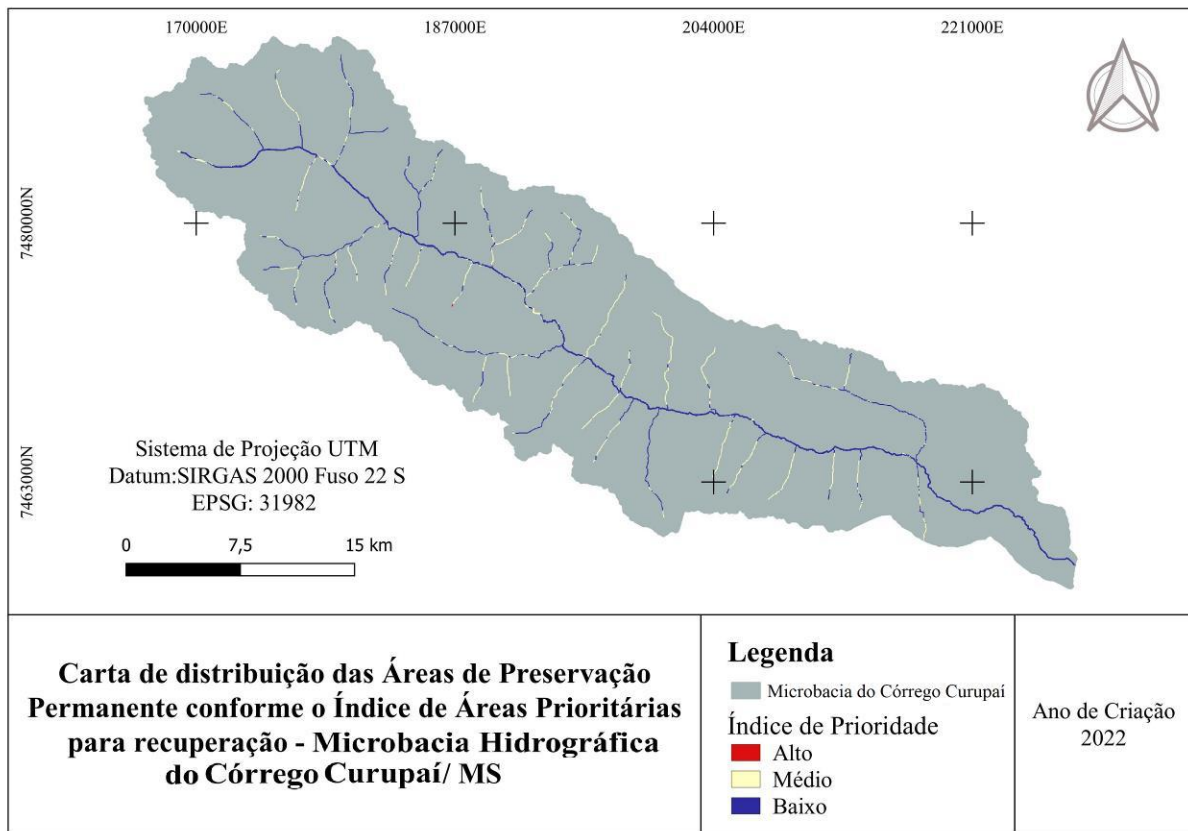
Figura 9. Detalhamento para as áreas com maiores distinções conforme as três cartas de índices obtidas.



Fonte: Autores.

Com foco nas áreas de preservação permanente da microbacia (nascentes e matas ciliares), estas totalizam 2,40% de sua área total. Observa-se que 64,6% dessas áreas apresentam baixa prioridade para recuperação, com base nos critérios em análise. Ao mesmo tempo, tem-se que 35,35% da área, encontra-se médio índice de prioridade, e 0,05% foram classificadas com alto índice para recuperação (Figura 12).

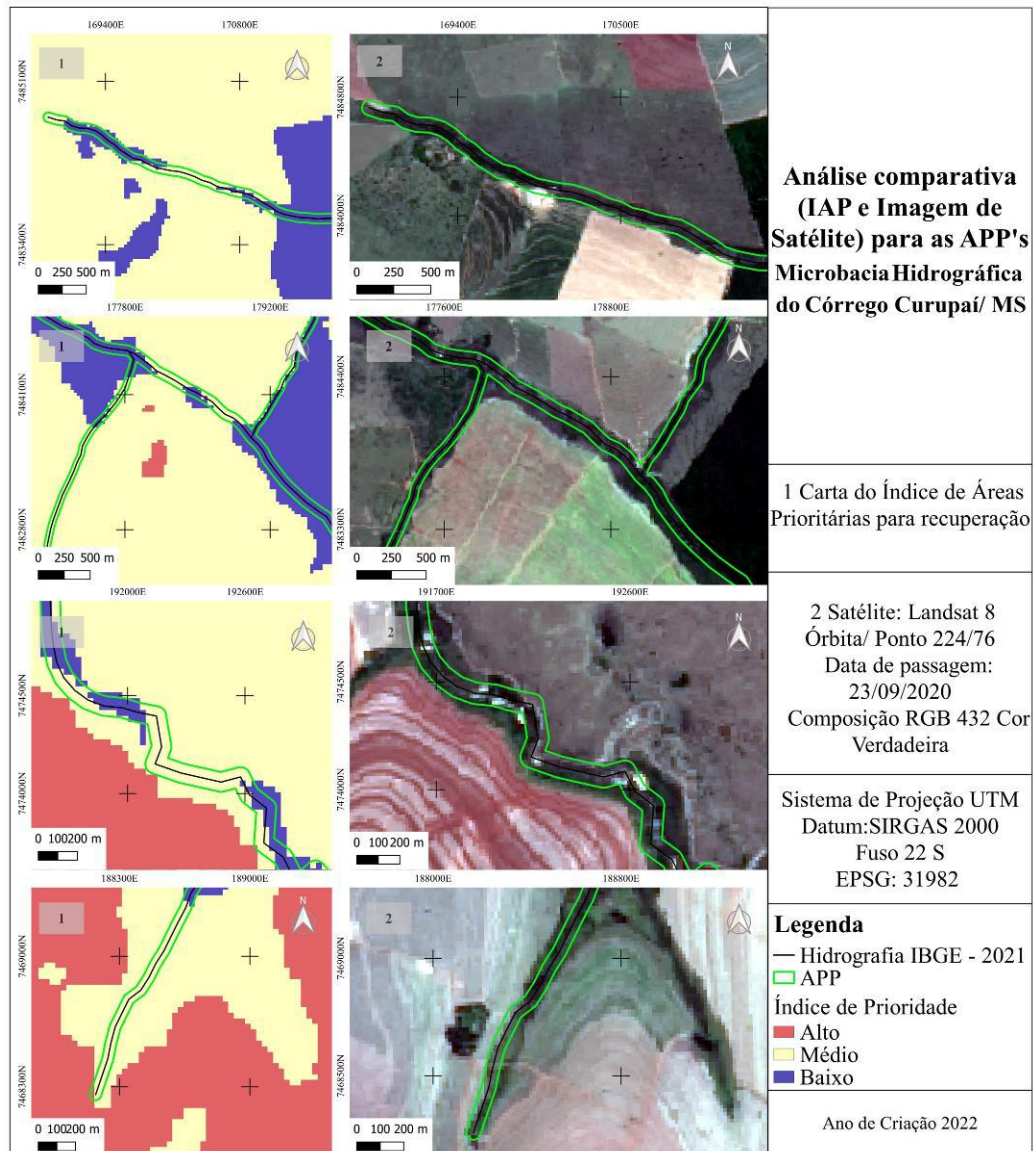
Figura 10. Carta das APP's, da microbacia hidrográfica do Córrego Curupaí/ MS, subdivididas conforme os índices de prioridades para recuperação.



Fonte: Autores.

Em relação às áreas de APP de mata ciliar com média, com maior influência da TST, destacam se as regiões com ausência de vegetação de porte arbustivo/arbóreo característicos (Figura 13). O manejo nas propriedades pode afetar diretamente a qualidade e a densidade vegetativa nas APP (Serpa et al., 2020). A ausência de matas ciliares acarreta o incremento do escoamento superficial e diminuindo a infiltração, ocasionando redução do armazenamento no lençol freático e incremento da turbidez das águas superficiais (Falcão et al., 2020).

Figura 11. Zoom comparativo entre a Carta IAP e o mosaico cor verdadeira (Satélite Landsat 8), com enfoque nas APP's.



Fonte: Autores.

Mesmo em regiões com relevo plano, ou suavemente ondulado, como o da área de estudo, a manutenção de práticas conservacionistas para atividades agrícolas é de fundamental importância para manutenção da qualidade ambiental da microbacia. Práticas como plantio direto, terraceamento e curvas de nível são fundamentais para o uso e conservação do solo, minimizando a erosividade hídrica e a perda de nutrientes fundamentais (Pavei et al., 2021).

4. Considerações Finais

Por meio dos componentes da USLE, verificou-se que o Fator CP e Fator K foram os que apresentaram maior influência sobre os valores de estimativa das perdas de solo com base na USLE, uma vez que a declividade da região não apresenta grandes variações.

A carta que representa a Temperatura de Superfície Terrestre (TST) apresentou valores com variação entre 21 e 36°C. Constatou-se que as temperaturas mais baixas são referentes aos corpos hídricos e áreas úmidas, sendo as mais elevadas representantes dos solos desnudos e áreas agrícolas.

Com relação ao Índice de Áreas Prioritárias observa-se que as menores estimativas de prioridade têm correlação com áreas úmidas e/ ou com vegetação densa, ao passo que as maiores estimativas se encontram nas áreas em que o solo se encontra desnudo, sem ou com reduzida cobertura vegetal.

Destaca-se a relevância da metodologia descrita como ferramenta complementar na gestão ambiental da microbacia hidrográfica do córrego Curupáí, em Mato Grosso do Sul, como subsídios para o diagnóstico de problemas ambientais juntamente com a tomada de decisão e determinação de políticas públicas que visem à preservação, o uso sustentável dos recursos ambientais e a redução de custos através da definição das áreas que necessitam de maiores cuidados.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Núcleo Ambiental/CAOMA do Ministério Público do Estado de Mato Grosso do Sul-MPMS pelo financiamento do projeto de pesquisa, celebrado através do Termo de Cooperação Técnica n. 981/2019 UEMS/MPMS. Agradecem também, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq pela concessão das bolsas de auxílio à pesquisa de Bruna Alves e Lucimara Narcizo.

Referências

- Brasil. (2012). Leis. *Lei nº 12.651 de 25 de maio de 2012*. "Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. Altera as Leis nº 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 nº 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". Diário Oficial da União, Brasília, DF, 28.5.2012.
- Carvalho, N. O. (2008). *Hidrossedimentologia prática*, (2a ed.) Interciência, Rio de Janeiro.
- Colman, C. B., Guerra, A., Roque, F. O., Rosa, I. M. D., & Oliveira, P. T. S. (2022). Identifying priority regions and territorial planning strategies for conserving native vegetation in the Cerrado (Brazil) under different scenarios of land use changes. *Science of the Total Environment*, v. 807, p. 150998. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150998>.
- Costa, A. L. C. da. (2005). *Estudo da vulnerabilidade à erosão com a aplicação da Equação Universal de Perda de Solo na Alta Bacia Hidrográfica do Rio Jacaré Pepira, utilizando SIG/SPRING*. 168 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Geociências, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista - Campus de Rio Claro, Rio Claro, Sp, 2005. <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/92785/costa_alc_me_rcla.pdf>.
- Cunha, E. R., Santos, C. A. G., Silva, R. M. da., Panachuki, E., Oliveira, P. T. S., Oliveira, N. S., & Falcão, K. S. (2022). Assessment of current and future land use/cover changes in soil erosion in the Rio da Prata basin (Brazil). *SCIENCE OF THE TOTAL ENVIRONMENT*, v. 818, p. 151811, 2022.
- Earth Explorer. (2020). (Download de Imagens orbitais) Instituto Geológico Americano. (2020). < <https://earthexplorer.usgs.gov/>>.
- Embrapa -Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. (2013). Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. Produção de Informações. Rio de Janeiro: Embrapa solos, (3ª ed.) 353p.
- Embrapa -Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. (2011). *Zoneamento Agroecológico do Município de Campo Grande - MS / Bhering, S. B. Et al*. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 63 p.
- Embrapa -Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. (2009). *Zoneamento Agroecológico do Município de Guia Lopes da Laguna - MS / Maria José Zaroni. Et al*. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 66 p.
- Falcão, K. S., Panachuki, E., Oliveira P. T. S., Monteiro F. N., & Menezes R. S. (2020). Surface runoff and soil erosion in a natural regeneration area of the Brazilian Cerrado. *International Soil and Water Conservation Research*, p. 1-25. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2020.04.004>.
- MS - Governo do Estado de Mato Grosso do Sul. (2015). Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento. *Estudo da Dimensão Territorial do Estado de Mato Grosso do Sul: Regiões de Planejamento*. Campo Grande, 90 p.
- Guerra, A. J. T., Silva, A. S. D., & Botelho, R. G. M. (2012). *Erosão e Conservação dos Solos: Conceitos, Temas e Aplicações*. 8ª Ed. Rio de Janeiro. Bertrand Brasil, 340p.
- Hupp, C. (2013). Geoprocessamento como ferramenta para análise da ocupação urbana e relação com áreas de preservação permanente na sede do município de Alegre (ES). In: *SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - SBSR, XVI*, Foz do Iguaçu. Anais [...]. p. 0858-0865. <http://marte2.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/marte2/2013/05.28.23.24.56/doc/p0407.pdf>.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2011). *Mapas das malhas estaduais e municipais*. <https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html>.
- Oliveira, P. T. S., Wendland, E., & Nearing, M. A. (2012). Rainfall erosivity in Brazil: A review. *Catena*, 100:139-147. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0341816212001713?via%3Dihub>.

Paranhos Filho, A. C. (2000). Análise Geo-Ambiental Multitemporal: O estudo de Caso da Região de Coxim e Bacia do Taquarizinho. Tese de doutoramento. Curso de Pós-graduação em Geologia - UFPR. 213 p.

Pavei, D. S., Panachuki, E., Salton, J. C., Sone, J. S., Alves Sobrinho, T., Valim, W. C., & Oliveira, P. T. (2021). Soil physical properties and interrill erosion in agricultural production systems after 20 years of cultivation. *REVISTA BRASILEIRA DE CIENCIA DO SOLO*, v. 45, p. 1-12.

Pereira, L. H., Spatti Junior, E. P., & Pinto, S. A. F. (2015). Simulação do potencial de perda de solos em bacias hidrográficas agrícolas, considerando variabilidade nos padrões de chuva. In: 1º *SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE ÁGUAS, SOLOS E GEOTECNOLOGIAS*. Uberaba, 2015, 941 – 951. <<http://www.sasgeo.eco.br/index.php/2015/cred/paper/viewFile/171/67>>.

QGIS -Development Team. (2020). QGIS 3.12.0. <https://www.qgis.org/pt_BR/site/forusers/download.html#>.

Salis, H. H. C., Costa, A. M., & Viana, J. H. M. (2019). Estimativa da Perda Anual de Solos na Bacia Hidrográfica do Córrego Marinheiro, Sete Lagoas – MG, por meio da RUSLE. *Boletim de Geografia*, 37(1), 101-115, 2 maio 2019.

Schäffer, W. B., Rosa, M. R., Aquino, L. C. S., & Medeiros, J. D. (2011). Áreas de Preservação Permanente e Unidades de Conservação & Áreas de Risco. O que uma coisa tem a ver com a outra? *Relatório de Inspeção da área atingida pela tragédia das chuvas na Região Serrana do Rio de Janeiro*. Brasília: MMA, 96 p.

Serpa, K. M., Monteiro, F. N., Falcão, K. S., Menezes, R. S., Ferreira, R. S., & Panachuki, E. (2020). Physical attributes and organic matter content in the Cerrado area under different cultivation systems. *RESEARCH, SOCIETY AND DEVELOPMENT*, v. 9, p. 1-15.

Sousa, S. B. (2012). Relação entre Temperatura de Superfície Terrestre, índices espectrais e classes de cobertura da terra no município de Goiânia (GO). *Ra e Ga: O Espaço Geográfico em Análise*, Curitiba, Pr, v. 26, p.75-99, set. 2012. Departamento de Geografia.

USGS -United States Geological Survey. (2000). *Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)*, Global Land.

Wang, X., Zhao, X., Zhang, Z., Yi, L., Zuo, L., Wen, Q., Liu, F., Xu, J., Hu, S., & Liu, B. (2016). Assessment of soil erosion change and its relationships with land use/cover change in China from the end of the 1980s to 2010. *Catena*, 137, 256-268. <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0341816215301296?via%3Dihub>>.

Wischmeier, W. H., & Smith, D. D. (1978). Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. Agricultural Handbook n.537. U.S. Department of Agriculture. Washington, USDA Handbook. <<https://naldc.nal.usda.gov/download/CAT79706928/PDF>>.

Zolin, T. D. S., Fernandes, S. S. L., Ribeiro, V. O., Carvalho, L. A., & Paranhos Filho, A. C. (2020). Map of Priority Areas for Recovery in the Laranja Doce Stream Basin, in Dourados/MS, based on Factor A and Land Surface Temperature. *Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ*, 43, 190-202, 2020.