





Potencial natural à erosão e evolução das perdas de solo na bacia hidrográfica do Arroio Quebrachinho (1992-2022)



 <https://doi.org/10.47236/2594-7036.2026.v10.2069>



Juliana Vargas Bozzato¹
Valdenir Pereira Morais²
Mélory Maria Fernandes de Araújo³
Maico Danúbio Duarte Abreu⁴
Edvânia Aparecida Corrêa Alves⁵



Data de submissão concluída: 10/3/2026. Data de aprovação: 1º/6/2026. Data de publicação: 1º/7/2026.



Resumo – A erosão hídrica é uma das principais formas de degradação do solo e da água. Modelos matemáticos que identificam as áreas mais suscetíveis a esse tipo de degradação podem auxiliar no planejamento do uso da terra e identificar a necessidade de adoção de práticas conservacionistas. O presente estudo teve como objetivo mapear as áreas com potencial natural à erosão e avaliar a evolução das perdas de solo na bacia hidrográfica do Arroio Quebrachinho, nos anos de 1992, 2002, 2012 e 2022, por meio de técnicas de geoprocessamento. Os fatores da Equação Universal de Perda de Solo (EUPS) foram obtidos a partir de bases de dados governamentais de domínio público, ao passo que o fator topográfico (comprimento e inclinação de rampa) foi derivado de Modelos Digitais de Elevação (MDE) do sensor ALOS PALSAR, com resolução espacial de 12,5 metros. Ao longo do recorte temporal, cerca de 90% das perdas de solo foram classificadas como “nenhuma” ou “ligeira”. A discreta elevação percebida na série histórica pode estar associada à expansão das áreas de lavouras temporárias, principalmente aquelas cultivadas com soja. O avanço das áreas antropizadas resultou na diminuição da classe “Formação Campestre”, a qual apresentou retração de 23,1%. As áreas mais suscetíveis às perdas de solo foram aquelas de maior declividade, porém 70% da área total da bacia foi classificada nas faixas “muito baixo” e “baixo”. Ainda que haja predomínio de baixos níveis de suscetibilidade à erosão, na maior parte da bacia, a implantação de práticas

¹ Doutoranda em Ciências pelo Programa de Pós-graduação em Manejo e Conservação do Solo e da água da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, Rio Grande do Sul, Brasil. [✉ julianabozzato@outlook.com](mailto:julianabozzato@outlook.com)  <https://orcid.org/0009-0003-4889-9588>  <http://lattes.cnpq.br/5065525556141448>.

² Doutorando em Ciências pelo Programa de Pós-graduação em Manejo e Conservação do Solo e da água da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, Rio Grande do Sul, Brasil. [✉ valmo.academico@gmail.com](mailto:valmo.academico@gmail.com)  <https://orcid.org/0000-0002-4433-6230>  <http://lattes.cnpq.br/3192375031640459>.

³ Doutoranda em Ciências pelo Programa de Pós-graduação em Manejo e Conservação do Solo e da água da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, Rio Grande do Sul, Brasil. [✉ mmfa.eh@gmail.com](mailto:mmfa.eh@gmail.com)  <https://orcid.org/0000-0002-8552-8407>  <http://lattes.cnpq.br/8882512834751864>.

⁴ Doutorando em Ciências pelo Programa de Pós-graduação em Manejo e Conservação do Solo e da água da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, Rio Grande do Sul, Brasil. [✉ maico.abreu@ufpel.edu.br](mailto:maico.abreu@ufpel.edu.br)  <https://orcid.org/0000-0002-8654-8493>  <http://lattes.cnpq.br/4913661802288480>.

⁵ Doutora em Geografia pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho. Professora Adjunta da área de Geografia da Universidade Federal do Triângulo Mineiro. Também é membro permanente dos programas de Pós-Graduação em Geografia e em Manejo e Conservação do solo e da água da Universidade Federal de Pelotas. Uberaba, Minas Gerais, Brasil. [✉ edvania.correa86@gmail.com](mailto:edvania.correa86@gmail.com)  <https://orcid.org/0000-0002-0712-5055>  <http://lattes.cnpq.br/4190381543138987>.

conservacionistas é necessária para a redução de impactos negativos ao solo e à água, visando à sustentabilidade desses recursos naturais.

Palavras-chave: Conservação do solo. Erosão hídrica. Modelagem espacial. Uso e ocupação da terra.

Natural erosion potential and the evolution of soil loss in the Arroio Quebrachinho watershed (1992–2022)

Abstract – Water erosion is one of the main forms of soil and water degradation. Mathematical models that identify areas most susceptible to this type of degradation can assist in land-use planning and in identifying the need to promote conservation practices. This study aimed to identify areas with natural erosion potential and to analyze the evolution of soil losses in the Arroio Quebrachinho watershed during the years 1992, 2002, 2012, and 2022, using geoprocessing techniques. The Universal Soil Loss Equation (USLE) factors were obtained from public-domain governmental databases, while the topographic factor (slope length and steepness) was derived from Digital Elevation Models (DEM) from the ALOS PALSAR sensor, with a spatial resolution of 12.5 meters. Throughout the analyzed timeframe, approximately 90% of soil losses were classified as “none” or “slight.” The discrete increase observed in the historical series may be associated with the expansion of temporary crops, especially soybeans. The advance of anthropized areas led to a reduction in “Grassland Formation,” which decreased by 23.1%. The areas most susceptible to soil loss were those with greater slopes, with 70% classified as “very low” and “low.” Although there is a predominance of low levels of erosion susceptibility in most of the watershed, the implementation of conservation practices is necessary to mitigate negative impacts on soil and water, aiming at the sustainability of these natural resources.

Keywords: Land use and land cover. Soil conservation. Spatial modeling. Water erosion.

Potencial natural a la erosión y evolución de las pérdidas de suelo en la cuenca hidrográfica del Arroio Quebrachinho (1992–2022)

Resumen – La erosión hídrica es una de las principales formas de degradación del suelo y del agua. Los modelos matemáticos que identifican las áreas más susceptibles a este tipo de degradación pueden contribuir en la planificación del uso del suelo e identificar la necesidad de adopción de prácticas conservacionistas. El presente estudio tuvo como objetivo mapear las áreas con potencial natural a la erosión y evaluar la evolución de las pérdidas de suelo en la cuenca hidrográfica del Arroio Quebrachinho durante los años 1992, 2002, 2012 y 2022, por medio de técnicas de geoprocésamiento. Los factores de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS) se obtuvieron a partir de bases de datos gubernamentales de dominio público, mientras que el factor topográfico (longitud y pendiente de rampa) se derivó de Modelos Digitales de Elevación (MDE) del sensor ALOS PALSAR, con resolución espacial de 12,5 metros. A lo largo del recorte temporal, cerca del 90% de las pérdidas de suelo fueron clasificadas como “ninguna” o “ligera”. La discreta elevación percibida en la serie histórica puede estar asociada a la expansión de las áreas de cultivos temporales, principalmente aquellas cultivadas con soja. El avance de las áreas antropizadas resultó en la disminución de la clase “Formación Campestre”, la cual presentó una retracción del 23,1%. Las áreas más susceptibles a las pérdidas de suelo fueron aquellas de mayor declividad, pero el 70% del área total de la cuenca fue

clasificada en las franjas “muy bajo” y “bajo”. Aunque haya predominio de bajos niveles de susceptibilidad a la erosión, en la mayor parte de la cuenca, la implementación de prácticas conservacionistas es necesaria para la reducción de impactos negativos al suelo y el agua, visando a la sostenibilidad de estos recursos naturales.

Palabras clave: Conservación del suelo. Erosión hídrica. Modelado espacial. Uso y cobertura del suelo.

Introdução

O solo é o alicerce de múltiplos serviços ecossistêmicos e funções ambientais essenciais para a sustentação da vida na Terra, atuando de forma determinante na regulação de ciclos biogeoquímicos e no suporte à produção biológica (Silva; Cherubin, 2022). Conciliar as atividades produtivas com a conservação do solo tem sido um debate recorrente ao longo dos anos, visto a importância que esse recurso natural possui em diversos segmentos da sociedade.

A erosão hídrica é uma das principais formas de degradação do solo e da água. A perda de solo causa prejuízos à lavoura, que terá de repor os nutrientes perdidos (Oliveira *et al.*, 2023a). Os sedimentos gerados causam prejuízos ao longo do eixo de cursos d'água, uma vez que transportam nutrientes, agrotóxicos e demais compostos, que contaminam os reservatórios, elevando o custo do tratamento de água para abastecimento público.

Além desses danos ambientais, diretamente relacionadas aos impactos negativos causados à sociedade, os nutrientes deslocados pelo escoamento superficial podem sobrecarregar os ecossistemas aquáticos. Os processos decorrentes da eutrofização, como o bloom de algas, podem causar a morte dos organismos aeróbios à medida que causa diminuição no oxigênio dissolvido (Esteves, 2011).

A erosão hídrica é um processo natural e pode ser intensificada pelo homem, de acordo com o uso da terra e práticas de manejo adotadas. A Equação Universal de Perda de Solo (EUPS) relaciona os fatores energéticos capazes de produzir a erosão (R = erosividade, LS = comprimento e inclinação da rampa) e os fatores que podem dissipar essa energia, prevenindo a erosão (K = erodibilidade do solo, C = cobertura e uso do solo e P = práticas conservacionistas). No âmbito dessa modelagem, a erodibilidade expressa a suscetibilidade inerente do solo ao desprendimento, enquanto a cobertura vegetal e as práticas conservacionistas atuam na dissipação da energia cinética das gotas de chuva e na redução do escoamento superficial (Michel *et al.*, 2025). O modelo da EUPS foi aperfeiçoado por Wischmeier e Smith (1978) e, posteriormente, aperfeiçoada por Renard *et al.* (1997), os quais propuseram a RUSLE (*Revised Universal Soil Loss Equation* - Equação Universal de Perda de Solo Revisada). Ambos os modelos são provenientes de estudos do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA) e constituem importantes ferramentas para o planejamento conservacionista (Bertoni; Lombardi Neto, 2010), possuindo ampla validação e aplicabilidade em diagnósticos de perda de solo por erosão hídrica em bacias hidrográficas no Brasil, conforme descrevem Oliveira *et al.* (2023a) e Michel *et al.* (2025).

A determinação *in situ* dos fatores da equação demanda elevado custo operacional e tempo, pois exige o monitoramento contínuo em parcelas experimentais de campo. Contudo, devido à consolidação e à ampla utilização da RUSLE, há uma vasta disponibilidade de parâmetros calibrados por pesquisadores em diversas regiões do Brasil. Isso viabiliza a estimativa indireta da perda de solo por meio de

álgebra de mapas em Sistemas de Informação Geográfica (SIG), utilizando coeficientes pré-determinados e validados na literatura científica. A bacia hidrográfica (BH) do Arroio Quebrachinho (BHAQ) está localizada nas cabeceiras do rio Negro, na região da Campanha do Rio Grande do Sul (RGS), com maior parte de seu território no município de Bagé. A BHAQ tem em sua extensão territorial diferentes classes de uso e ocupação do solo, destacando-se as manchas de perímetro urbano, atividade agropecuária e áreas de mineração.

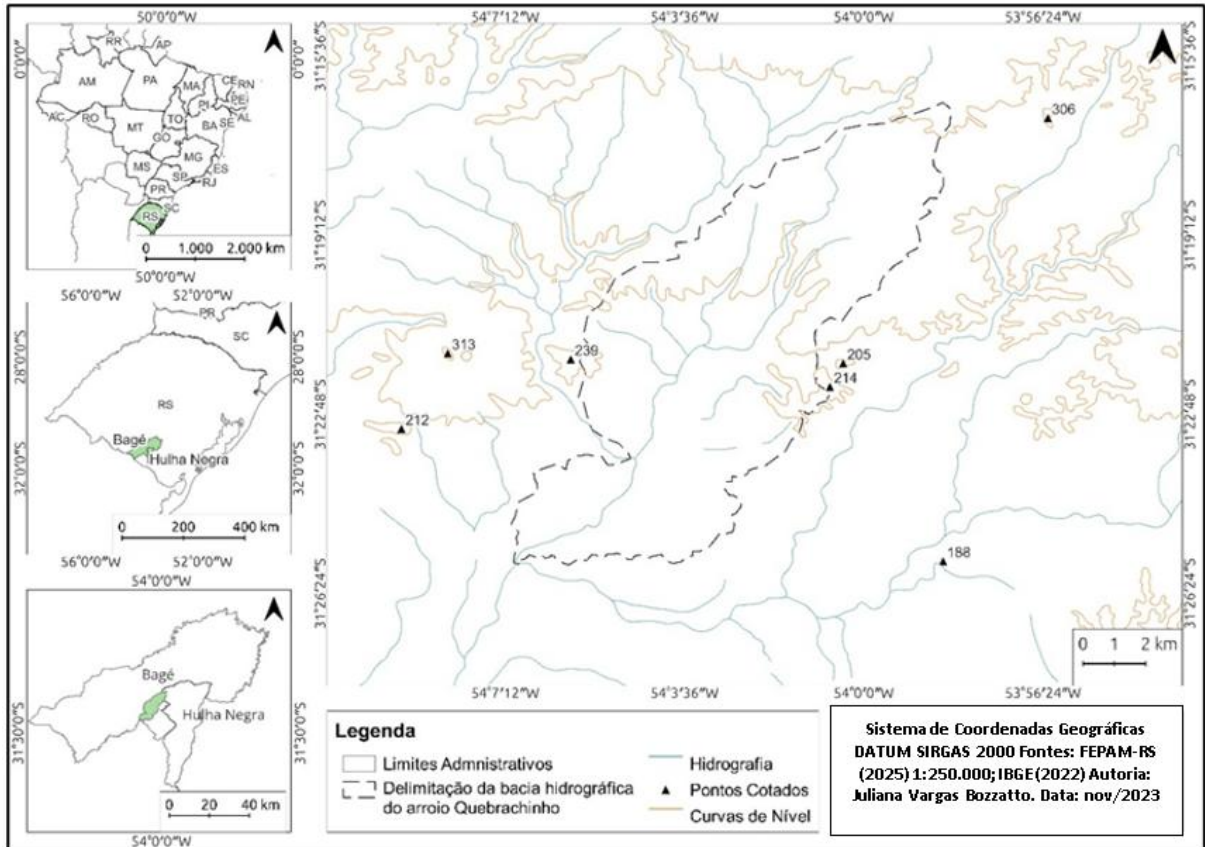
O presente trabalho teve o objetivo de identificar o Potencial Natural de Erosão (PNE) e as perdas de solo na bacia hidrográfica do Arroio Quebrachinho, empregando dados compatíveis com as características da área às técnicas de geoprocessamento. A estimativa da perda foi modelada em quatro cenários temporais distintos de uso e cobertura da terra (1992, 2002, 2012 e 2022), compreendendo a dinâmica da evolução da paisagem do RGS ao longo dos últimos 30 anos.

Materiais e métodos

A bacia hidrográfica do arroio Quebrachinho (Figura 1) fica, em grande parte do seu território, no município de Bagé/RS, com uma pequena área de nascentes na cidade de Hulha Negra, nas cabeceiras da bacia hidrográfica do rio Negro. O bioma da região é o Pampa, onde a vegetação predominante são espécies de gramíneas e arbustivas, com grande influência da agricultura e pecuária.

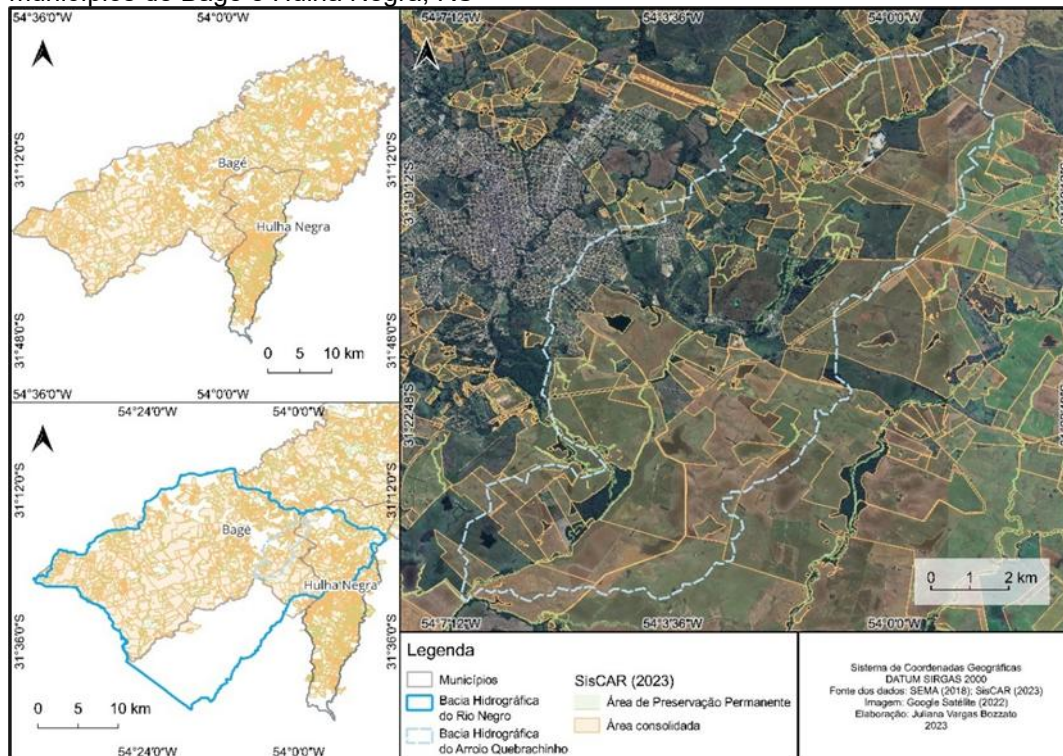
De acordo com o Sistema de Cadastro Ambiental Rural (SisCAR), parte significativa do território nessas cidades são áreas consolidadas (Figura 2), que, conforme a Lei nº 12.651/2012, são aquelas com ocupação antrópica preexistente em 22 de julho de 2008, e, de acordo com o artigo 59, parágrafo 4, não podem ser atuadas por supressão irregular de vegetação em Áreas de Preservação Permanente (APP) realizadas até a data em questão, conforme Brasil (2012).

Figura 1 - Mapa de localização da Bacia Hidrográfica do Arroio Quebrachinho



Fonte: Autores (2026)

Figura 2 - Áreas consolidadas e Áreas de Preservação Permanente (APP) no SisCAR, referentes aos municípios de Bagé e Hulha Negra, RS



Fonte: Autores (2026)

Segundo Cordeiro, Alves e Rocha (2020), a precipitação pluvial anual de Bagé é de 1.518 mm, com média anual de temperatura de 18,5 °C. Os autores descrevem que essas variáveis possuem alta variabilidade interanual. De acordo com o balanço hídrico dos dados históricos (1981 – 2010), que podem ser acessados no Sistema de Suporte à Decisão na Agropecuária do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), o déficit hídrico na região é mais acentuado nos meses de verão (dezembro, janeiro), enquanto que o excedente hídrico ocorre no período de abril a outubro (INMET, 2023).

No ano de 2023, o período de déficit se estendeu até julho/agosto, sendo necessária a ocorrência de restrições no abastecimento público, visando ao racionamento de água. Após esse período, ocorreu uma série de eventos de ciclones no RGS, que trouxe chuvas torrenciais e alagamentos na região, caracterizando outro extremo climático.

Essas condições, alinhadas ao uso da terra, levantam preocupações acerca da fragilidade do território ante esses eventos, principalmente em relação aos impactos ambientais relacionados ao manejo e conservação do solo e da água.

A PNE auxilia a identificar as áreas mais suscetíveis às perdas de solo, baseando-se nas características intrínsecas da área. É composta por fatores consolidados como os atributos mais relevantes para a erosão hídrica, sendo eles:

$$PNE = R.K.L.S \quad (1)$$

Onde:

PNE = potencial natural a erosão ($Mg\ ha^{-1}\ ano^{-1}$);

R = fator da erosividade da chuva ($MJ\ ha^{-1}\ ano^{-1}$);

K = fator da erodibilidade do solo, para um solo específico mantido sem cobertura, em condições normais de cultura em um declive de 9% e comprimento de rampa de 25,0 m ($MJ\ ha^{-1}\ ano^{-1}$);

L = fator comprimento de rampa, relaciona o comprimento de declive qualquer e outro com rampa de 25,0 m para o mesmo solo e declividade (adimensional);

S = fator de grau de declividade, em um declive qualquer e outro de 9% para o mesmo solo e comprimento rampa (%).

A EUPS/USLE (Equação 2), por sua vez, engloba esses fatores, acrescentando o uso e cobertura e práticas conservacionistas, visto a potencialidade desses fatores de alterar a intensidade do processo, expressa da seguinte forma:

$$A = R.K.L.S.C.P \quad (2)$$

Onde:

A = perda de solo ($Mg\ ha^{-1}\ ano^{-1}$);

R = fator da erosividade da chuva ($MJ\ ha^{-1}\ ano^{-1}$);

K = fator da erodibilidade do solo, para um solo específico mantido sem cobertura, em condições normais de cultura em um declive de 9% e comprimento de rampa de 25,0 m ($MJ\ ha^{-1}\ ano^{-1}$);

L = fator do declive, relaciona o comprimento de declive qualquer e outro com rampa de 25,0 m para o mesmo solo e declividade (adimensional);

S = fator de grau de declividade, em um declive qualquer e outro de 9% para o mesmo solo e comprimento de rampa (%);

C = fator do uso e manejo, relação entre as condições reais de cultivo e o solo descoberto (fator K);

P = fator práticas conservacionistas: relação entre perdas em cultivos com práticas conservacionistas e outro representando o plantio morro abaixo.

A obtenção do fator R fundamentou-se nos índices de erosividade da chuva consolidados para o Rio Grande do Sul com base nas normais climatológicas recentes (1991-2020). Para a espacialização da agressividade climática na área de estudo, considerou-se a influência das estações pluviométricas de Bagé (31°33' S; 54°10' O), Pinheiro Machado (31°31' S; 53°50' O) e Pedras Altas (31°43' S; 53°59' O), conforme

adotado por Back *et al.* (2024). O método de interpolação foi o IDW (Ponderação pelo Inverso da Distância), ferramenta disponibilizada no QGIS. O fator variou de 5.925,16 a 5.929,29 MJ ha⁻¹ ano⁻¹, caracterizando como erosividade “média” segundo Lombardi Neto e Moldenhauer (1992), sendo os menores valores ao sul da BH.

O mapa de solos utilizado foi o do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE de 1:250.000 (levantamento pedológico na escala de 1:1.000.000) do ano de 2018, por ser o mapa em que havia a maior discriminação da área. As referências e respectivos fatores para o K estão organizados na Tabela 1, onde variaram de 0,02 a 0,081 MJ ha⁻¹ ano⁻¹.

Tabela 1 - Dados do fator K

Classificação (IBGE, 2018)	Correspondência	Referência	Fator K
SXk - Planossolo Háptico Carbonático	Planossolo	Nachtigall <i>et al.</i> (2020)	0,02
PVd - Argissolo Vermelho Distrófico	Argissolo Vermelho Eutrófico típico A moderada textura média/argilosa	Mannigel <i>et al.</i> (2002)	0,022
PVAd - Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico	Argissolo vermelho-amarelo	Nachtigall <i>et al.</i> (2020)	0,030
GXve - Gleissolo Háptico Ta Estrófico	Gleissolo		0,081
Área urbana	Área urbana	-	0

Fonte: Autores (2026)

O Modelo Digital de Elevação (MDE) utilizado para o fator LS foi adquirido do satélite Alos, sensor Palsar (Phased Array L-band Synthetic Aperture Radar), presente em ASF (2023), com resolução de 12,5 metros, ano de 2018. A projeção foi em UTM (Universal Transversa de Mercator) com o DATUM SIRGAS 2000, zona 21S.

Para a obtenção do fator LS, utilizou-se o módulo Field Based por meio do método de cálculo de Desmet e Govers (1996). Conforme apontado por Silva *et al.* (2024a), esse procedimento configura-se como uma ferramenta consagrada para a extração de atributos topográficos no geoprocessamento aplicado à modelagem de solos em bacias hidrográficas. Nesse sentido, a integração desses algoritmos matemáticos com a modelagem da RUSLE, em ambiente SIG, permite refletir com precisão o atual estado espacial da perda de solo, o que Nachtigall *et al.* (2020) confirmam que é uma metodologia padrão em estudos da dinâmica erosiva na região sul do Rio Grande do Sul, Brasil. Para os fatores C e P foi utilizado o mapeamento do uso e cobertura da terra do Mapbiomas, abrangendo os anos de 1992, 2002, 2012 e 2022, a fim de determinar uma evolução histórica do território. Os pesos utilizados para o fator C e P estão nas Tabela 2 e 3, com as respectivas referências.

Tabela 2 - Dados do fator C

Classificação	Fator C	Referência
Formação Florestal	0,003	Silva <i>et al.</i> (2017)
Silvicultura	0,02	
Campo Alagado e Área Pantanosa	0	Bera (2017)
Formação Campestre	0,01	Oliveira, Nearing e Wendland (2015)
Mosaico de Usos	0,25	

Artigo Científico

Área urbanizada	1	-
Outras Áreas não Vegetadas	1	Silva <i>et al.</i> (2017)
Rio, Lago e Oceano	0	Bera (2017)
Soja	0,25	
Arroz	0,25	Oliveira, Nearing e Wendland (2015)
Outras Lavouras Temporárias	0,25	

Fonte: Autores (2026)

Tabela 3 - Dados do fator P

Classificação	Fator P	Referência
Formação Florestal	1	
Silvicultura	1	
Campo Alagado e Área Pantanosa	1	Silva <i>et al.</i> (2017)
Formação Campestre	1	
Mosaico de Usos	0,5	Bertoni e Lombardi Neto (2010)
Área urbanizada	1	-
Outras Áreas não Vegetadas	1	Silva <i>et al.</i> (2017)
Rio, Lago e Oceano	1	
Soja	0,5	
Arroz	0,5	Bertoni e Lombardi Neto (2010)
Outras Lavouras Temporárias	0,5	

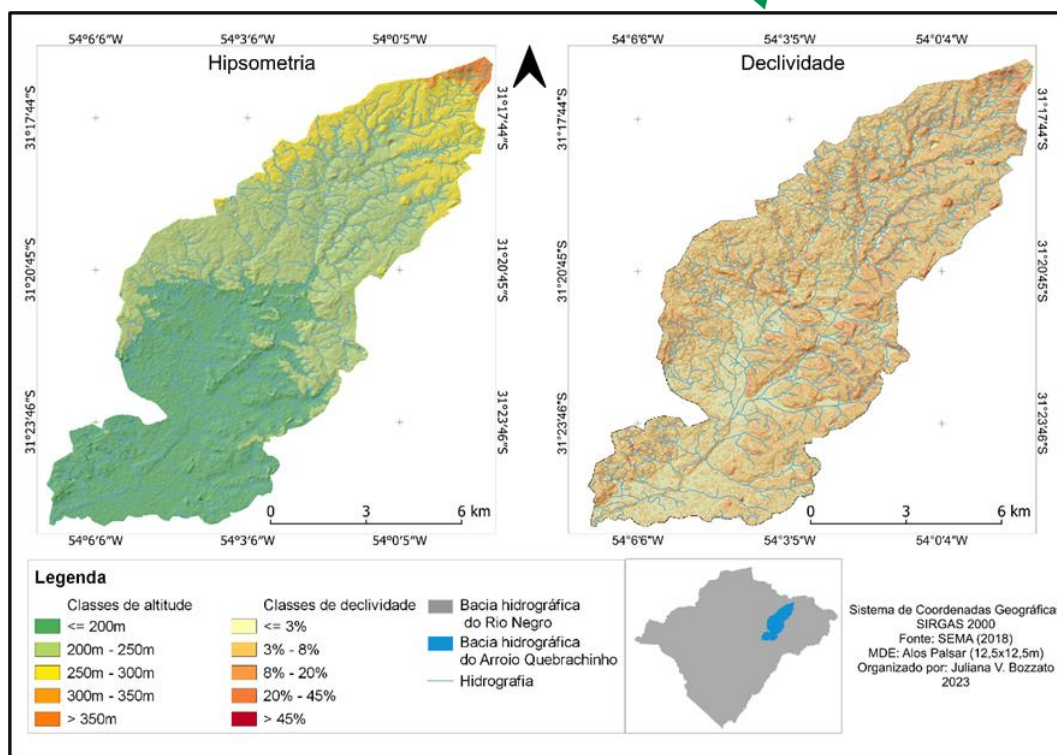
Fonte: Autores (2026)

A resolução dos dados foi de 30 m para se adequar à resolução do Mapbiomas. Os cálculos utilizados foram o de PNE e a EUPS, em que o segundo considerou as quatro escalas temporais de uso e cobertura. Ambos foram processados na calculadora raster no QGIS. A BH foi delimitada com o auxílio da hidrografia digitalizada pela SEMA-RS (2018), em que também foram obtidos *shapefiles* referentes aos municípios, delimitação de bacias hidrográficas do RS e curvas de nível. Na base de dados, Brasil (2025), do Sistema de Cadastro Ambiental Rural (SisCAR), foram obtidas informações referentes às áreas consolidadas e Áreas de Preservação Permanente dos municípios de Bagé e Hulha Negra.

Resultados e discussões

Os resultados obtidos permitem compreender os principais condicionantes físicos da bacia hidrográfica e sua relação com a dinâmica ambiental da área de estudo. A análise dos atributos topográficos (Figura 3) evidencia padrões relevantes para a interpretação da suscetibilidade à erosão e da distribuição espacial dos processos hidrossedimentológicos.

Figura 3 - Hipsometria e declividade da Bacia Hidrográfica do Arroio Quebrachinho



Fonte: Autores (2026)

Conforme a Tabela 4, a altitude da BH variou de 166 a 382 m, sendo que 85,5 % está até 250 m. Em relação à declividade, cerca de 50,0 % da área é classificada como suave ondulado, considerada como de fraca fragilidade ambiental, uma vez que os declives menores reduzem a velocidade do escoamento superficial, permitindo maior infiltração de água no solo e minimizando o poder erosivo (Albuquerque; Lima, 2023). O que configura a recomendação de práticas e estruturas em terra que possam reduzir a velocidade, como plantio em nível, cordões de vegetação e terraços, especialmente nas áreas de declive acentuado (Michel *et al.*, 2025).

Tabela 4 - Classes de declividade e hipsometria

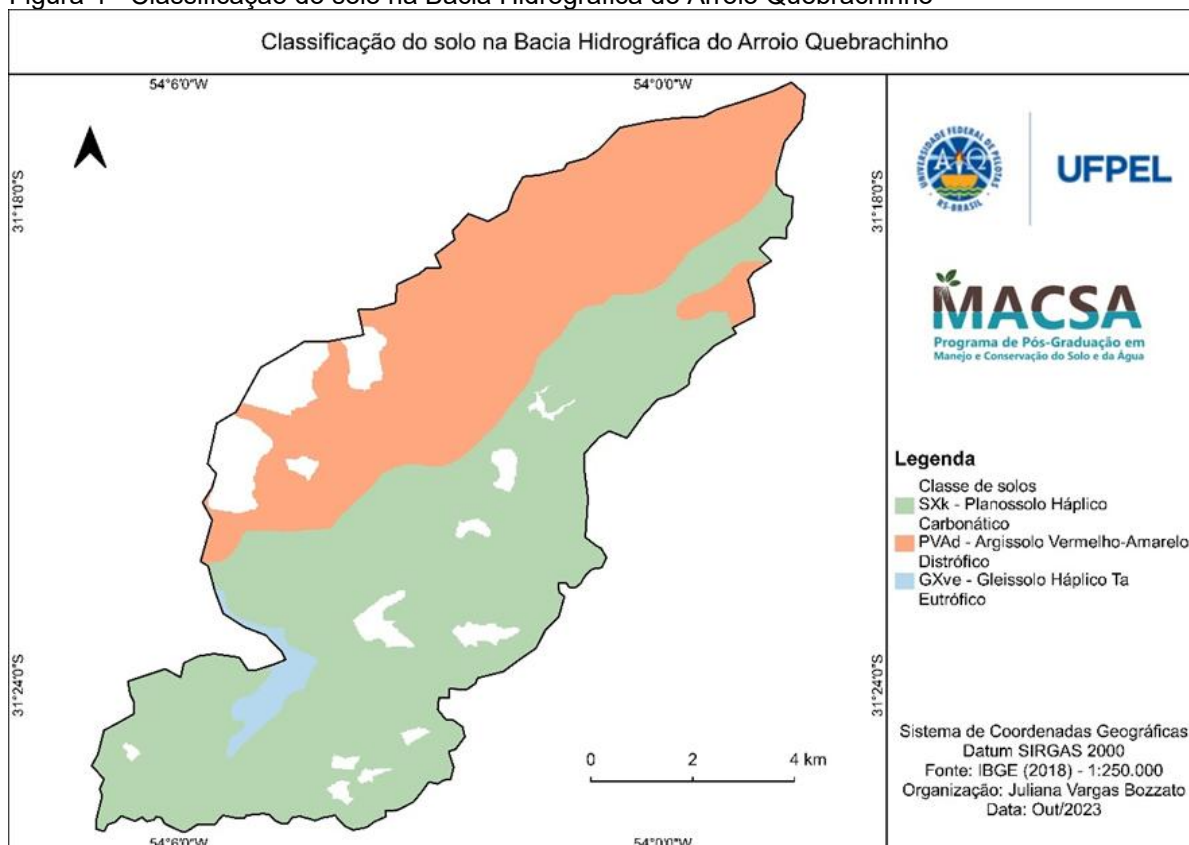
Declividade			Hipsometria		
Classe	Área (km ²)	Área (%)	Classe	Área (km ²)	Área (%)
0 - 3%	31,8	29,65	< 200m	48,6	45,29
3 - 8%	53,9	50,26	200 - 250m	43,1	40,17
8 - 20%	20,5	19,12	250 - 300m	14,3	13,33
20 - 45%	1	0,93	300 - 350m	0,8	0,74
> 45%	0,04	0,04	> 350m	0,5	0,47
Total	107,24	100	Total	107,3	100

Fonte: Autores (2026)

A Figura 4 apresenta a classificação dos solos encontrada na área da BHAQ,, cujas classes de solos identificadas, apesar da baixa variação na escala de mapeamento, são as que geralmente ocorrem nessas posições de relevo. Pode ser observada a presença de Argissolos (solos avermelhados) nas posições topográficas de maior cota altimétrica, devido a sua característica de boa drenagem. Os Argissolos caracterizam-se pela presença de horizonte subsuperficial mais argiloso, o qual favorece a infiltração da água na camada superficial, com restrição à percolação em profundidade. Já os hidromórficos, como o Gleissolo e o Planossolo, encontram-se

nas áreas de baixadas e de várzea da bacia. A compreensão dessas características físicas e hídricas, aliada ao geoprocessamento é uma etapa essencial para o diagnóstico da vulnerabilidade do terreno e a mitigação de áreas suscetíveis a processos erosivos (Martins *et al.*, 2024).

Figura 4 - Classificação do solo na Bacia Hidrográfica do Arroio Quebrachinho

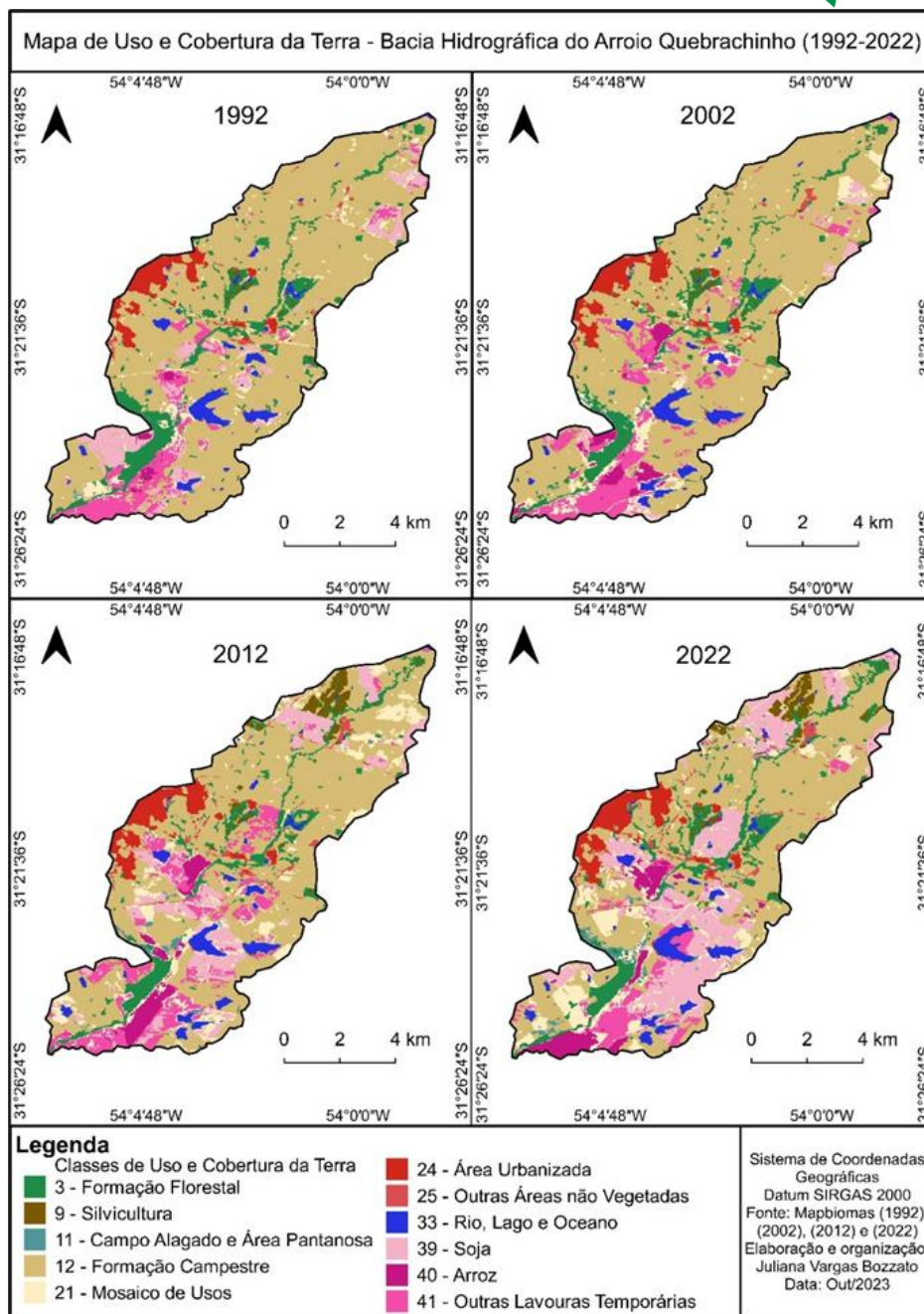


Fonte: Autores (2026)

Os Gleissolos são caracterizados pela dissolução do ferro decorrente de ambientes alagadiços que ocorrem nas depressões. Os Planossolos são semelhantes, e se distinguem dos Gleissolos pela mudança textural abrupta (Streck *et al.*, 2018). Em relação à erodibilidade dos solos, as propriedades físicas mais relevantes são a textura, permeabilidade e profundidade (Bertoni; Lombardi Neto, 2010). Um solo fértil, com quantidade significativa de matéria orgânica no perfil, apresenta maior coesão estrutural e fica menos vulnerável à deterioração pela erosão hídrica (Oliveira *et al.*, 2023a).

A erodibilidade dos solos é importante para determinar a sua fragilidade, entretanto, o uso e cobertura da terra são determinantes para a perda de sedimentos. De acordo com o levantamento (Figura 5) é possível verificar que houve um aumento das áreas antropizadas, principalmente agrícolas.

Figura 5 - Mapa de uso e cobertura da terra da Bacia Hidrográfica do Arroio Quebrachinho (1992-2022)



Fonte: Autores (2026), com base em Mapbiomas (1992; 2002; 2012 e 2022)

A Tabela 5 e Figura 6 apresentam a mudança das atividades, sendo principalmente o cultivo de soja (crescimento de 10,5%), com diminuição de 23,1% da formação campestre, que pode ser correspondente às áreas de vegetação nativa, devido às características do bioma. A cobertura vegetal desempenha papel crucial, fornecendo maior ou menor proteção ao solo e interferindo na intensidade do processo erosivo (Sales *et al.*, 2024). Dessa forma, a substituição de áreas naturais por culturas agrícolas tende a reduzir a proteção superficial do solo, aumentando sua suscetibilidade à erosão hídrica e potencializando as perdas de solo ao longo do tempo, especialmente em períodos de maior intensidade pluviométrica.

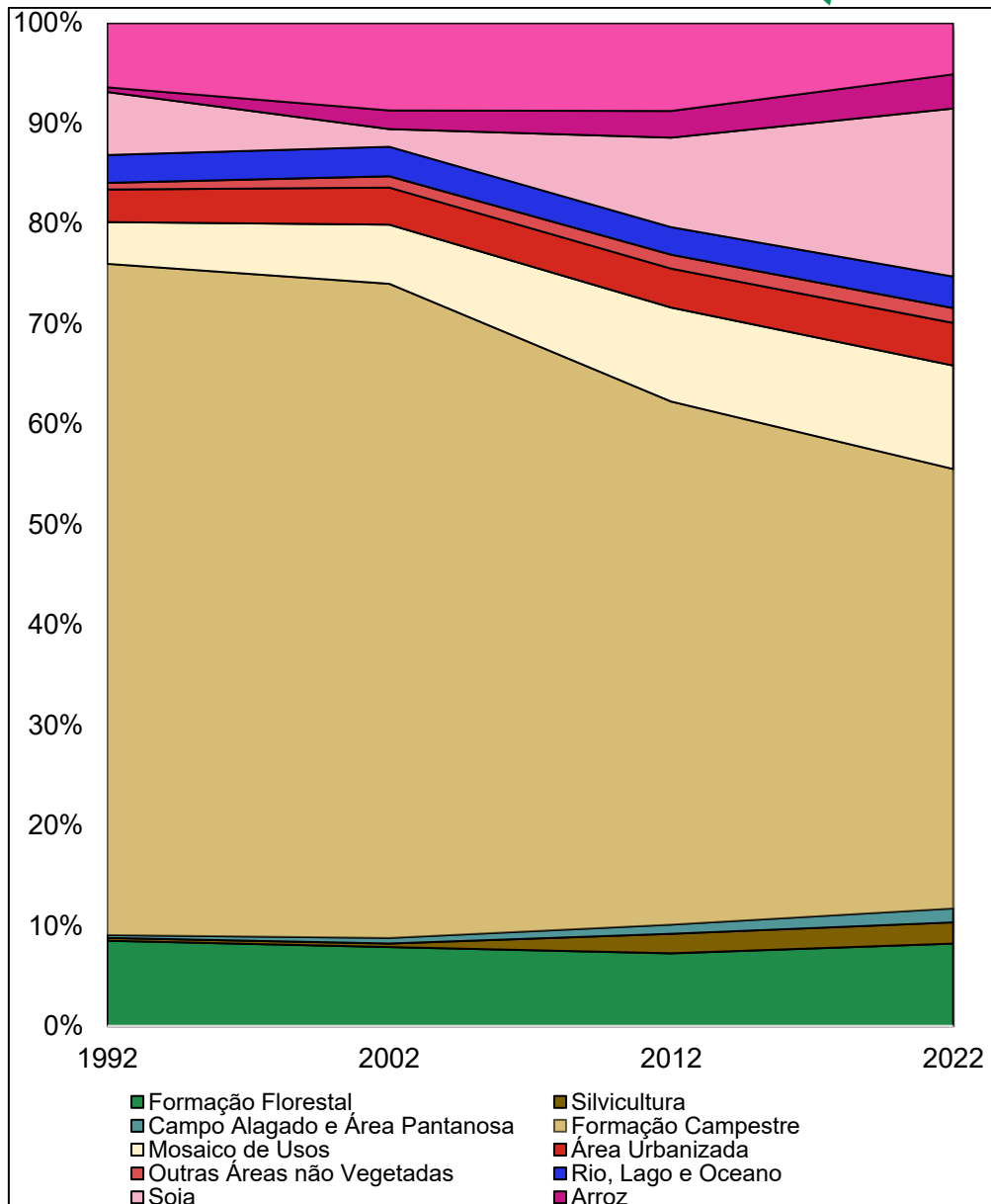
Tabela 5 - Classificação do uso da terra na Bacia Hidrográfica do Arroio Quebrachinho

Classe de uso da terra	1992		2002		2012		2022	
	Área (km ²)	Área (%)	Área (km ²)	Área (%)	Área (km ²)	Área (%)	Área (km ²)	Área (%)
Formação Florestal	9,2	8,5	8,5	7,8	7,3	7,3	8,9	8,2
Silvicultura	0,3	0,2	0,4	0,3	2,1	1,9	2,3	2,1
Campo Alagado	0,3	0,2	0,6	0,5	1	0,9	1,5	1,3
Formação Campestre	72,3	66,9	70,5	65,2	56,7	52,4	47,4	43,8
Mosaico de Usos	4,5	4,1	6,4	5,9	10,2	9,4	11,1	10,3
Área Urbanizada	3,5	3,2	4	3,7	4,2	3,8	4,6	4,2
Outras Áreas não vegetadas	0,7	0,6	1,2	1,1	1,5	1,3	1,6	1,4
Rio, Lago e Oceano	3	2,7	3,2	2,9	3	2,7	3,4	3,1
Soja	6,8	6,2	1,9	1,7	9,7	8,9	18,1	16,7
Arroz	0,5	0,4	2	1,8	2,9	2,6	3,7	3,4
Outras Lavouras Temporárias	6,9	6,3	9,4	8,6	9,5	8,7	5,5	5,0
Total	108	100	108,1	100	108,1	100	108,19	100

Fonte: Autores (2026), com base em Mapbiomas (1992; 2002; 2012; 2022)

Somando as atividades antrópicas, desconsiderando que na formação campestre possa haver a criação de bovinos, cerca de 43,1% da BH fica caracterizada como antropizada. Silva *et al.* (2024) destacam que a intensificação das atividades antrópicas nas bacias hidrográficas tem contribuído significativamente para a degradação ambiental, principalmente devido à alteração no uso e cobertura do solo, o que, por sua vez, potencializa os processos erosivos. Além disso, há uma área de mineração de calcário no território, que ficou classificada como “Outras áreas não vegetadas” e pode, também, exercer influência na conservação do solo e da água.

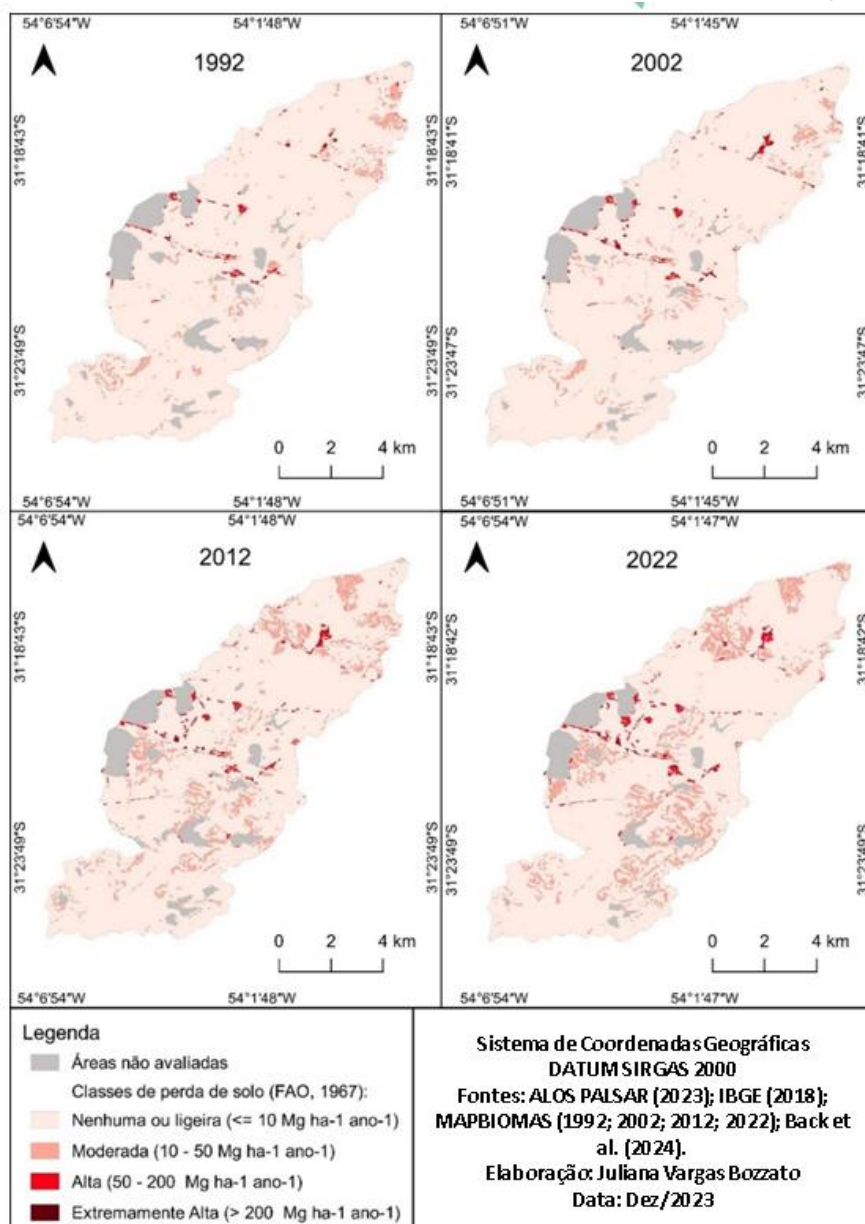
Figura 6 - Gráfico representando as alterações dos percentuais de uso da terra ao longo do tempo (1992-2022)



Fonte: Autores (2026), com base em Mapbiomas (1992; 2002; 2012 e 2022)

Com base nos dados utilizados, a perda de solo foi classificada principalmente como “Nenhuma ou ligeira”, com variações discretas ao longo do período analisado (Figura 7, Tabela 6 e Figura 8). Apesar dessa predominância, observam-se valores máximos pontuais elevados, com destaque para o ano de 2002, no qual a perda máxima estimada atingiu $829,64 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. Cabe ressaltar que a diferença de área (aproximadamente $9,4 \text{ km}^2$, variando $\pm 0,4 \text{ km}^2$) observada entre o território total da bacia e o somatório das perdas de solo deve-se à exclusão metodológica das zonas urbanizadas consolidadas e dos corpos d'água permanentes, superfícies onde a equação de RUSLE não é aplicada, sendo classificadas nos mapas e tabelas de evolução como áreas não avaliadas. Nos demais anos, os valores máximos situaram-se em torno de $500 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. Ressalta-se que tais valores representam ocorrências localizadas, associadas a áreas específicas da bacia em estudo.

Figura 7 - Perda de solo na Bacia Hidrográfica do Arroio Quebrachinho (1992-2022)



Fonte: Autores (2026)

Em termos proporcionais, a classe “Moderada” apresentou aumento de aproximadamente 5% ao longo dos 30 anos, passando de 4,4% em 1992 para 9,6% em 2022 (Tabela 6). Essa ampliação indica intensificação gradual das perdas de solo em setores específicos da bacia.

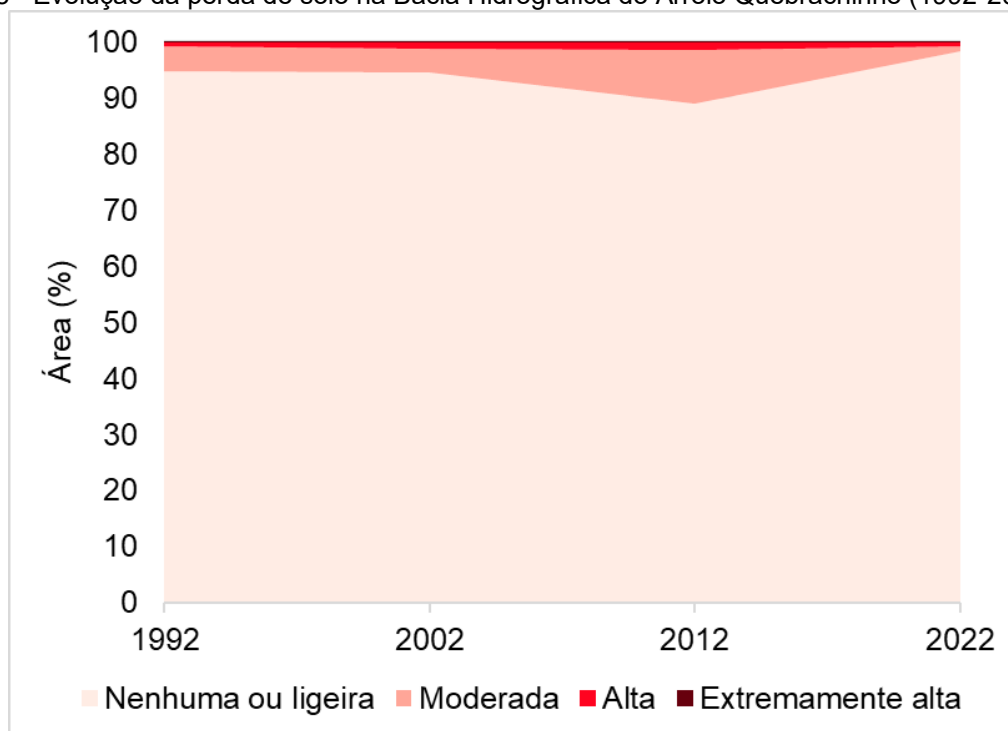
A classe “Alta” também apresentou incremento discreto, enquanto a classe “Extremamente Alta” manteve participação pouco expressiva (0,1%), indicando que as perdas mais severas permanecem espacialmente restritas. Embora a predominância de baixas taxas de perda sugira relativa estabilidade ambiental da bacia, o aumento das classes intermediárias revela tendência de intensificação localizada dos processos erosivos, diretamente associada às transformações no uso e manejo do solo e à substituição de áreas naturais por cultivos temporários.

Tabela 6 - Levantamento das classes de perda de solos ocorrentes na Bacia Hidrográfica do Arroio Quebrachinho (1992-2022)

Classes	1992		2002		2012		2022	
	Área (km ²)	Área (%)	Área (km ²)	Área (%)	Área (km ²)	Área (%)	Área (km ²)	Área (%)
Nenhuma ou ligeira	93,8	94,6	93,4	94,5	87,8	88,9	87,8	88,9
Moderada	4,4	4,4	4,2	4,2	9,5	9,6	9,5	9,6
Alta	0,8	0,8	1	1	1,3	1,3	1,3	1,3
Extremamente alta	0	0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Total	99	100	98,76	100	98,7	100	98,7	100

Fonte: Autores (2026)

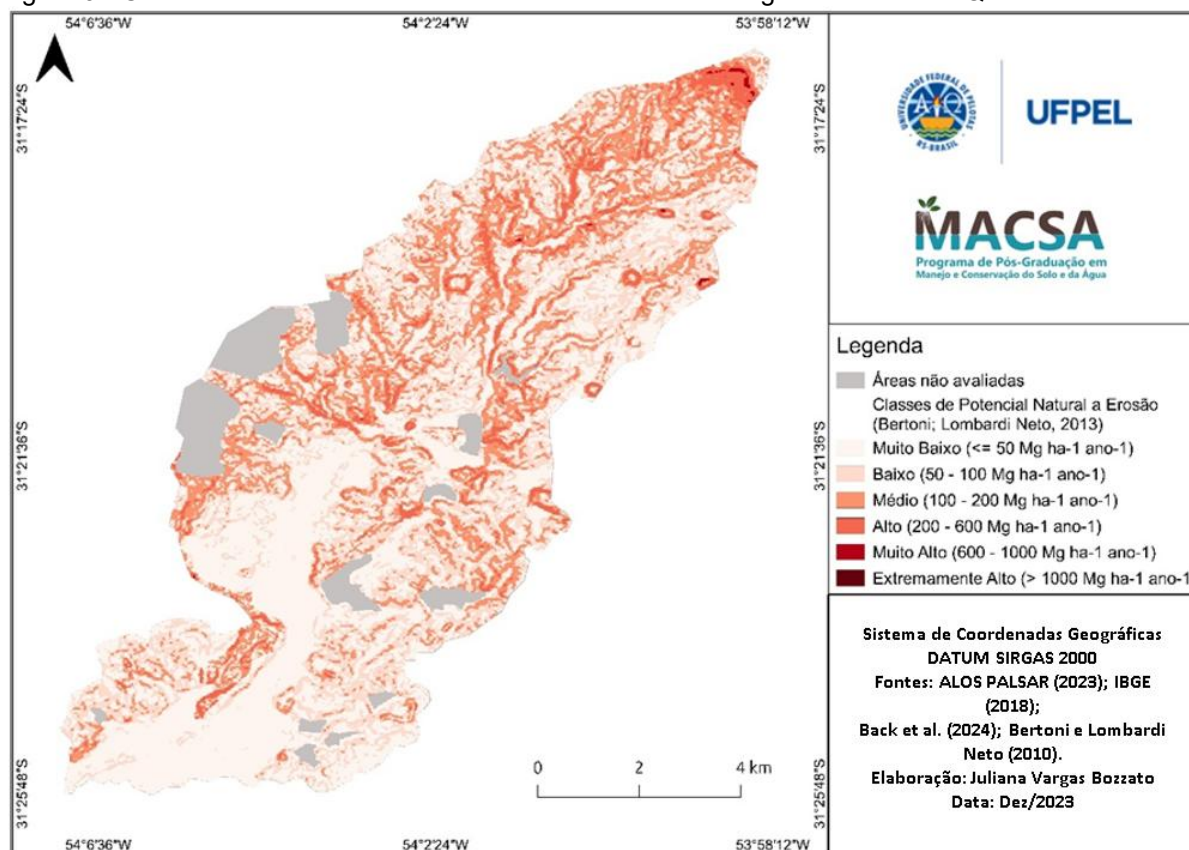
Figura 8 - Evolução da perda de solo na Bacia Hidrográfica do Arroio Quebrachinho (1992-2022)



Fonte: Autores (2026)

Conforme Figura 9 e Tabela 7, o PNE revela a predominância das classes “Muito Baixo” (39,4%) e “Baixo” (32,4%), evidenciando que grande parte da bacia apresenta suscetibilidade natural reduzida aos processos erosivos. A predominância de perdas de solo na classe “Nenhuma ou ligeira” na BHAQ, situando-se em torno de 88,9% em 2022 (Tabela 6), apresenta estreita semelhança com os resultados observados por Oliveira *et al.* (2023) na bacia hidrográfica do rio Itacolomi (CE), onde observaram a predominância de 96,12% da área na classe de “Nenhuma” ou “Ligeira” perda de solo, condição diretamente associada ao alto percentual de proteção e configuração do relevo. Semelhantemente, esse padrão de estabilidade em áreas manejadas corrobora os resultados discutidos por Sales *et al.* (2024) em outras bacias hidrográficas brasileiras.

Figura 9 - Classes de Potencial Natural à Erosão da Bacia Hidrográfica do Arroio Quebrachinho.



Fonte: Autores (2026).

Embora a proporção registrada na Bacia do Arroio Quebrachinho seja inferior à observada no estudo citado, ambos os casos demonstram que a baixa energia do relevo exerce papel determinante na redução da suscetibilidade natural à erosão hídrica.

As classes Média, Alta e superiores concentram-se, principalmente, nas áreas de maior declividade, associadas às vertentes mais íngremes e setores de maior comprimento de rampa. Esse padrão espacial demonstra que, embora a bacia não apresente elevada vulnerabilidade natural de forma generalizada, existem compartimentos geomorfológicos específicos que configuram áreas estruturalmente mais sensíveis à erosão hídrica.

Tabela 7 - Classes de Potencial Natural à Erosão da Bacia Hidrográfica do Arroio Quebrachinho

Classe	km ²	%
Muito baixo	39,6	39,40
Baixo	32,6	32,43
Média	22,8	22,68
Alto	5,4	5,37
Extremamente Alto	0,1	0,09
Total	100,5	100

Fonte: Autores (2026)

Ao integrar o PNE com a relação à evolução histórica do uso da terra e cobertura, observa-se que a perda do solo, simulada com os dados aqui apresentados, é baixa. Contudo, quando ajustada à projeção de tendência observada no levantamento,

devido à contínua substituição de áreas naturais por lavouras, estima-se um aumento expressivo na vulnerabilidade dessas áreas no futuro.

Os cultivos temporários estão frequentemente associados ao manejo convencional, prática que, ao promover o revolvimento do solo, reduz a estabilidade estrutural e aumenta sua suscetibilidade ao desprendimento de partículas. Esse evento ainda sofre aumento expressivo devido ao fato de a soja possuir menor densidade aérea (dossel vegetativo) durante parte do ciclo de vida, o que proporciona menor proteção ao impacto direto das gotas de chuva, gerando maior energia cinética sob o solo, o que potencializa os processos erosivos.

Considerações finais

A dinâmica espaço-temporal da bacia hidrográfica do Arroio Quebrachinho evidencia um avanço contínuo das áreas antropizadas em detrimento da Formação Campestre nativa, impulsionado pela expansão das lavouras temporárias, com destaque para a cultura da soja. Embora a modelagem aponte que as perdas de solo atuais se concentrem nas classes “Nenhuma” ou “Ligeira”, o cenário favorecido pelo relevo predominantemente suave-ondulado, em mais de 70% da área, a alteração do uso da terra gera um alerta hidrossedimentológico para as próximas décadas.

Com a transição de áreas de vegetação natural para o cultivo agrícola, ocorre desestruturação progressiva dos agregados superficiais do solo, reduzindo a macroporosidade e favorecendo a compactação. Sob o cultivo da soja, que apresenta menor densidade de dossel nas fases iniciais de desenvolvimento, o solo fica mais exposto à energia cinética das gotas de chuva. Esse fenômeno intensifica o desprendimento de partículas e o selamento superficial, reduzindo as taxas de infiltração e acelerando o escoamento responsável pela erosão hídrica e pelo transporte de partículas finas de solo, gerando poluentes para os corpos d'água.

Para mitigar essa vulnerabilidade natural e garantir a sustentabilidade da bacia, é indispensável a adoção de práticas conservacionistas alinhadas às classes de declividade do terreno. Nas áreas de relevo suave (declives de até 8%), recomenda-se a consolidação do Sistema Plantio Direto (SPD) de qualidade, associado à rotação de culturas com espécies de sistema radicular intenso (como gramíneas forrageiras) e plantas de cobertura, mantendo a proteção do solo durante a entressafra. Além do uso estratégico de manejo mínimo do solo, com a escarificação mecânica, que pode atuar na ruptura de camadas compactadas rasas, restabelecendo a dinâmica de percolação de água no perfil.

Já as subáreas mais declivosas (8 a 20%), nas quais se concentram os maiores potenciais erosivos (classes “Médio” e “Alto”), torna-se indispensável a implantação de estruturas físicas como terraços e a semeadura em nível. Essas intervenções mecanizadas garantirão o seccionamento do comprimento de rampa, reduzindo a velocidade e a capacidade de cisalhamento do escoamento superficial, assegurando, assim, a integridade física dos solos da região e o abrandamento da degradação ambiental.

Referências

ALASKA SATELLITE FACILITY (ASF). **ALOS PALSAR** - Radiometric Terrain Corrected High Res. Fairbanks: ASF DAAC, 2023. Disponível em: <https://asf.alaska.edu>. Acesso em: 23 nov. 2025.

ALBUQUERQUE, E. M.; LIMA, E. R. V. Proposta metodológica de avaliação da suscetibilidade à degradação ambiental. **Sociedade & Natureza**, [S. l.], v. 35, e67360, 2023. DOI: 10.14393/SN-v35-2023-67360

BACK, A. J.; SOUZA, G. S.; GALATTO, S. L.; MAZURANA, M. Índice de erosividade baseado nas normais climatológicas de 1991 a 2020 para o Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, [S. l.], v. 29, e1, 2024 - DOI: 10.1590/2318-0331.292420230135.

BERA, A. Estimation of soil loss by USLE model using GIS and remote sensing techniques: A case study of Muhuri River Basin, Tripura, India. **Eurasian Journal of Soil Science**, [S. l.], v. 6, n. 3, p. 206-215, 2017 - DOI: 10.18393/ejss.288350

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. São Paulo: Ícone, 2010.

BRASIL. **Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012**. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. Código Florestal. Brasília: Diário Oficial da União, 2012.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Sistema de Cadastro Ambiental Rural (SisCAR)**. Brasília: MMA, 2025. Disponível em: <https://www.car.gov.br>. Acesso em: 15 dez. 2025.

CORDEIRO, A. P. A.; ALVES, R. DE C. M.; ROCHA, M. B. da. Caracterização agroclimática de Bagé, RS. **Agrometeoros**, v. 27, n. 2, 2020.

DESMET, P. J. J.; GOVERS, G. A GIS procedure for automatically calculating the USLE LS factor on topographically complex landscape units. **Journal of Soil and Water Conservation**, [S. l.], v. 51, n. 5, p. 427-433, 1996. DOI: 10.1080/00224561.1996.12457102

ESTEVES, F. A. **Fundamentos de Limnologia**. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL HENRIQUE LUIS ROESSLER (FEPAM). **Base Cartográfica RS- Seção 01 - Hidrografia**. Porto Alegre: Fepam, 2025. Disponível em: http://ww2.fepam.rs.gov.br/bcrs25/Secao_1_Hidrografia.zip. Acesso em: 18 dez. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Mapeamento de Recursos Naturais do Brasil - Pedologia (Escala 1:250.000)**. Rio de Janeiro: IBGE, 2018. Disponível em: https://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/pedologia/vetores/escala_250_mil/versao_2018/. Acesso em: 15 nov. 2025.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). Sistema de Suporte à Decisão na Agropecuária (SISDAGRO): **Balanco Hídrico Sequencial**. Brasília, DF: Ministério da Agricultura e Pecuária, 2023. Disponível em: <https://sisdagro.inmet.gov.br/sisdagro/bhs>. Acesso em: 15 nov. 2025.

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

MANNIGEL, A. R.; CARVALHO, M. P.; MORETI, D.; MEDEIROS, L. R. Fator erodibilidade e tolerância de perda dos solos do Estado de São Paulo. **Acta Scientiarum**, v. 24, n. 5, p. 1335-1340, 2002. DOI: 10.4025/actasciagron.v24i0.2374

MAPBIOMAS. **Coleção 8 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso do Solo do Brasil (1985-2022)**. São Paulo: MapBiomass, 2023. Disponível em: <https://mapbiomas.org>. Acesso em: 15 out. 2025.

MARTINS, M. F.; SUZUKI, L. E. A. S.; MILANI, I. C. B.; PEDRON, F. A.; DUART, M. A. Nível freático e caracterização do solo em área de expansão imobiliária no município de Pelotas-RS. **Revista Sítio Novo**, [S. l.], v. 8, n. 3, p. 86-106, 2024. DOI: 10.47236/2594-7036.2024.v8.i3.86-106p.

MICHEL, H. K.; LIMA, R. S.; FELTRIN, R. M. Diagnóstico da perda de solo por erosão laminar na bacia hidrográfica do Rio Pardo, Sul do Brasil. **Revista de Geografia**, [S. l.], v. 42, n. 3, p. 246-273, 2025. DOI: 10.51359/2238-6211.2025.266924.

NACHTIGALL, S. D.; NUNES, M. C. M.; MOURA-BUENO, J. M.; LIMA, C. L. R.; MIGUEL, P.; BESKOW, S.; SILVA, T. P. Modelagem espacial da erosão hídrica do solo associada à sazonalidade agroclimática na região sul do Sul, Brasil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 25, n. 6, p. 933-946, 2020. DOI: 10.1590/s1413-4152202020190136.

OLIVEIRA, A. K. B.; MEDEIROS, J. C.; ARAUJO, J. C.; SILVA, M. C. Ação antrópica na erosão de solo em bacias hidrográficas do semiárido brasileiro. **Holos**, [S. l.], v. 39, n. 8, e16838, 2023a. DOI: 10.15628/holos.2023.16838

OLIVEIRA, P. T. S.; NEARING, M. A.; WENDLAND, E. Orders of magnitude increase in soil erosion associated with land use change from native to cultivated vegetation in a Brazilian savannah environment. **Earth Surface Processes and Landforms**, [S. l.], v. 40, n. 11, p. 1524-1532, 2015. DOI: 10.1002/esp.3738

OLIVEIRA, U. C.; CIDRAL, W. R. S.; SILVA, I. S.; Evangelista, J. P. Distribuição espacial da perda de solo na bacia hidrográfica do rio Itacolomi, Ceará, Brasil. **Ciência Geográfica - Bauru**, [S. l.], v. 27, n. 2, p. 959-974, 2023. DOI: 10.57243/26755122.XXVII2035.

RENARD, K. G.; FOSTER, G. R.; WEESIES, G. A.; McCOOL, D. K.; YODER, D. C. Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). **Agriculture Handbook**, [S. l.], n. 703, p. 1-404, 1997.

SALES, J. C. A.; ARANTES, L. T.; NERY, L. M.; SANTOS, A. P.; SILVA, D. C. C.; LOURENÇO, R. W. Análise espacial do carreamento de sedimentos por área de

contribuição de afluentes sem cobertura vegetal na bacia hidrográfica do Rio Una. **GeoFocus**, [S. l.], n. 34, p. 45-62, 2024. DOI: 10.21138/GF.856

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE E INFRAESTRUTURA (SEMA) do Rio Grande do Sul. **Base cartográfica vetorial contínua do Rio Grande do Sul - escala 1:25.000**. Porto Alegre: SEMA, 2018. Disponível em: <https://www.sema.rs.gov.br>. Acesso em: 22 dez. 2025.

SILVA, D. C. da C. E.; ALBUQUERQUE FILHO, J. L.; SALES, J. C. A.; LOURENÇO, R. W. Identificação de áreas com perda de solo acima do tolerável usando NDVI para o cálculo do fator c da USLE. Ra'e Ga: **O Espaço Geográfico em Análise**, v. 42, p. 72–85, 2017. DOI: 10.5380/raega.v42i0.45524.

SILVA, M. N.; CHERUBIN, M. R. Soil quality literature in Brazil: a systematic review. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 46, e0210103, p. 1-21, 2022. DOI: 10.36783/18069657rbc20210103

SILVA, R. J. N.; SOBRAL, R. V. S.; SOARES, A. C. L.; MENDONÇA, L. M.; CRUZ, J. S.; BLANCO, C. J. C. Impacto das mudanças climáticas e de uso e cobertura da terra na perda de solo de pequenas bacias hidrográficas da Amazônia e do Cerrado. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, [S. l.], v. 21, e19, 2024. DOI: 10.21168/reg.v21e19.

SILVA, S. G.; GIASSON, É.; SENA, A. F. S.; BOSCO, V. D.; BAMPI, E. F. Levantamento dos solos e avaliação da aptidão agrícola das terras da bacia do arroio Faxinal. **Revista Sítio Novo**, [S. l.], v. 8, n. 4, p. 124-138, 2024a. DOI: 10.47236/2594-7036.2024.v8.i4.124-138p

STRECK, E. V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R. S. D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P. C.; GIASSON, E.; PINTO, L. F. S.; FLORES, C. A.; SCHNEIDER, P. **Solos do Rio Grande do Sul**. 3. ed., rev. e ampl. Porto Alegre: Emater/RS-Ascar, 2018.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. **Agriculture Handbook**, [S. l.], n. 537, p. 1-58, 1978.

Informações complementares

Descrição		Declaração
Financiamento		Bolsas de estudos CAPES de Pós-Graduação (Nível de Doutorado).
Aprovação ética		Não se aplica.
Conflito de interesses		Não há.
Disponibilidade dos dados de pesquisa subjacentes		O trabalho não é um <i>preprint</i> e os conteúdos subjacentes ao texto da pesquisa estão contidos neste artigo.
Uso de Inteligência Artificial		Sim. Revisão textual pelo Grammarly Inc. (versão <i>desktop</i> 2026).
CrediT	Juliana Vargas Bozzato	Funções: conceitualização, curadoria de dados, investigação e metodologia.
	Valdenir Pereira Morais	Funções: análise formal, visualização, escrita – rascunho original, escrita – revisão e edição.
	Mélory Maria Fernandes de Araújo	Funções: investigação, metodologia, análise formal, validação, escrita – revisão e edição.

Maico Danúbio Duarte Abreu	Funções: análise formal, metodologia, visualização e escrita – rascunho original.
Edvânia Aparecida Corrêa Alves	Funções: conceitualização, curadoria de dados, supervisão e validação.

Avaliadores: Dra. Larissa Andrade de Aguiar* (Instituto Federal de Brasília. Distrito Federal, Brasil) e Dr. Édio Luiz Costa* (Universidade Federal de São João del Rei. Minas Gerais, Brasil).

Revisor do texto em português: Marco Aurélio Mello.

Revisora do texto em inglês: Patrícia Luciano de Farias Teixeira Vidal.

Revisora do texto em espanhol: Graziani França Claudino de Anicézio.

Como citar (ABNT):

BOZZATO, Juliana Vargas; MORAIS, Valdenir Pereira; ARAÚJO, Mélorly Maria Fernandes de; ABREU, Maico Danúbio Duarte; ALVES, Edvânia Aparecida Corrêa. Potencial natural à erosão e evolução das perdas de solo na bacia hidrográfica do Arroio Quebrachinho (1992-2022). **Revista Sítio Novo**, Palmas, v. 10, 2026. DOI: 10.47236/2594-7036.2026.v10.2069. Disponível em: <https://sitionovo.ifto.edu.br/index.php/sitionovo/article/view/2069>.

* Optou pela avaliação fechada e autorizou somente a divulgação da identidade como avaliador(a) no trabalho publicado.