


## Artigo de Pesquisa


**INFLUÊNCIA CLIMÁTICA E ANTRÓPICA NA EROÇÃO HÍDRICA DO SOLO, BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CANOAS-SC****Climatic and anthropogenic influence on soil water erosion, Canoas-SC River**

Priscila dos Santos Ribeiro<sup>1</sup>, Dênis José Cardoso Gomes<sup>2</sup>, Emily Amaro Pires<sup>3</sup>, Gustavo Francesco de Moraes Dias<sup>4</sup>


<sup>1</sup> Universidade Federal do Pará, Faculdade de Meteorologia, Belém-PA, Brasil. E-mail. [priscilaribeiro175@gmail.com](mailto:priscilaribeiro175@gmail.com)

 <https://orcid.org/0000-0002-8701-7459>


<sup>2</sup> Universidade do Estado do Pará, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Belém-PA, Brasil. E-mail. [deniss.feg@gmail.com](mailto:deniss.feg@gmail.com)

 <https://orcid.org/0000-0001-6441-6783>

<sup>3</sup> Universidade Federal do Pará, Faculdade de Meteorologia, Belém-PA, Brasil. E-mail. [emilyamaroipc@gmail.com](mailto:emilyamaroipc@gmail.com)

 <https://orcid.org/0000-0003-3330-0942>

<sup>4</sup> Instituto Federal do Pará, Departamento de Engenharia, Belém-PA, Brasil. E-mail. [gustavo.dias@ifpa.edu.br](mailto:gustavo.dias@ifpa.edu.br)

 <https://orcid.org/0000-0002-7681-2318>

Recebido em 27/01/2022 e aceito em 26/12/2022

**RESUMO:** O avanço acelerado do uso e cobertura do solo aliado aos eventos climáticos podem potencializar erosões do solo em áreas naturalmente instáveis. O objetivo deste trabalho é analisar espacialmente a erosão do solo sob influência da precipitação em anos de extremos climáticos e do avanço das ações antrópicas na bacia hidrográfica do rio Canoas, estado de Santa Catarina. Utilizou-se dados dos índices climáticos (Multivariate ENOS Index), a precipitação medida e estimada, classes de uso e cobertura do solo, a declividade e solos. Através do Sistema de Informações Geográfica (SIG) foi gerado os mapas das variáveis ambientais. A técnica de álgebra de mapas foi aplicada usando as variáveis ambientais para obter um produto de vulnerabilidade à erosão hídrica do solo nos anos de eventos extremos de 1988 (La Niña) e 2015 (El Niño) que provocaram maiores e menores precipitações anuais (1988 e 2015). Observou-se que a chuva, mesmo sob o ano de maior pluviosidade, não é suficiente para atingir um maior grau de vulnerabilidade. O uso e cobertura do solo demonstrou-se em processo de redução das áreas de pasto e zonas agropastoris. A declividade é predominante mais acentuada a leste, isto associado aos solos suscetíveis que dominam a bacia mostraram as áreas instáveis naturalmente. A vulnerabilidade à erosão hídrica do solo é maior nas áreas fortemente afetadas pela pastagem e zonas agropastoris em 1988. Apesar de haver áreas vulneráveis em 2015, as manchas menos intensas indicam que a redução das áreas de pasto e agropastoris podem estar mais relacionadas aos processos erosivos da região.

**Palavras-chave:** Clima; Uso e cobertura do solo; Degradação ambiental.

**ABSTRACT:** Accelerated advances combined with climatic events can potentiate soil erosion in naturally unstable areas. The objective of this work is to analyze how, spatially, climatic extreme events (via precipitation) and the advance of anthropic actions affected soil erosion in the Canoas River Basin. The study area is located in the state of Santa Catarina. Data from climate indices (Multivariate ENOS Index), measured and estimated precipitation, land use and cover, slope and soils

were used. Through the Geographic Information System (GIS), maps of environmental variables were generated by geoprocessing. The map algebra technique was applied using the environmental variables to obtain a soil water erosion risk product in the extreme event years of 1988 (La Niña) and 2015 (El Niño) that caused the highest and lowest annual rainfall. It was observed that rain, even in the year with the highest rainfall, is not enough to achieve a greater degree of vulnerability. The land use and land cover showed to be in a process of decreasing pasture areas and agro-pastoral zones. The slope is more accentuated to the east and some points in the other areas, associated with the susceptible soils that dominate the basin, show naturally unstable areas. The vulnerability to soil water erosion is more vulnerable in areas heavily affected by pasture and agropastoral zones in 1988. Although there is some risk in 2015, the less intense patches indicate that the reduction in pasture and agropastoral areas may be more related to erosion processes in the region.

**Keywords:** Climate; Land use and land cover; Environmental degradation.

## INTRODUÇÃO

O avanço acelerado e geralmente desordenado das ações antrópicas, seja para expansão urbana (SILVA; SANCHES, 2010; SILVA, 2015) e/ou das atividades agrícolas acarretam em um aumento na degradação do solo, mesmo com aplicações de técnicas que favorecem a diminuição dos processos erosivos (ABDALA et al., 2016). Nos últimos anos, as mudanças climáticas provocaram diversas consequências na superfície terrestre através da precipitação, como desastres naturais (Gomes et al., 2021c) e erosão do solo (NEARING et al., 2004).

A erosão do solo é um fenômeno terrestre decorrente da desagregação e carreamento de sedimentos induzido pela precipitação quando atinge o solo, em que o escoamento superficial da água pluvial contribui para a degradação da área (VOLK et al., 2004; SANTOS et al., 2017) e aumento da vulnerabilidade natural (KLAIS et al., 2012). Cada região é marcada por distintas suscetibilidades do solo, em que a declividade e pedologia são fatores naturais diferenciadores neste sentido (VIEL et al., 2017), indicando áreas a serem classificadas como naturalmente instáveis devido aos declives acentuados, associados a solos com alta erodibilidade que favorecem a ocorrência de enxurradas (VOLK et al., 2004), tornando locais com essas características sensíveis a eventos extremos de chuvas intensas (FANG et al., 2014).

Tais processos erosivos são dependentes da variabilidade espaço-temporal pluviométrica e sua interação com as demais componentes geoambientais, pois esses fenômenos são intensificados em paisagens naturalmente instáveis como regiões montanhosas (PIACENTINI et al., 2018). O terreno íngreme e acidentado favorece o transporte de partículas através do fluxo hídrico superficial sob a influência de chuvas intensas, o que potencializa o surgimento de ravinas e sulcos agravando a instabilidade desta região (MARTÍNEZ-CASASNOVAS et al., 2002).

Gomes et al. (2021a) observou que os fenômenos climáticos impactam através da precipitação na erosão do solo na Amazônia, isto levanta questionamentos do quanto essas oscilações atmosféricas possam afetar a estabilidade do solo em outras regiões brasileiras. Pois, tais fenômenos favorecem a ocorrência de chuvas extremas (UMMENHOFER et al., 2015; YU et al., 2017). Contudo, algumas áreas

marcadas com intensas modificações em sua paisagem natural motivado por ações antrópicas pode influenciar mais na erosão do solo (GOMES et al., 2021b).

Desta forma, as mudanças do uso e ocupação da terra de modo não sustentável podem potencializar a erosão natural do solo, pois segundo Alves et al. (2016) a intensificação do consumismo alimentar devido ao aumento populacional gera maiores demandas do setor agrícola, tornando um cenário crítico com a elevação da produção em larga escala que exige mais áreas e conseqüentemente a supressão florestal, deixando o solo desprotegido das ações erosivas da chuva.

Tais problemáticas da relação entre o ser humano e as florestas são agravadas em anos de extremos climáticos (COSTA; BLANCO, 2018), acometendo perdas em toneladas ao ano de solos férteis e gerando sérios prejuízos ao agronegócio, principal base econômica brasileira (ALVES et al., 2016; ALMAGRO et al., 2017). Assim, o entendimento sobre a erosão do solo relacionado com os fatores que favorecem e reduzem este tipo de desastre natural é fundamental para a diminuição dos impactos ambientais de sua ocorrência.

No estado de Santa Catarina, os altiplanos que indicam alta declividade (SORDI et al., 2016) somados aos solos com alta erodibilidade (BERTOL; ALMEIDA (2000) sob diversificadas formas de uso da terra, como práticas agrícolas e urbanização (CHAVES, 2017), torna a região instável quando há chuvas intensas associadas a fenômenos climáticos como o El Niño (MINUZZI, 2018). Este cenário fomenta discussões acerca do quanto o solo é vulnerável com a ação conjunta dessas componentes.

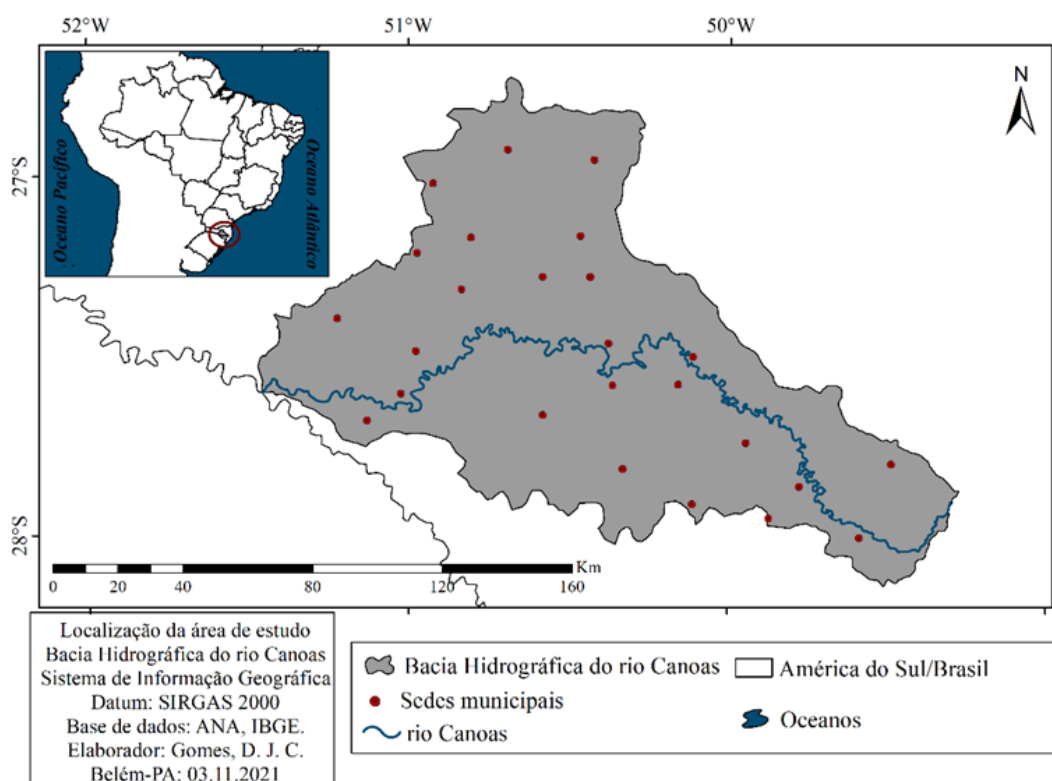
Neste sentido, o objetivo deste trabalho é analisar o quanto os fenômenos climáticos através da precipitação e as ações antrópicas influenciaram na vulnerabilidade à erosão hídrica do solo na Bacia Hidrográfica do rio Canoas (BHC).

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Área de estudo

A BHC (Figura 1) localiza-se no estado de Santa Catarina com o número de habitantes de aproximadamente 412.653 distribuídos em uma área de 14.898 km<sup>2</sup>, onde a nascente do rio Canoas situa-se nas proximidades da cidade de Urubici percorrendo para até a sua foz a oeste (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2006).

A região apresenta climatologia do regime de chuvas com médias anuais de 1650 mm a 1850 mm, temperaturas do ar mínimas de 10 °C e máximas de 23 °C, umidade relativa do ar de 76 % e ventos de noroeste com intensidade de 3 m/s (INMET, 2021). O relevo é caracterizado pelos terrenos mais baixos (1 m – 306 m) ao sul e sudoeste, com a elevação altimétrica (463 m – 616 m) a noroeste e os maiores relevos (773 m – 1.266 m) a nordeste (INPE, 2021). As feições geomorfológicas da BHC são marcadas pelo domínio dos Planaltos com alguns pontos de planícies, em que estão associados a composição litológica de rochas sedimentares (IBGE, 2021).



**Figura 1.** Localização da área de estudo: Bacia Hidrográfica do rio Canoas-SC.  
**Fonte:** Autor (2021).

### Aquisição e processamento de dados

Os dados dos índices climáticos usados foram o *Multivariate ENOS Index* (MEI) e obtiveram-se no site da *National Oceanic and Administration Atmospheric* (NOAA, 2021). A precipitação adquiriu-se por meio do pluviômetro (código: 2750009) da ANA (2021) na plataforma *HidroWeb*. A distribuição pluviométrica da BHC foi produzida por interpolação com base nos dados do GPCC (2020), conforme utilizados em Becker et al. (2013) e Gomes et al. (2020). O uso e ocupação da terra adotou-se as classes do Projeto MapBiomas (2021), extraído no *Google Engine Earth* e gerado por geoprocessamento no Sistema de Informações Geográficas (SIG). A declividade da superfície terrestre obteve-se de INPE (2021). Os tipos de solos presentes na BHC basearam-se conforme a classificação do Sistema Brasileiro de classificação de Solos (EMBRAPA, 2018).

Os dados hidroclimáticos foram organizados no software Excel 2016 para confecção das figuras que representam a variação temporal. Utilizou-se o índice climático MEI para identificar os anos extremos de La Niña e El Niño (WOLTER; TIMLIM, 2011; SODRÉ et al., 2018). Calculou-se a média da precipitação anual e seu desvio padrão para observar a influência de mecanismos climáticos oriundos do acoplamento oceano-atmosfera por meio da relação entre os padrões dos índices climáticos e a precipitação (JORGE; LUCENA, 2018). Seguindo ainda a metodologia desses autores, identificou-se o déficit (superávit) hídrico observando a menor (maior) pluviosidade de 1988 a 2015, baseando-se nos anos extremos que atingiram

um acumulado de chuva abaixo (acima) da média histórica e do desvio padrão, o que reflete os efeitos dos eventos de La Niña (El Niño) na região do BHC. Utilizou-se a distribuição espacial da precipitação apenas desses anos de extremos como componente no cálculo do produto final de erosão do solo.

A técnica de álgebra de mapas usada neste trabalho, em que os produtos das variáveis ambientais (precipitação, uso da terra, declive e solo) são correlacionados espacialmente por meio de ferramentas matemáticas em ambiente SIG (PAVANIN et al., 2012), calculando-se a vulnerabilidade à erosão hídrica do solo como mostra a Eq. 1 (CREPANI et al., 2001; RIBEIRO; CAMPOS, 2007; XAVIER et al., 2016) com base nos dados rasterizados (variáveis ambientais) pela função calculadora de raster.

$$V = \frac{P+U+D+S}{4} \quad (1)$$

Onde: V = Vulnerabilidade à erosão hídrica do solo; P = Precipitação pluvial (mm); U = Uso e ocupação da terra; D = Declividade (Graus); S = Solos.

Na análise da vulnerabilidade à erosão foram adotados os critérios ilustrados na Tabela 1, apresentando a relação escalar da vulnerabilidade com a classificação de acordo com estabilidade e/ou vulnerabilidade das variáveis ambientais, sendo os pesos atribuídos conforme a reclassificação de cada variável.

**Tabela 1.** Escala e reclassificação de Vulnerabilidade à erosão hídrica do solo.

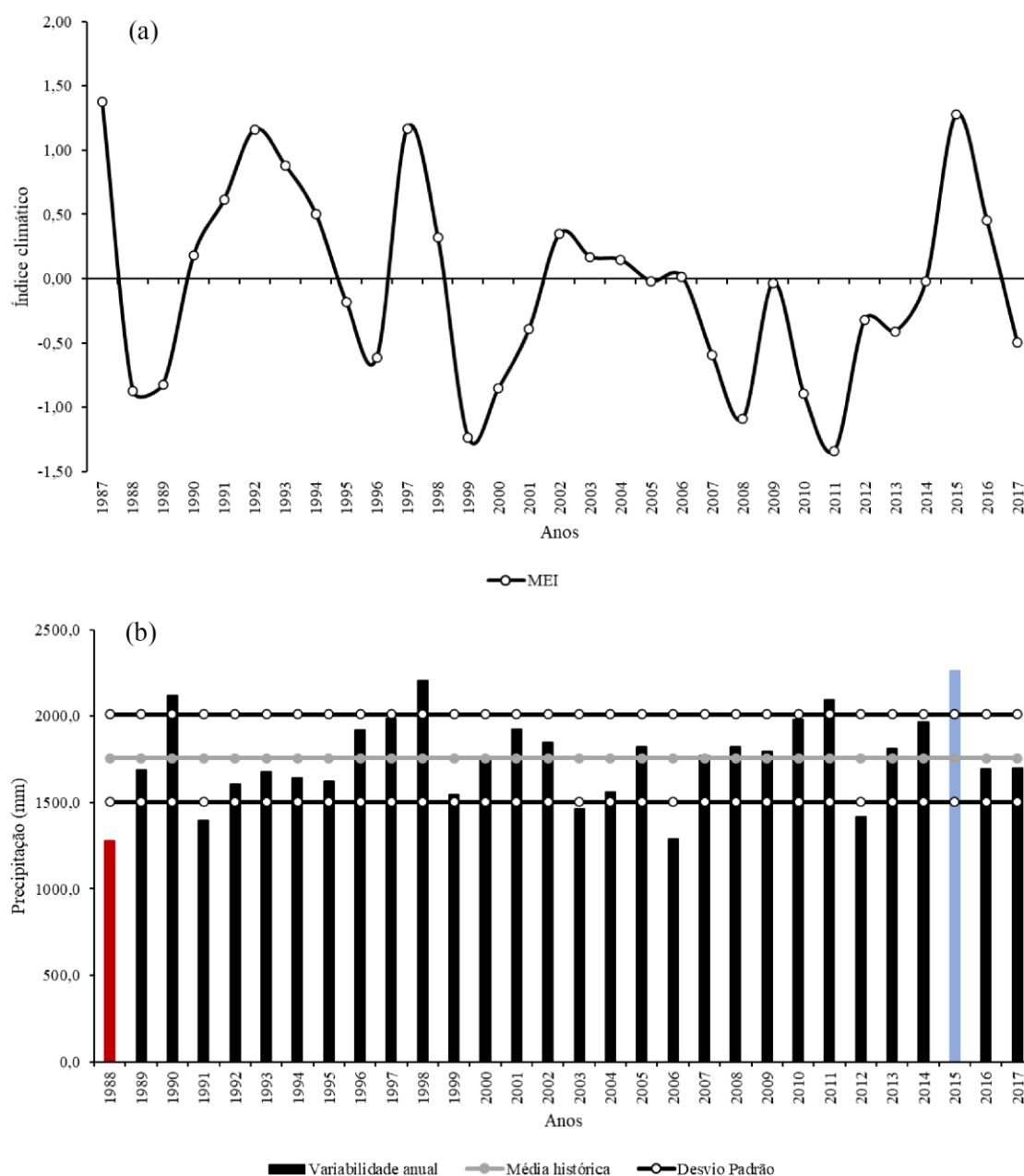
<b>Grau de Vulnerabilidade (V)</b>	<b>Escalas de valores</b>	<b>Critérios</b>
<b>Vulnerável</b>	$V > 2,6$	Processos de retrabalhamento das formas de relevo são preponderantes
<b>Moderadamente Vulnerável</b>	$2,2 < V \leq 2,6$	Existe o retrabalhamento superior as formas de estabilidade
<b>Medianamente Estável/Vulnerável</b>	$1,7 < V \leq 2,2$	O padrão de estabilidade e retrabalhamento das formas de relevo são próximos
<b>Moderadamente Estável</b>	$1,3 < V \leq 1,7$	Existe o retrabalhamento inferior as formas de estabilidade
<b>Estável</b>	$V < 1,3$	A estabilidade das formas de relevo é preponderante

**Fonte:** Autor (2021). Adaptado de Ribeiro e Campos (2007).

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 2a destaca o índice MEI correspondendo a interação oceano-atmosfera do Pacífico tropical (Pt), em que os menores valores aconteceram nos anos de 1988 (-0,87), 1989 (-0,82), 1996 (-0,62), 1999 (-1,24), 2000 (-0,85), 2007 (-0,60), 2008 (-1,1), 2010 (-0,89) e 2017 (-0,50), sugerindo águas anormalmente frias do Pt e

tendências de formação do La Niña, favorecendo a diminuição pluvial na BHC via teleconexão (SPINELLI et al., 2020). Os anos de aquecimento anômalo das águas do Pt são indicadas pelo MEI em 1987 (1,37), 1991 (0,62), 1992 (1,16), 1993 (0,88), 1994 (0,50) e 2015 (1,28), isto significa que houve condições oceânicas e atmosféricas para a presença do fenômeno El Niño, que eleva os níveis pluviométricos na região da BHC.



**Figura 2.** (a) Índice climático (1987-2017) e (b) variabilidade pluviométrica (1987-2017): Bacia Hidrográfica do rio Canoas. Cores: vermelha (déficit pluvial) e azul (excedente pluvial).  
**Fonte:** Autores (2021).

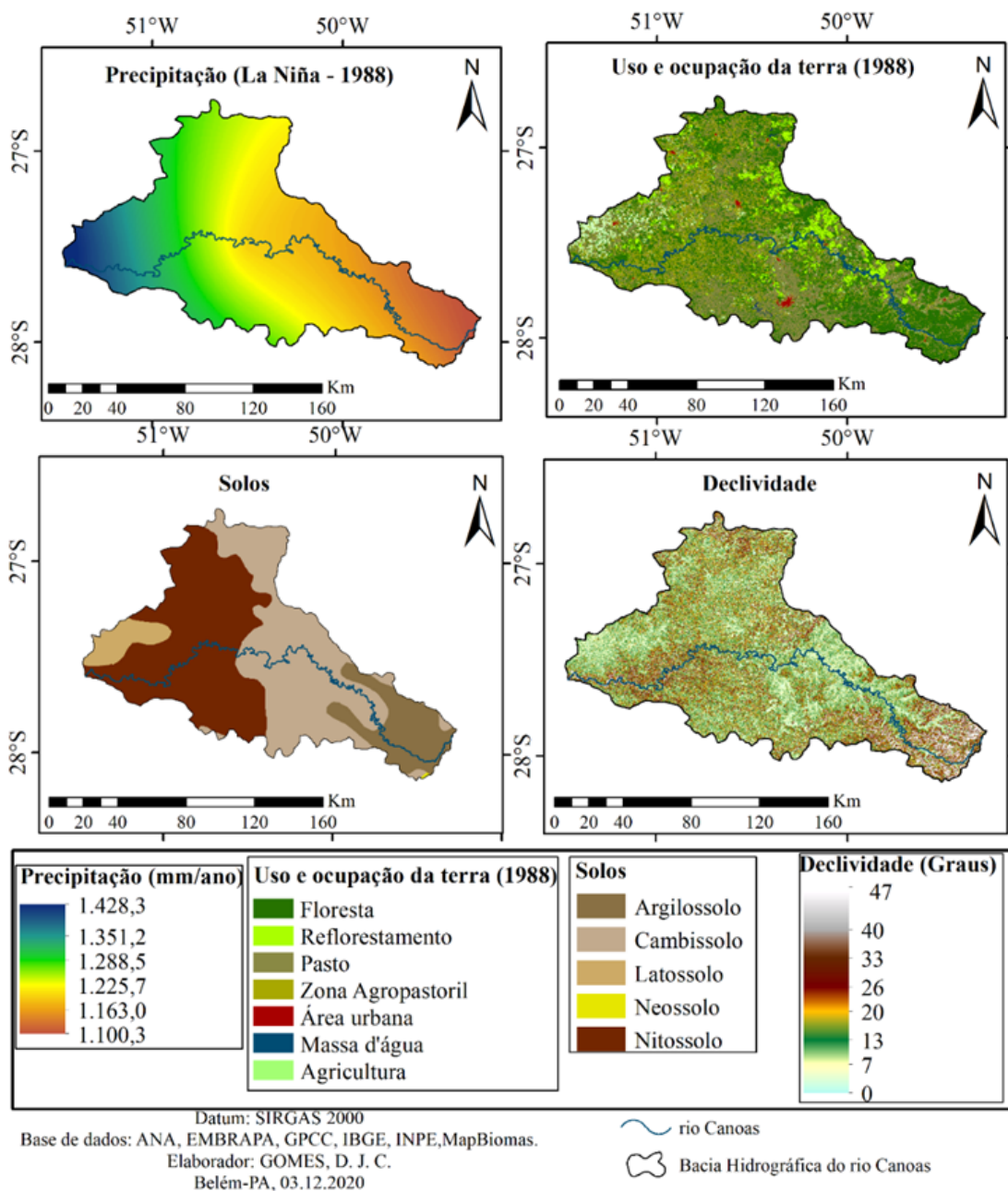
Na Figura 2b, observa-se a variabilidade anual pluviométrica (1988-2017) na BHC. O ano de 1988 (1.276 mm) ocorreu a menor precipitação com 27% abaixo da média e 15% do desvio padrão, provavelmente refletindo os efeitos das anomalias de TSM negativas do Pt do La Niña, inibindo a produção da chuva em Santa Catarina (MINUZZI, 2018). Em 2015 (2.261 mm) houve a maior pluviosidade anual, com 22% maior que a média histórica e 11% do desvio padrão devido o El Niño forte (JORGE; LUCENA, 2018).

A Figura 3 ilustra as variáveis ambientais analisadas da BHC. A precipitação média anual (1988) variando de forma crescente no sentido Leste-Oeste, marcado pelas menores chuvas (1.100 mm-1.163 mm) no Alto Canoas. Na parte central observou-se valores médios da pluviosidade (1.225 mm-1.288 mm) no trecho do Médio Canoas. Os maiores montantes pluviais (1.351 mm-1.428 mm) são identificados no Baixo Canoas.

O mapa de uso e ocupação da terra (1988) mostrou que a Floresta é a maior classe em extensão territorial abrangendo cerca de 6.306 km<sup>2</sup> (43%) principalmente a sudeste, indicando o setor mais preservado e favorecendo a estabilização do solo e equilíbrio do fluxo hídrico no Alto Canoas. Em seguida, as áreas de Pasto destacam-se com 3.833 km<sup>2</sup> (26%) concentrando-se no extremo sul da parte central da BHC (margem esquerda do rio) mas também alguns pontos a parte setentrional e a leste (margem direita do rio), o que pode induzir a essas áreas um certo grau de processos erosivos. Assim como as Zonas Agropastoris situadas mais a oeste com 2.865 km<sup>2</sup> (19%) podem proporcionar instabilidades no solo. A categoria da Agricultura foi observada em maiores áreas a sudoeste na região do Baixo Canoas (margem direita do rio) com aproximadamente 566 km<sup>2</sup> (4%), aumentando a instabilização pedológica nessas áreas e na BHC, quando somadas as outras classes que intensificam ações degradantes ao solo.

As Áreas urbanas que representam os grandes núcleos municipais estão localizadas ao sul e a noroeste constituindo em torno de 65 km<sup>2</sup> (0,4%). Contudo, são observadas grandes áreas de Reflorestamento com 955 km<sup>2</sup> (6%), principalmente ao eixo Centro-Norte da BHC (margem direita do rio), sugerindo a presença de práticas sustentáveis. A Massa d'água compõe uma área de 67 km<sup>2</sup> (0,5%).

O solo da BHC é composto por cinco tipos, o Nitossolo é o maior espacialmente com cerca de 6.430 km<sup>2</sup> (43%) no Baixo Canoas, onde nesta mesma região há uma área de Latossolo com 715 km<sup>2</sup> (5%). O Cambiossolo é a segunda maior extensão pedológica em torno de 5.641 km<sup>2</sup> (38%), distribuída principalmente no Médio Canoas. O Argilossolo é observado com 1.867 km<sup>2</sup> (12%) na região do Alto Canoas, em que no extremo sudeste há uma pequena porção de Neossolo abrangendo 6,5 km<sup>2</sup> (0,04%). A BHC é marcada por uma alta variabilidade clinográfica, sendo os declives mais baixos (0° - 13°) no centro e á margem direita do rio (Baixo Canoas). Inclinações angulares de terreno mais elevadas (20° - 26°) são identificadas na maior parte associadas às maiores zonas de declividade (33° - 47°), no Alto e Baixo Canoas além de uma área no extremo norte.



**Figura 3.** Variáveis ambientais: precipitação (La Niña – 1988), uso e ocupação da terra (1988), solos, declive. **Fonte:** Autores (2021).

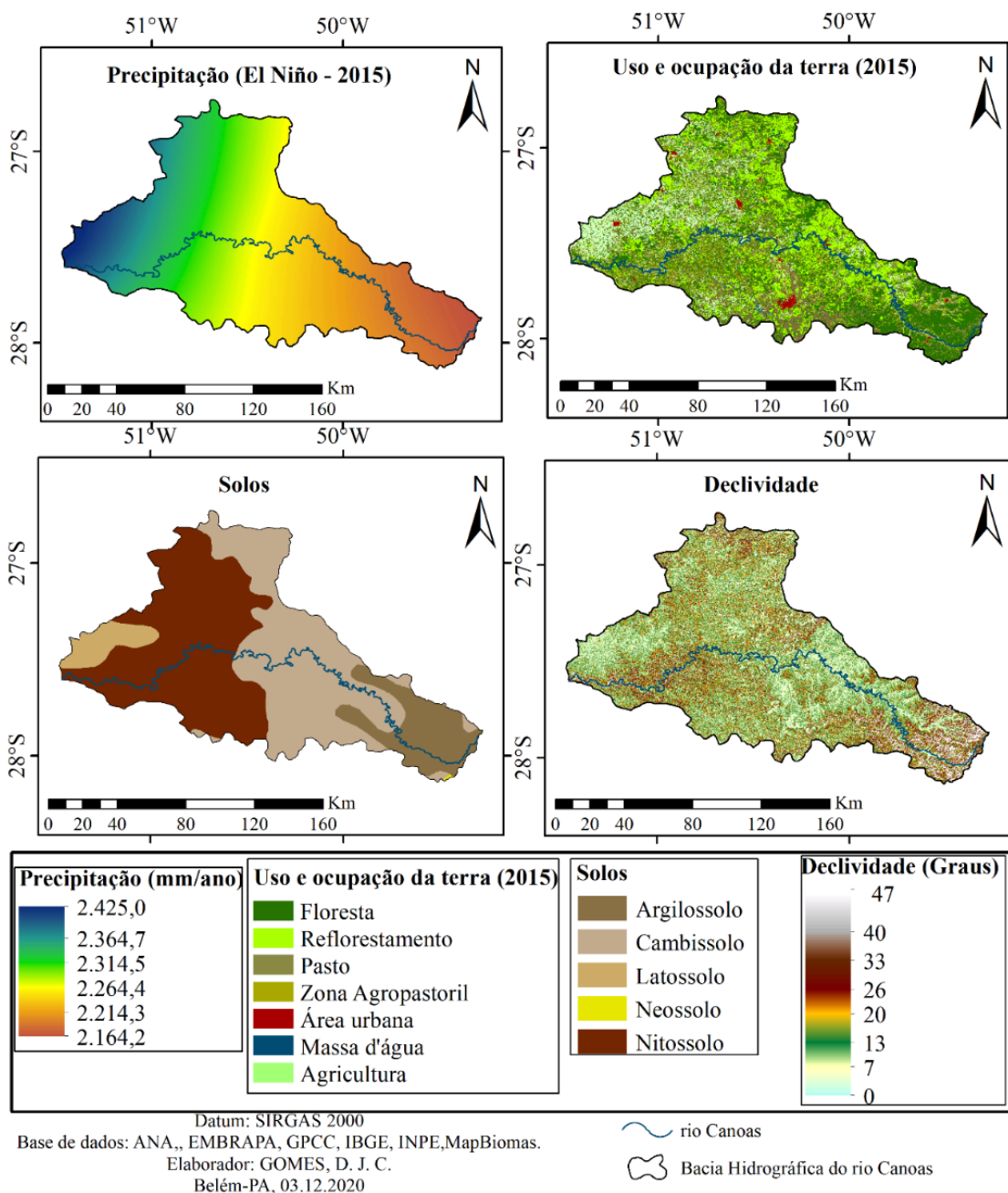
Na Figura 4 as variáveis ambientais em destaque são referentes ao ano de 2015 como precipitação média anual e o uso e ocupação da terra. O regime pluvial apresentou os menores volumes de chuvas (2.164 mm - 2.214 mm) na região do Alto Canoas, promovendo um aumento da precipitação de 48% em relação ao observado no ano de 1988. A zona do Médio Canoas foi caracterizada por precipitações medianas (2.264 mm - 2.314 mm), com elevação das chuvas em cerca de 45% do ano de La Niña. Os valores mais elevados de pluviosidade (2.364 mm - 2.425 mm) ocorreram no Baixo Canoas, com aumento 42% no total pluviométrico.



Segundo consta no banco de dados históricos do Sistema Nacional de Proteção à Defesa Civil (SNPDC, 2022) foram notificadas (2003-2022) na BHC 45 eventos de enxurradas, sendo 22 desses casos no período chuvoso. No entanto, 27 desses episódios foram em anos de clima desfavoráveis ao aumento pluviométrico, indicando que a região possui alta vulnerabilidade climática. No ano 2011, observou-se 20 eventos de enxurradas na BHC, onde 13 cidades atingidas localizam-se em regiões íngremes. Áreas com alta inclinação do terreno, impactada por intenso regime de chuvas, tornam a área vulnerável a enxurradas (BARBOSA et al., 2012). Houve também 2 casos de chuvas intensas em cidades da BHC.

As mudanças observadas no mapa do uso e ocupação da terra de 2015, em relação ao de 1988, apresentaram redução nas Florestas para 5.359 km<sup>2</sup> (6%), ainda que permaneça como a maior categoria das formas de uso analisadas, continuando suas áreas a sudeste, sugerindo a conservação nas proximidades do Alto Canoas. A região de Pastagem houve uma queda nítida, constando em torno de 2.208 km<sup>2</sup> (11%) seguindo ainda ao sul nos arredores da cidade de Lages. As Zonas Agropastoris também diminuíram para 1.861 km<sup>2</sup> (7%).

No entanto, as áreas de Agricultura aumentaram e predominam no lado oeste da BHC com 1.826 km<sup>2</sup> (8%), o que pode intensificar o processo de erosão do solo nessas áreas. A categoria de Áreas urbanas também avançou para 112 km<sup>2</sup> (0,4%), em que mesmo distante do rio Canoas, podem influenciar no ciclo hidrológico local e em algum afluente. Assim, a Massa d'água aumentou sua área para 117 km<sup>2</sup> (0,3%), isto pode estar relacionado com as alterações de outros tipos de cobertura do solo. Apesar de observa-se a expansão considerável (mais que o triplo) do Reflorestamento com 3.175 km<sup>2</sup> (15%), este tipo de reflorestamento é para fins comerciais, o que mostra a despreocupação com a conservação ambiental, além de fomentar a idéia de as outras formas de uso do solo estar impactando a hidrologia e a pedologia regional.



**Figura 4.** Variáveis ambientais: precipitação (El Niño – 2015), uso e ocupação da terra (2015), solos, declive. **Fonte:** Autores (2021).

A Tabela 2 descreve as vulnerabilidades referentes às variáveis ambientais, em que a precipitação é classificada como estável em toda BHC em 1988, indicando possíveis efeitos do La Niña na redução das chuvas. Entretanto, sob a influência do El Niño no ano de 2015, a chuva passou a ser reclassificada para Moderadamente Estável (predominante) e Medianamente Estável. No uso da terra, as alterações de 1988 para 2015 observaram-se 5 categorias de vulnerabilidade, onde a estabilidade é maior espacialmente com classes Estáveis (reduziu 6%) e Moderadamente Estáveis (aumentou 15%). Áreas Medianamente Estáveis/Vulneráveis (reduziu 11%)

mostram a vulnerabilidade em transição e setores identificados como Moderadamente Vulneráveis (diminuiu 6%) e vulneráveis (aumentou 8%).

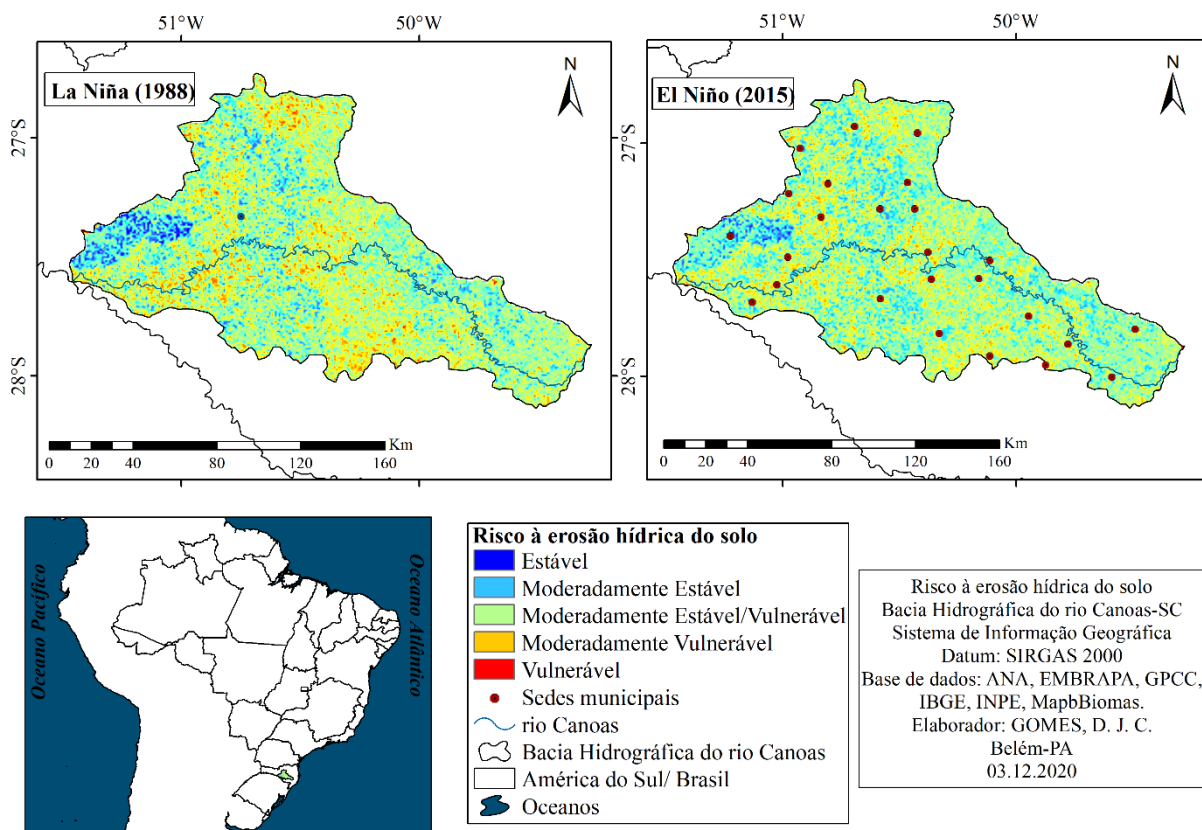
**Tabela 2.** Vulnerabilidade das variáveis ambientais.

<b>Vulnerabilidade (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Precipitação (1988)</b>	<b>Precipitação (2015)</b>	<b>Uso da terra (1988)</b>	<b>Uso da terra (2015)</b>	<b>Declive</b>	<b>Solos</b>
<b>Estável</b>	14.655	-	6.369	5.468	-	715
<b>Moder. Estável</b>	-	13.814	1.022	3.292	4.990	-
<b>Median.</b>	-	841,9	3.841	2.212	4.801	8.299
<b>Estável/Vulnerável</b>						
<b>Moder. Vulnerável</b>	-	-	2.860	1.857	-	5.636
<b>Vulnerável</b>	-	-	566	1.830	4.868	6

**Fonte:** Autor (2020).

A declividade (Tabela 2) possui 3 categorias de vulnerabilidade, visto que são distribuídas em áreas de extensão próximas como Moderadamente Estável, Medianamente Estáveis/Vulneráveis e Vulneráveis. A vulnerabilidade pedológica apresenta 4 classes, com regiões Estáveis e Vulneráveis sendo os menores em termos de território, em que podem ser atribuídos a influência de Latossolos e Neossolos respectivamente. As maiores áreas foram reclassificadas como Medianamente Estáveis/Vulneráveis (maior) e em seguida a Moderadamente Vulneráveis, está última possivelmente devido aos Cambiosolos.

A vulnerabilidade à erosão hídrica do solo (Figura 5) possui 4 classes de vulnerabilidade. As áreas Estáveis são observadas em 1988 a sudoeste no Baixo Canoas e uma faixa (NO-SE) ao norte e a leste, além de uma porção de terras com estabilidade ao sul. Regiões Moderadamente Estáveis estão na sua maioria associadas nas proximidades das áreas Estáveis. As Zonas identificadas como Medianamente Estáveis/Vulneráveis são observadas distribuídas ao longo da BHC, pois representam a transição da estabilidade para a instabilidade. Estado este fortemente detectado ao extremo norte e em alguns pontos a margem direita a partir do trecho do Médio-Baixo curso do rio Canoas, onde a parte mais crítica é nos meandros a leste (Baixo Canoas). Ao Sul, observa-se áreas também vulneráveis, apontando alerta a áreas instáveis. Em 2015, apesar da influência maior do volume de chuvas, as mesmas áreas vulneráveis discutidas no ano de La Niña apresentam manchas que indicam vulnerabilidade menos intensas. Isto provavelmente está relacionado com a diminuição de 11% das áreas de pasto e 6% das zonas Agropastoris nas regiões mais instáveis observadas.



**Figura 5.** Vulnerabilidade à erosão hídrica do solo: Bacia Hidrográfica do rio Canoas-SC. **Fonte:** Autor (2021).

Dentre as variáveis ambientais analisadas, o uso e ocupação da terra possivelmente contribuiu para os processos erosivos na BHC, já que mesmo em 1988 (menor precipitação) apresentou maior erosão em áreas altamente modificadas, permitindo inferir que mesmo sob condições de eventos extremos há pouca influência climática na erosividade. Back et al. (2021) identificou que a região da BHC em Santa Catarina apresenta baixa intensidade pluviométrica. E de acordo com os prognósticos de Klik e Eitzinger (2010), o aumento na densidade do dossel nas florestas de uma bacia hidrográfica pode contribuir para maior proteção do solo contra a erosão. Isto reforça a importância da preservação de áreas com vegetação nativa e também matas ciliares. Além da proteção contra os impactos das gotas da chuva, a cobertura vegetal fixa suas raízes no solo, o que aumenta a infiltração da água e estabiliza o fluxo de escoamento superficial hídrico (MENG et al., 2021).

Outros autores observaram que o uso e ocupação do solo acelerado relacionado à urbanização, em qualquer nível espacial, provoca erosão (LI et al., 2013; GALVÃO et al., 2018). Patra et al. (2018) complementa que o avanço da zona urbana acarreta em degradações ambientais afetando a hidrologia local, o que pode gerar também erosões fluviais (ASHRAF; SHAKIR, 2018). Em suas pesquisas, Guimarães et al. (2011) estudaram a perda de solo por erosões em uma bacia hidrográfica ao norte de Santa Catarina e detectaram que a erosividade anual das precipitações depende

da intensidade das chuvas ao longo do ano. E esses mesmos autores reforçam a grande influência de solos com alta erodibilidade (cambiosolos e argissolos), associados em áreas de declives íngremes, aumentam a suscetibilidade à perda de solos por erosão, onde a manutenção das florestas é o ponto crucial para a atenuação de regiões naturalmente instáveis. Back e Poletto (2017) observaram a relação sazonal e anual da precipitação total e a erosividade em Florianópolis-SC, isto indica que fenômenos climáticos como o ENOS podem impactar em diferentes escalas temporais os processos erosivos na região da BHC.

## CONCLUSÃO

A BHC apresenta em anos de La Niña (El Niño) baixa (alta) erosividade. Constatou-se que as mudanças do uso e ocupação da terra é o fator que contribui para a ocorrência dos processos erosivos, onde o aumento do avanço de áreas destinadas a atividades de pastagem e agricultura são determinantes para a identificação do grau de vulnerabilidade à erosão do solo das regiões. As áreas com declividade acentuada e solos suscetíveis à erosão presente em muitas partes da BHC devem ser prioridade na preservação das florestas, pois assim pode-se diminuir a vulnerabilidade em regiões naturalmente instáveis.

Municípios como Abdon Batista, Anita Garibaldi, Bocaina do Sul, Brunópolis, Correia Pinto, Fraiburgo, Frei Rogério, Lages, Lebon Régis, Painel, Ponte Alta, Santa Cecília, São José do Cerrito e Vargem, devem estar em alerta a ocorrência de eventos de chuvas intensas que favorecem a formação de enxurradas e aumenta o desprendimento e transporte de sedimentos, o que pode gerar erosão do solo na região da BHC. Então, medidas de conservação do solo, como o monitoramento do avanço das atividades agrícolas, principalmente em áreas naturalmente instáveis, podem amenizar os impactos ambientais em possíveis eventos extremos mais intensos no futuro.

## CONTRIBUIÇÕES DOS AUTORES

**Concepção:** Priscila Ribeiro, Dênis Gomes. **Metodologia:** Priscila Ribeiro, Dênis Gomes. **Análise formal:** Priscila Ribeiro, Dênis Gomes, Emily Pires. **Pesquisa:** Priscila Ribeiro, Dênis Gomes, Emily Pires. **Recursos:** Dênis Gomes, Emily Pires, Gustavo Dias. **Preparação de dados:** Priscila Ribeiro, Dênis Gomes. **Escrita do artigo:** Priscila Ribeiro, Dênis Gomes, Emily Pires, Gustavo Dias. **Revisão:** Priscila Ribeiro, Dênis Gomes, Gustavo Dias. **Supervisão:** Dênis Gomes, Gustavo Dias. **Aquisição de financiamento:** Dênis Gomes, Emily Pires, Gustavo Dias. Todos os autores leram e concordaram com a versão publicada do manuscrito.

## REFERÊNCIAS

**ANA.** Agência Nacional das Águas. Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos. Disponível: <<http://www.snirh.gov.br/hidroweb/>>. Acesso: 4/12/2021.

- ABDALA, K. O.; RIBEIRO, F. L.; FERREIRA, M. E. Risco de impactos ambientais gerados pela dinâmica de uso do solo no estado de Goiás: uma abordagem multimétodos. **Revista Brasileira de Cartografia**, n. 68/2, p. 235-252, 2016.
- ALMAGRO, A.; OLIVEIRA, P. T. S.; NEARING, M. A.; HAGEMANN, S. Projected climate change impacts in rainfall erosivity over Brazil. **Scientific Reports**, v. 7, n. 8130, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-017-08298-y>.
- ALVES, R. E.; SOUZA, L. F.; SOUZA, V. M.; QUEIROZ, T. A. F.; LIMA, J. V. A degradação e fragilidade dos solos no sudoeste de Goiás: o caso da bacia hidrográfica do Ribeirão da Picada. **Revista Geográfica de América Central**, n. 56, p. 235-258, 2016. DOI: <https://doi.org/10.15359/rgac.1-56.10>.
- ASHRAF, M.; SHAKIR, A. S. Prediction of river bank erosion and protection Works in a reach of Chenab River, Pakistan. **Arabian Journal of Geosciences**, v. 11, n. 145, p. 1-11, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12517-018-3493-7>.
- BACK, A. J.; POLETO, C. Avaliação temporal do potencial erosivo das chuvas de Florianópolis-SC. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 21, p. 264-283, 2017. DOI: <https://doi.org/10.5380/abclima.v21i0.49018>.
- BACK, A. J.; WILDNER, L. P.; PEREIRA, J. R. Chuvas intensas para projetos de conservação do solo e da água no estado de Santa Catarina. **Agropecuária Catarinense**, v. 34, n. 2, p. 65-72, 2021. DOI: <https://doi.org/10.52945/rac.v34i2.1140>.
- BARBOSA, F. T.; BERTOL, I.; WERNER, R. S.; RAMOS, J. C.; RAMOS, R. R. Comprimento crítico de declives relacionado à erosão hídrica, em três tipos e doses de resíduos em duas direções de semeaduras direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 1279-1290, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832012000400022>.
- BECKER, A.; FINGER, P.; MEYER-CHRISTOPHER, A.; RUDOLF, B.; SCHAMM, K.; SCHNEIDER, U.; ZIESE, M. A description of the global land-surface precipitation data products of the global precipitation climatology center with sample applications including centennial (trend) analysis from 1901-present. **Earth System Science Data**, v. 5, p. 71-99, 2013. DOI: <https://doi.org/10.5194/essd-5-71-2013>.
- BERTOL, I.; ALMEIDA, J. A. Tolerância de perda de solo por erosão para os principais solos do estado de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 24, p. 657-688, 2000. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832000000300018>.
- CASSOL, H. L. G.; ARAI, E.; SANO, E. E.; DUTRA, A. C.; HOFFMANN, T. B.; SHIMABUKURO, Y. E. Maximum fraction images derived from year-based project for on-board autonomy-vegetation (PROBA-V) data for the rapid assessment of land use and land cover areas in Mato Grosso states, Brazil. **Land**, v. 9, n. 139, p. 1-20, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/land9050139>.
- CHAVEZ, T. F. Uma análise dos principais impactos ambientais verificados no estado de Santa Catarina. **Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental**, v. 5, n. 2, p. 611-634, 2017. DOI: <https://doi.org/10.19177/rgsa.v5e22016611-634>.

COSTA, C. E. A. S.; BLANCO, C. J. C. Influência da variabilidade climática sobre a erosividade em Belém (PA). **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 33, n. 3, p. 509-520, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/0102-7786333010>.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S.; AZEVEDO, L. G.; HERNANDEZ FILHO, P.; FLORENZANO, T. G.; DUARTE, V. **Sensoriamento Remoto aplicado ao zoneamento ecológico-econômico**, São José dos Campos: INPE, 2001, 25p.

**EMBRAPA**. Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS), Brasília - DF: EMBRAPA, 2018, 75 p.

FANG, H.; SUN, L.; TANG, Z. Effects of rainfall and slope on runoff, soil erosion and rill development: na experimental study using two loess soils. **Hydrological Processes**, v. 29, p. 2649-2658, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1002/hyp.10392>.

GALVÃO, F. F. D.; CARNEIRO, V. A.; OLIVEIRA, A. L. R. Estudos preliminares de contenção de uma voçoroca no bairro São João em Anápolis (GO). **Revista Percuso**, v. 10, n. 2, p. 3-29, 2018.

GOMES, D. J. C.; SILVA, L. P.; FERREIRA, N. S.; LOBATO, R. R. C.; SERRÃO, E. A. O.; LIMA, A. M. M. Impactos climáticos na erosão hídrica do solo para a Amazônia Ocidental. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 28, p. 242-265, 2021a. DOI: <https://doi.org/10.5380/rbclima.v28i0.73853>.

GOMES, D. J. C.; SOUSA, E. V. S.; FERREIRA, N. S.; LOBATO, R. R. C.; DIAS, G. F. M.; RIBEIRO, B. F. Vulnerabilidade à erosão hídrica do solo, Bacia Hidrográfica do rio Araguaia. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, p. 816-833, 2021b. DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v14.2.p816-833>.

GOMES, D. J. C.; SOARES, C. S. T.; LIMA, I. C. P.; FERREIRA, N. S.; LIMA, A. M. M. Oscilações hidroclimáticas associadas às condições ambientais: bacia hidrográfica do rio Canoas-SC. **Ciência & Natura**, v. 43, n. 62, p. 1-33, 2021c. DOI: <https://doi.org/10.5902/2179460X43391>.

**GPCC**. Global Precipitation Climatology Centre. Disponível: <https://kunden.dwd.de/GPCC/Visualizer>. Acesso em: 12/12/2021.

GUIMARÃES, R. Z.; LINGNAU, C.; RIZZI, N. E.; SCHEICHI, R. G. Espacialização da perda de solo por erosão laminar na microbacia do rio Campinas, Joinville, SC. **RA'EGA**, v. 23, p. 534-554, 2011. DOI: <https://doi.org/10.5380/raega.v23i0.24920>.

**IBGE**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Geociências – Informações Ambientais. Disponível: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/geomorfologia.html>. Acesso: 27/12/2022.

**INPE**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Disponível: <http://www.webmapit.com.br/inpe/topodata/>. Acesso em: 9/12/2021.

**INMET**. Instituto Nacional de Meteorologia. Disponível: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas>. Acesso em: 6/12/2021.

JORGE, R. L. O.; LUCENA, D. B. Eventos extremos anuais de precipitação em Mauriti- CE. **Ciência e Natura**, v. 40, n. 65, p. 1-10, 2018. DOI: <https://doi.org/10.5902/2179460X34045>.

KLAIS, T. B. A.; DALMAS, F. B.; MORAIS, R. P.; ATIQUE, G.; LASTORIA, G.; PARANHOS FILHO, A. C. Vulnerabilidade natural e ambiental do município de Ponta Porã, Mato Grosso do Sul, Brasil. **Ambiente & Água**, v. 7, n. 2, p. 277-290, 2012. DOI: <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.786>.

KLIK, A.; EITZINGER, J. Impacto of climate change on soil erosion and the efficiency of soil conservation practices in Austria. **The Journal of Agricultural Science**, v. 148, p. 529-541, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0021859610000158>.

LI, L.; WANG, Y.; LIU, C. Effects of land use changes on soil erosion in a fast-developing área. **International Journal of Environmental Science and Technology**, v. 11, p. 1549-1562, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13762-013-0341-x>.

**MMA**. Ministério do Meio Ambiente. Caderno da Região Hidrográfica do Uruguai. Brasília, 2006.

MATÍNEZ-CASASNOVAS, J. A.; RAMOS, M. C.; RIBES-DASI, M. Soil erosion caused by extreme rainfall events: mapping and quantification in agricultural plots from very detailed digital elevation models. **Geoderma**, v. 105, p. 125-140, 2002. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(01\)00096-9](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(01)00096-9).

MENG, X.; ZHU, Y.; YIN, M., LIU, D. The impacto of land use and rainfall patterns on the soil loss of the hillslope. **Scientific Reports**, v. 11, n. 16341, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-95819-5>.

MINUZZI, R. B. Variabilidade no regime de chuva em Santa Catarina durante diferentes tipos de ENOS. **Revista Agrometeoros**, v. 26, n. 1, p. 113-122, 2018. DOI: <https://doi.org/10.31062/agrom.v26i1.26341>.

MORAES, B. C.; SOUZA, E. B.; SODRÉ, G. R. C.; FERREIRA, D. B. S.; RIBEIRO, J. B. M. Sazonalidade nas notificações de dengue das capitais da Amazônia e os impactos do El Niño/La Niño. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 35, n. 9, p. 1-5, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/0102-311x00123417>.

NEARING, M. A.; PRUSKI, F. F.; O'NEAL, M. R. Expected climate change impacts on soil erosion rates: A review. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 59, n. 1, p. 43-50, 2004.

**NOAA**. National Oceanic and Administration Atmospheric. Disponível: <<https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/climateindices/list/>>. Acesso: 25/11/2021.

PATRA, S.; SAHOO, S.; MISHRA, P.; MAHAPATRA, C. Impacts of urbanization on land use/cover changes and it's probable implications on local climate and groundwater level. **Journal of Urban Management**, v. 7, p. 70-84, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jum.2018.04.006>.

PAVANIN, E. V.; CHUERUBIM, M. L.; LÁZARO, B. O. Geoprocessamento aplicado ao estudo de vulnerabilidade do solo da bacia hidrográfica do córrego Guaribas em



Uberlândia-MG. **Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, V. 13, n. 2, p. 17 – 31, 2017. DOI: <https://doi.org/10.5216/reec.v13i2.42460>.

PIACENTINI, T.; GALLI, A.; MARSALA, V.; MICCADEI, E. Analysis of soil erosion induced by heavy rainfall: a case study from the NE Abruzzo hills area in central Italy. **Water**, v. 10, p. 1-29, 2018. DOI: <https://doi.org/10.3390/w10101314>.

**PROJETO MAPBIOMAS**. Coleção 6 da série anual de mapas de cobertura e uso do solo do Brasil. Disponível: <<https://mapbiomas.org/>>. Acesso: 13/12/2022.

RIBEIRO, F. L.; CAMPOS, S. Vulnerabilidade á erosão do solo da região do Alto rio Pardo, Pardinho, SP. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, n. 6, p. 628-636, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662007000600012>.

SANTOS, J. C. N.; ANDRADE, E. M.; MEDEIROS, P. H. A.; GUERREIRO, M. J. S.; PALÁCIO, H. A. Q. Land use impacto n soil erosion at diferente scales in the Brazilian semi-arid. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 48, n. 2, p. 251-260, 2017. DOI: <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20170029>.

SILVA, M. F.; SANCHES, F. O. Erosão dos solos e urbanização nos bairros da região nordeste de Guaratinguetá: um estudo de caso utilizando imagens Ikonos. **Revista Ciências Humanas – Universidade de Taubaté (UNITAU)**, v. 3, n. 1, p. 54-66, 2010.

SILVA, P. J. Uso e ocupação do solo urbano: uma análise dos impactos ambientais nas áreas de dunas no bairro de Felipe Camarão/Natal-RN. **Revista Holos**, v. 5, n. 31, p. 91-103, 2015. DOI: <https://doi.org/10.15628/holos.2015.2350>.

**SNPDC**. Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil. Sistema Integrado de Informações sobre Desastres Naturais (S2iD). Disponível em: <<https://s2id.mi.gov.br/paginas/series/>>. Acesso: 4/01/ 2022.

SPINELLI, K.; NASCIMENTO, R.; FUENTES, M. Análise climática dos episódios de estiagem que provocaram danos socioeconômicos no oeste catarinense entre 1999 a 2012. **Revista Brasileira de Climatologia**, 26, p. 345-367, 2020. DOI: <https://doi.org/10.5380/abclima.v26i0.61710>.

SODRÉ, G. R. C.; SOUZA, E. B.; OLIVEIRA, J. V.; MORAES, B. C. Cálculo de risco e detecção de queimadas: uma análise na Amazônia oriental. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, n. 49, p. 1-14, 2018. DOI: <https://doi.org/10.5327/Z2176-947820180345>.

SORDI, M. V.; SALGADO, A. A. R.; PAISANI, J. C. Compartimentação geomorfológica em áreas de tríplex divisor de águas regional – o caso do planalto de Santa Catarina. **Revista Geociências**, v. 35, n. 4, p. 623-641, 2016.

UMMENHOFER, C. C.; GUPTA, A. S.; ENGLAND, M. H.; TASCHETTO, A. S.; BRIGGS, P. R.; RAUPACH, M. R. How did ocean warming affect Australian rainfall extremes during the 2010/2011 La Niña event? **Geophysical Research Letters**, v. 42, n. 22, p. 9942-9951, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1002/2015GL065948>.

VIEL, J. A.; ROSA, K. K.; HOFF, R. Estudo da erosão superficial do solo por meio de SIG na região da denominação de origem Vale dos Vinhedos (Brasil). **Revista**

**Brasileira de Geomorfologia**, v. 18, n. 3, p. 521-533, 2017. DOI: <https://doi.org/10.20502/rbg.v18i3.1197>.

VOLK, L. B. S.; COGO, N. P.; STRECK, E. V. Erosão hídrica influenciada por condições físicas de superfície e subsuperfície do solo resultantes do seu manejo, na ausência de cobertura vegetal. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 28, p. 763-774, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832004000400016>.

XAVIER, R. A.; SANTOS, I. M.; DAMASCENO, J.; DORNELLAS, P. C.; NETO, I. O. B. Processos erosivos superficiais no município de Juarezinho, Região Semiárida da Paraíba. **Revista de Geociências do Nordeste**, v. 2, n. esp., p. 113-122, 2016. DOI: <https://doi.org/10.21680/2447-3359.2016v2n0ID10465>.

WOLTER, K.; TIMLIN, M. S. El Niño/Southern Oscillation behaviour since 1871 as diagnosed in an extended multivariate ENSO index (MEI.ext). **International Journal of Climatology**, v. 31, p. 1074-1087, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1002/joc.2336>.

YU, L.; ZHONG, S.; HEILMAN, W. E.; BIAN, X. A comparison of the effects of El Niño and El Niño Modoki on subdaily extreme precipitation occurrences across the contiguous United States. **JGR Atmospheres**, v. 122, n. 14, p. 7401-7415, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1002/2017JD026683>.



Revista Geonorte, Programa de Pós-Graduação em Geografia. Universidade Federal do Amazonas. Manaus-Brasil. Obra licenciada sob Creative Commons Atribuição 3.0