

A influência do potencial erosivo da chuva e da mudança do uso e cobertura da terra nos desastres ambientais em Belém, Pará, Amazônia Oriental

The influence of the erosive potential of rainfall and changes in land use and cover on environmental disasters in Belém, Pará, Eastern Amazon

La influencia del potencial erosivo de la lluvia y los cambios en el uso y cobertura del suelo en los desastres ambientales en Belém, Pará, Amazonía Oriental

Ilziane Simões de Oliveira

Universidade Estadual Paulista - UNESP
ilzianesimoes7@gmail.com

Yuri Antonio da Silva Rocha

Universidade Federal do Pará - UFPA
eng.yurirocha@gmail.com

Lucas Lima Raiol

Universidade Federal do Pará - UFPA
lucasraiolsk8@gmail.com

Rafael da Silva Paiva

Universidade Federal do Pará - UFPA
paivarrafael@gmail.com

Taynara Santos Amaral

Universidade Federal do Pará - UFPA
taynaraamaral11610@gmail.com

Maria Luiza Nascimento Dias

Universidade Federal do Pará - UFPA
m.luiza.dn@gmail.com

Aline Maria Meiguins de Lima

Universidade Federal do Pará - UFPA
ameiguins@ufpa.br

Cláudio Moisés Santos e Silva

Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN
claudio.silva@ufrn.br

Resumo

Investiga-se a influência da erosividade das chuvas e das mudanças no uso e cobertura do solo nos desastres ambientais em Belém, Pará, Amazônia Oriental, de 1991 a 2022. A região, situada na margem direita da baía do Guajará e do rio Guamá, possui clima tropical úmido com altos totais de

precipitação anual, contribuindo para uma densa rede de drenagem e ecossistemas de floresta tropical. O objetivo é avaliar o potencial erosivo das chuvas, caracterizar o uso e cobertura da terra e analisar como essas mudanças estão associadas aos riscos de desastres ambientais na cidade. Foram utilizados dados de precipitação do INMET e informações de uso do solo da Coleção 8 do MapBiomias. A metodologia envolveu a análise dos dados para calcular o índice de erosividade das chuvas e uma avaliação espacial das mudanças no uso do solo, utilizando o QGIS. Os resultados mostraram uma precipitação média anual de 3.337,61 mm, com sazonalidade entre o período chuvoso (dezembro a maio) e menos chuvoso (junho a novembro). A erosividade das chuvas apresentou valores elevados ao longo dos anos, com picos em 2020, atingindo 28.201,81 MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹.ano⁻¹. A análise revelou uma redução nas áreas naturais, e um aumento em áreas urbanizadas e de pastagem. A combinação de alta erosividade das chuvas e expansão urbana contribui para o aumento dos riscos de desastres ambientais, como a erosão do solo. A conservação da cobertura vegetal e o planejamento urbano adequado são essenciais para mitigar os impactos das chuvas erosivas e reduzir os riscos de desastres na região.

Palavras-chave: Erosividade da chuva. Cobertura da terra. Riscos ambientais. Belém.

Abstract

The influence of rainfall erosivity and changes in land use and cover on environmental disasters in Belém, Pará, Eastern Amazon, from 1991 to 2022, is investigated. The region, located on the right bank of the Guajará Bay and Guamá River, has a tropical humid climate with high annual precipitation totals, contributing to a dense drainage network and tropical forest ecosystems. The objective is to assess the erosive potential of rainfall, characterize land use and cover, and analyze how these changes are associated with environmental disaster risks in the city. Precipitation data from INMET and land use information from MapBiomias Collection 8 were used. The methodology involved data analysis to calculate the rainfall erosivity index and a spatial assessment of land use changes using QGIS. Results showed an average annual precipitation of 3,337.61 mm, with seasonality between the wet period (December to May) and the less wet period (June to November). Rainfall erosivity showed high values over the years, peaking in 2020, reaching 28,201.81 MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹.year⁻¹. The analysis revealed a reduction in natural areas and an increase in urbanized and pasture areas. The combination of high rainfall erosivity and urban expansion contributes to the increased risk of environmental disasters, such as soil erosion. Conservation of vegetation cover and proper urban planning are essential to mitigate the impacts of erosive rainfall and reduce disaster risks in the region.

Keywords: Rainfall erosivity. Land cover. Environmental risks. Belém.

Resumen

Se investiga la influencia de la erosividad de las lluvias y los cambios en el uso y cobertura del suelo en los desastres ambientales en Belém, Pará, Amazonía Oriental, entre 1991 y 2022. La región, ubicada en la margen derecha de la bahía de Guajará y del río Guamá, tiene un clima tropical húmedo con altos niveles de precipitación anual, lo que contribuye a una densa red de drenaje y ecosistemas de selva tropical. El objetivo es evaluar el potencial erosivo de las lluvias, caracterizar el uso y cobertura del suelo, y analizar cómo estos cambios se asocian con los riesgos de desastres ambientales en la ciudad. Se utilizaron datos de precipitación del INMET y datos de uso del suelo de la Colección 8 de MapBiomias. La metodología incluyó el análisis de los datos para calcular el índice de erosividad de las lluvias y una evaluación espacial de los cambios en el uso del suelo, utilizando QGIS. Los resultados mostraron una precipitación media anual de 3.337,61 mm, con estacionalidad entre el periodo lluvioso (diciembre a mayo) y el menos lluvioso (junio a noviembre). La erosividad de las lluvias fue alta, con picos en 2020 alcanzando 28.201,81 MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹.año⁻¹. El análisis reveló

una reducción de áreas naturales y un aumento de áreas urbanizadas y de pastizales. La combinación de alta erosividad de las lluvias y la expansión urbana incrementa los riesgos de desastres ambientales, como la erosión del suelo.

Palabras clave: Erosividad de la lluvia. Cobertura del suelo. Riesgos ambientales. Belém.

Introdução

As mudanças climáticas podem intensificar o ciclo hidrológico, causando maiores volumes de precipitações em função da ocorrência de extremos de chuva em algumas regiões, enquanto pode promover estiagem em outras, resultando em mudanças na intensidade, frequência e severidade de desastres ambientais (APURV *et al.*, 2015). Segundo a *United Nations Office for Disaster Risk Reduction* (UNODRR) (2004), os desastres são interrupções severas do funcionamento de uma comunidade ou sociedade e podem causar altos danos humanos, materiais, econômicos ou ambientais, as quais excedem a habilidade da comunidade afetada de se restabelecer com seus próprios recursos. Dentre eles, os desastres oriundos de eventos hidrometeorológicos são os mais perceptíveis, pois estão relacionados às tempestades, secas, temperaturas extremas, inundações e movimentos de massa.

As evidências das mudanças observadas em eventos extremos como ondas de calor, precipitações intensas, secas e ciclones tropicais e, em particular, sua atribuição à influência humana, se fortaleceram desde os relatórios do AR5 (IPCC, 2023). No Brasil, a ocorrência de eventos extremos de precipitação é a principal causa de desastres naturais (MONTE *et al.*, 2021). Essas chuvas intensas não apenas provocam inundações e deslizamentos de terra, mas têm um potencial erosivo significativo sobre o solo (SILVA, 2004; OLIVEIRA *et al.*, 2013; TEIXEIRA *et al.*, 2023).

Neste contexto, o volume de água oriunda de precipitação é um agente primário que pode causar erosão acelerada devido à sua capacidade de desagregar as partículas do solo pelo impacto das gotas de chuva, escoamento superficial direto e transporte de sedimentos (RIQUETTI *et al.*, 2020; WANG *et al.*, 2024). Valores elevados de precipitação acumulada em regiões que possuem características climáticas de chuvas torrenciais podem apresentar riscos maiores de desastres ambientais, como desmoronamento de encostas, assoreamento de corpos hídricos, alagamentos, entre outros (NÚÑEZ *et al.*, 2003). Em alguns casos, centenas de vidas humanas podem ser perdidas (LOPEZ *et al.*, 2023).

Assim, uma das principais formas de quantificar o efeito de diferentes fatores na erosão do solo é por meio da Equação Universal da Perda de Solo (EUPS) (ou USLE – *Universal Soil Loss Equation*, traduzida para o inglês) (Wischmeier; Smith, 1978). A EUPS é uma ferramenta bastante utilizada para estimar a perda de solo e/ou estimar valores numéricos de diferentes componentes dos processos erosivos, sendo bastante útil para o planejamento conservacionista. O “R” (erosividade da

chuva) é um indicador fundamental do potencial erosivo causado pelas chuvas. Este fator é calculado como o produto da energia cinética da chuva pela sua intensidade máxima em 30 minutos (EI_{30}).

De acordo com Oliveira Junior, Chaves e Melo (1994), o estudo da erosividade da chuva no contexto amazônico é relevante, pois a maioria dos solos da região amazônica tem como principal característica a baixa fertilidade, que aliada aos elevados acumulados de precipitação, contribuem cada vez mais para a erosão e o empobrecimento desses solos. A degradação ambiental resultante, em grande parte, decorre da adoção de práticas inadequadas de manejo do solo, das águas e das florestas na ocupação e uso da terra. A ocupação da terra de forma desordenada e inadequada provoca a compactação do solo com a diminuição da infiltração da água, aumento do escoamento superficial, intensificação dos processos erosivos, perda da fertilidade natural e assoreamento de rios (DE CARVALHO *et al.*, 2006). Diante desse cenário, estudos que abordam a caracterização da cobertura vegetal, uso da terra e análise de diferentes práticas de manejo se tornam ferramentas cruciais para compreender a magnitude das mudanças e suas implicações em áreas específicas (MIRANDA *et al.*, 2018).

O município de Belém, Estado do Pará, localizado na região amazônica oriental (Zona Equatorial), com duas estações marcantes no ano: uma mais chuvosa e outra com menor quantidade de chuva, que podem ser intensificadas durante os anos de La Niña e El Niño. Belém possui alta propensão a ocorrência de erosão por chuva, pois apresenta precipitação média anual de 3.000 mm (CAMPOS *et al.*, 2015), com eventos extremos de precipitação superiores a 50 mm (OLIVEIRA *et al.*, 2022), ao mesmo tempo que a população percebe a ocorrência de eventos extremos cada vez mais intensos (OLIVEIRA *et al.*, 2020).

O clima da região equatorial, onde Belém é localizada, é influenciado por sistemas atmosféricos de mesoescala (GARSTANG *et al.*, 1994; COHEN *et al.*, 1995; ALCÂNTARA *et al.*, 2011; ALCÂNTARA *et al.*, 2014; DE MATOS; COHEN, 2016; OLIVEIRA *et al.*, 2016), de escala sinótica (LIEBMANN, 1990; SOUZA *et al.*, 2000) e de grande escala (KOUSKY; KAGANO, 1981; CAVALCANTE *et al.*, 2009; FERREIRA *et al.*, 2015). Além disso, o município possui forte atividade convectiva (Santos *et al.*, 2014), e com a existência de forçante dinâmica a convecção úmida profunda se desenvolve, podendo ocorrer precipitação (DOS SANTOS *et al.*, 2019).

O principal fenômeno que influencia a variabilidade da chuva na bacia amazônica é o El Niño - Oscilação Sul (ENOS), causando secas em sua fase quente e períodos mais úmidos durante a fase fria. Ademais, o Oceano Atlântico tem papel importante na variabilidade da precipitação, especialmente por modular o posicionamento da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e o transporte de umidade para a bacia amazônica (LIMBERGER; SILVA, 2016). Os estudos sobre a influência da variabilidade climática na precipitação do município de Belém têm focado na

quantidade de ocorrência dos eventos extremos, nas tendências dos valores médios e a associação das chuvas com outras variáveis, a exemplo de temperatura, vento e umidade relativa do ar (ALBUQUERQUE *et al.*, 2010; CAMPOS *et al.*, 2015; SANTOS *et al.*, 2019; OLIVEIRA *et al.*, 2020; OLIVEIRA *et al.*, 2022).

Considerando o contexto de vulnerabilidade socioambiental da cidade de Belém, especialmente no que concerne aos efeitos adversos de chuvas intensas. Verifica-se que há necessidade de ampliar a discussão em torno do potencial erosivo da chuva associado à mudança de uso e cobertura da terra, pois as interações entre o clima e o desmatamento são complexas, e as mudanças de ambas as variáveis possuem causas e consequências relacionadas a fatores antropogênicos (THAPA, 2021). Portanto, o objetivo do estudo é avaliar o potencial erosivo das chuvas no município de Belém, caracterizar o uso e cobertura da terra no período de 1991 a 2022 e analisar como essas mudanças estão associadas aos riscos potenciais de desastres ambientais no município.

Materiais e métodos

Área de estudo

O município de Belém é situado na região Norte do Brasil (Figura 1) à margem direita da baía do Guajará e do rio Guamá. Possui área territorial de 1.059,466 km² e densidade demográfica de 1.230,25 hab/km² (IBGE, 2022). Por estar na faixa equatorial é uma região de intenso regime de chuvas, que favorecem a manutenção da densa rede de drenagem existente, assim como de ecossistemas típicos desta região, definidos por uma cobertura de florestas características de um ambiente quente e úmido (LIRA *et al.*, 2020).

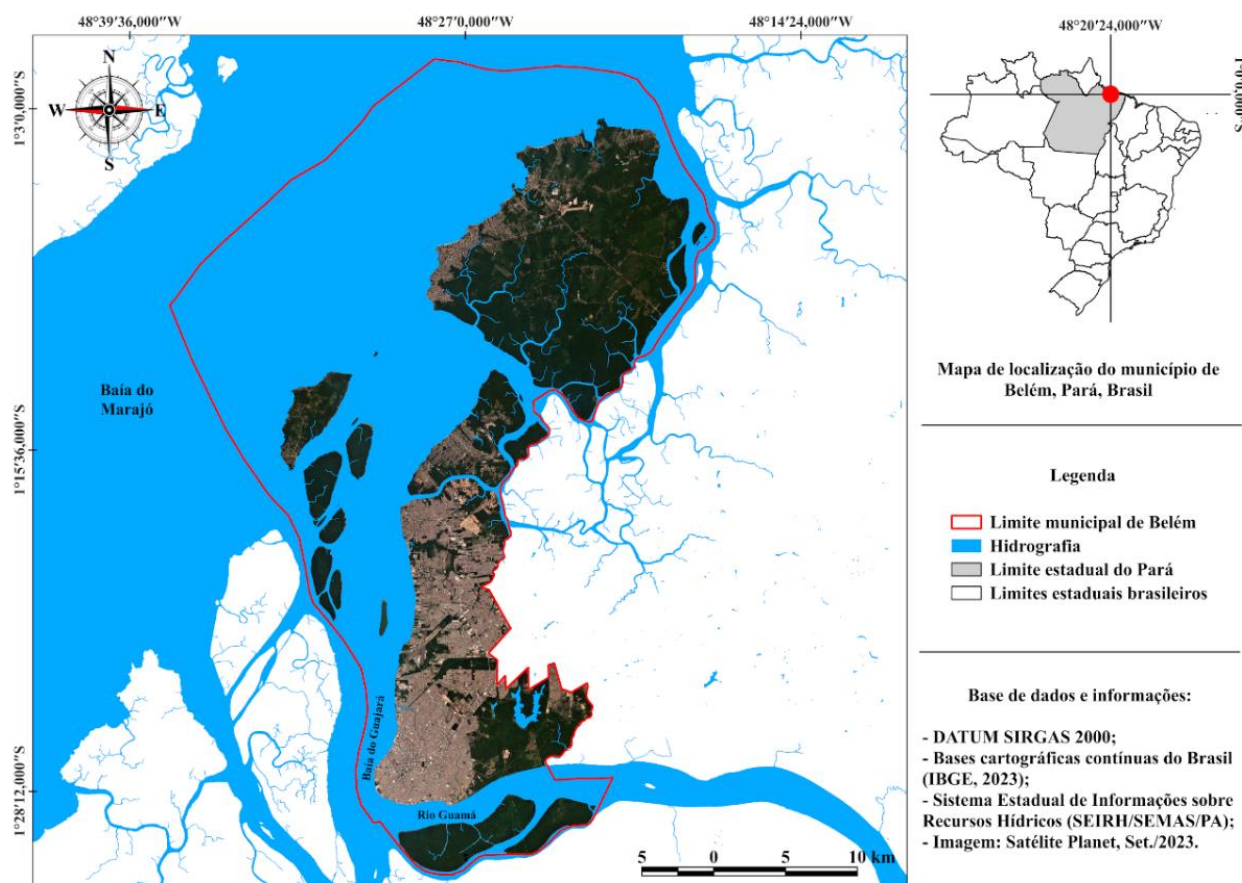


Figura 1 - Mapa de localização do município de Belém, Pará, Brasil.

Fonte: autores (2025).

De acordo com a classificação climática de Köppen, Belém apresenta o tipo *Am*, definido como tropical úmido ou subúmido, com temperatura média superior a 18 °C, estação seca de pequena duração e elevado volume de precipitação (ALVARES *et al.*, 2013). Além disso, o clima da região é influenciado por diversos fenômenos e sistemas atmosféricos atuantes na área, como a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e as Linhas de Instabilidades (LI) (MOURA; VITORINO, 2012; DE MATOS; COHEN, 2016).

Aquisição de e processamento de dados

Os dados mensais de precipitação são referentes ao período de janeiro de 1991 a dezembro de 2022. Foram obtidos por meio da estação meteorológica convencional localizada em Belém (Código 82191, Belém - PA). A estação faz parte da rede gerenciada pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Os dados estão dispostos em mm/mês e correspondem ao acumulado mensal.

No que concerne à avaliação do processo de uso e cobertura da terra, utilizou-se o imageamento proveniente da Coleção 8 do projeto MapBiomas (<https://mapbiomas.org/>). Esta abordagem permitiu a extração de dados para os anos de 1991 e 2022. Para realizar o download dos

arquivos do MapBiomas e processar os dados, utilizou-se um Sistema de Informações Geográficas (SIG), através do programa QGIS 3.36.3. Os procedimentos de tratamento das informações e de elaboração de mapas foram realizados utilizando como base cartográfica o Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas - SIRGAS-2000 (GALINA *et al.*, 2022).

Cálculo e classificação do potencial erosivo da chuva (*R*)

A determinação de *R* ocorre pelo cálculo do índice de erosividade das chuvas (*EI*₃₀), o qual representa a capacidade potencial da chuva em provocar erosão no solo, sendo resultado da multiplicação de dois parâmetros específicos das precipitações erosivas de um dado local: energia cinética total da chuva (*E*); a intensidade máxima em 30 min (*I*₃₀).

Para o Brasil, Silva (2004) sugeriu que o país fosse dividido em oito regiões homogêneas em termos de precipitação, as quais possuíam equações específicas para cada realidade. A área de interesse deste trabalho está incluída na Região 02 desta divisão (MORAIS *et al.*, 1991). A partir disso, foram calculados índices mensais e anuais de erosividade para a série histórica de 1991 a 2022. A erosividade anual é calculada com base na Equação 1:

$$Rx = 36,849 \left(\frac{Mx^2}{P} \right)^{1,0852} \quad (1)$$

sendo *Rx* a erosividade da chuva para cada mês; *Mx* a precipitação acumulada mensal; *P* a precipitação acumulada anual.

A classificação da erosividade das chuvas seguiu a metodologia de Carvalho (1994), com modificações baseadas em estudos de Foster *et al.* (1981). As categorias de classificação anual (*R*) serão aplicadas de acordo com os critérios definidos na Tabela 1, permitindo uma avaliação da erosividade das chuvas ao longo do período de estudo.

Tabela 1 - Classe para interpretação do Índice de Erosividade Anual (*R*).

Erosividade (MJ.mm.ano ⁻¹ .ha ⁻¹ .h ⁻¹)	Classes de Erosividade
$R < 2452$	Baixa erosividade
$2452 < R < 4905$	Média erosividade
$4905 < R < 7357$	Média-alta erosividade
$7357 < R < 9810$	Alta erosividade
$R > 9810$	Muito Alta erosividade

Fonte: Carvalho (1994), modificado de Foster *et al.* (1981).

Resultados e Discussão

Precipitação

A série histórica de 1991 a 2022 apresentou acumulado anual médio de $3.337,61 \pm 440,57$ mm.ano⁻¹. Os valores médios mensais variaram de $127,69 \pm 57,10$ mm (setembro) a $510,48 \pm 125,05$ mm (março), mostrado na Figura 2. A sazonalidade mensal é bem definida em período chuvoso, que vai de dezembro a maio, e em período menos chuvoso, compreendendo os meses de junho a novembro. O período chuvoso apresentou precipitação média de $402,53 \pm 85,88$ mm, enquanto no período menos chuvoso a média foi de $153,73 \pm 29,42$ mm.

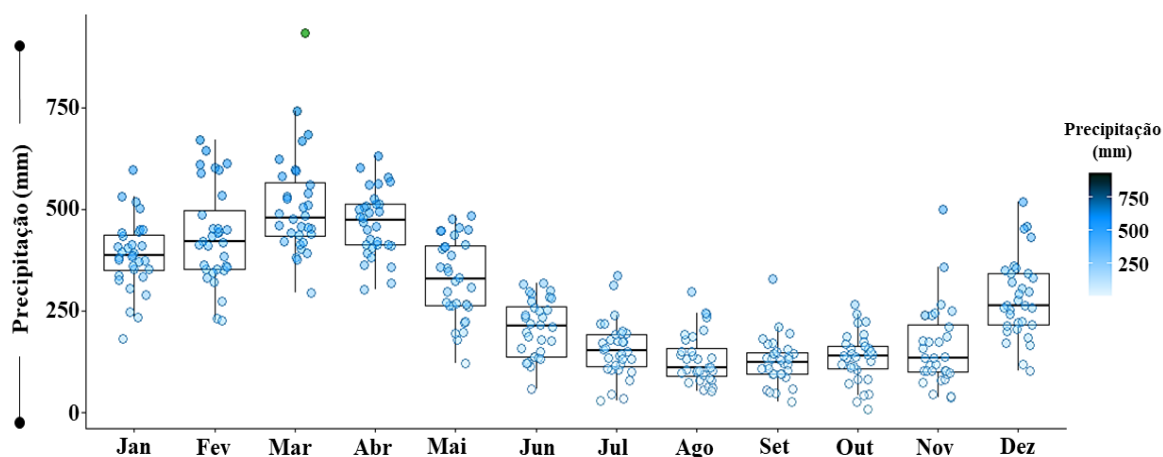


Figura 2 - Distribuição mensal da precipitação (mm) de Belém - PA (série histórica de 1991-2022).

Fonte: autores (2025).

Os maiores acumulados de precipitação são associados à influência meteorológica da ZCIT, ao mesmo tempo que os meses do verão e outono no Hemisfério Sul favorecem a intensificação da convecção local, que produz chuvas intensas durante os meses de dezembro a maio (DE SOUZA *et al.*, 2005; MARENGO; SPINOZA, 2016; MICHOT *et al.*, 2024). Além disso, a convecção se organiza em LI (COHEN *et al.*, 1995) com ciclo diurno bem definido (SILVA, 2013), favorecendo a ocorrência de chuvas, especialmente no trimestre fevereiro-março-abril. Durante o período menos chuvoso, a ZCIT tem sua migração para o Hemisfério Norte e a precipitação é controlada, principalmente, pela convecção local.

Durante a forte fase quente (*El Niño*) observada nos anos 1991, 1992, 1997 e 1998, a precipitações anuais foram de 2385,8 mm, 2810,5 mm, 2664,9 mm e 2932,5 mm, respectivamente, indicando uma tendência de redução do volume de chuvas em Belém. Durante a forte fase fria (*La Niña*) ocorrida nos anos 2007 e 2008, a precipitação acumulada foi de 3286,2 mm e 3339,6 mm, respectivamente. A série histórica da precipitação em Belém, no período de 1991 a 2022, revelou um

valor máximo de 934 mm registrado em março de 2020. A média de precipitação ao longo desses anos foi de aproximadamente 388,47 mm, com um desvio padrão calculado em torno de 85,92 mm.

Fator erosividade das chuvas (R)

A relação entre a precipitação pluviométrica e a erosividade da chuva ao longo do período de 32 anos, de 1991 a 2022 é apresentada na Figura 3. Em 1991, 1992 e 1993 a erosividade da chuva foi de 16.471,58 MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹.ano⁻¹, 20.097,74 MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹.ano⁻¹ e 15.513,73 MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹.ano⁻¹, respectivamente.

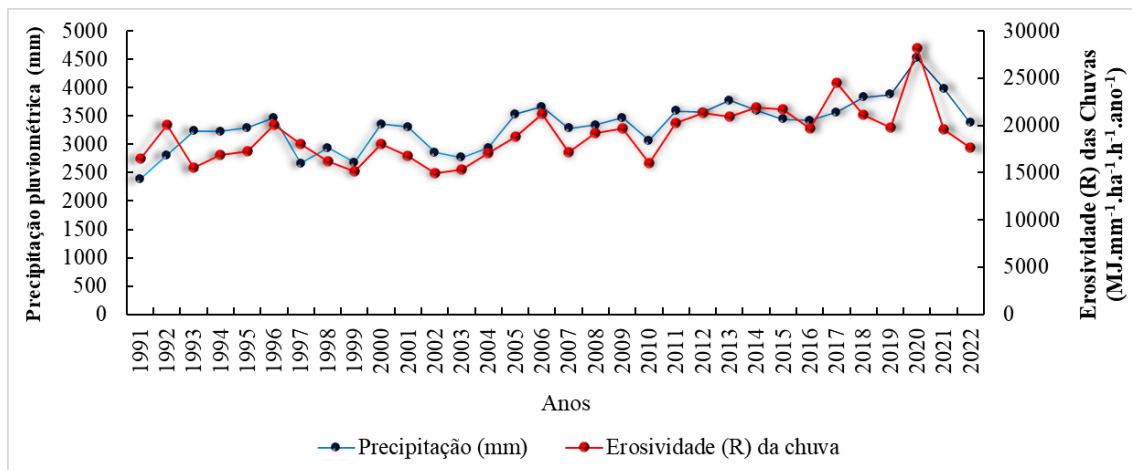


Figura 3 - Variação do R (fator erosividade das chuvas) e da Precipitação (1991-2022).

Fonte: autores (2025).

Em contraste, em 2002, a erosividade da chuva foi de 14.950,03 MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹.ano⁻¹. Nos anos seguintes, houve flutuações nos volumes de chuva e na erosividade, refletindo as variações climáticas ao longo do tempo. Em 2020, ocorreu o pico de precipitação pluviométrica, atingindo 4.518 mm, enquanto a erosividade da chuva também alcançou seu valor máximo, chegando a 28.201,81 MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹.ano⁻¹.

Os índices anuais de erosividade da chuva apresentados para Belém se mostraram elevados quando comparados aos apresentados para outras regiões do país, como o encontrado na Tabela 2.

Tabela 2 - Comparação dos índices anuais de erosividade da chuva em regiões do Brasil.

Local	Erosividade da chuva (MJ.mm.ha ⁻¹ .h ⁻¹ .ano ⁻¹)	Referência
Belém (PA)	28.201,81	Presente estudo
Arapiraca (AL)	317,14	Da Silva <i>et al.</i> (2023)
Portal do Sertão (BA)	5.230,91	De Menezes (2022)
Região do Vale do Ribeira (SP)	9.278,75	Batista <i>et al.</i> (2021)
Quaraí (RS)	9.292	Bazzano, Eltz e Cassol (2007)
Barranquinho (MT)	8.493	Morais <i>et al.</i> (1991)
Manaus (AM)	1.177,55	Oliveira Jr e Medina (1990)

Fonte: autores (2025).

O estudo de Silva *et al.* (2023) em Arapiraca (AL) revelou que o índice de erosividade no município foi determinado em 317,14 MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹.ano⁻¹. Este valor, quando enquadrado na classificação de erosividade baseada no sistema proposto por Carvalho (1994) e modificado de Foster *et al.* (1981), indica um potencial erosivo moderado. A diferença desse valor em comparação com o encontrado em Belém (PA) destaca-se devido às disparidades climáticas entre essas localidades. Enquanto a região de Belém apresenta maiores valores de precipitação ao longo do ano, resultando em maiores índices de erosividade, locais como Arapiraca, situado na região agreste de Alagoas, possuindo um clima tropical sub-úmido (XAVIER *et al.*, 2005), registram valores mais baixos de precipitação e, conseqüentemente, menores índices de erosividade.

Referente a Belém, março e abril apresentaram os maiores índices mensais médios de erosividade das chuvas, sendo de 4.345,25 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹ e 3.537,81 MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹.ano⁻¹, respectivamente. Por outro lado, entre os meses que menos erodiram, estão setembro e agosto, com médias mensais de 276,42 MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹.ano⁻¹ e 385,75 MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹.ano⁻¹, respectivamente, de acordo com a Figura 5.

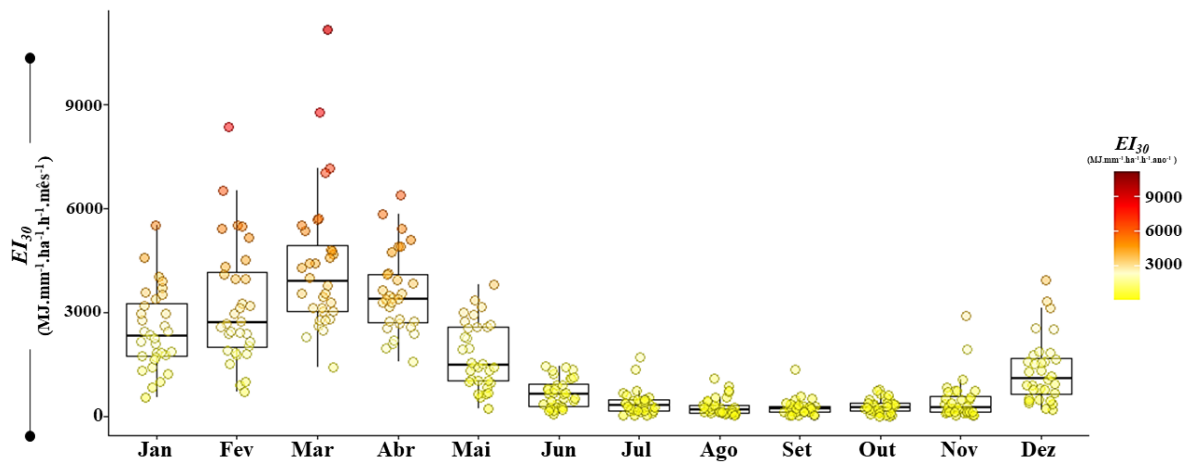


Figura 5 - Dinâmica mensal média do índice de erosividade das chuvas em Belém - PA (série histórica de 1991-2022).

Fonte: autores (2025).

No que concerne à classificação dos anos em termos de classes de erosividade, verificou-se que nenhum ano foi classificado como “baixo” ou “médio” para erosão. Nesse sentido, de acordo com a classificação apontada por Carvalho (1994) e modificado de Foster (1981), em todos os 31 anos da série histórica em análise, o R foi de alta erosividade ($R > 9810$).

Influência da erosividade das chuvas (R) e da mudança de uso da terra nos desastres ambientais

Através da série histórica de 1991 a 2022, verificou-se os dados das categorias de uso e ocupação da terra utilizadas neste estudo, obtendo o quantitativo em hectares e as mudanças ao longo tempo das classes, de acordo com a Figura 6.

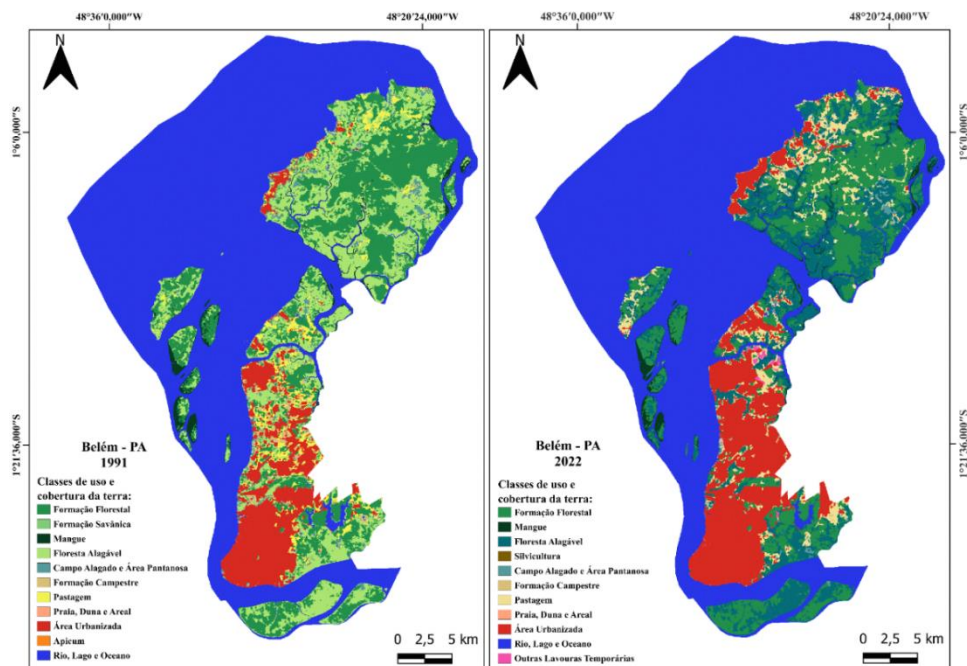


Figura 6 - Uso e cobertura da terra no município de Belém - PA, entre os anos de 1991 e 2022.

Fonte: MapBiomias Coleção 10, adaptado pelos autores (2025).

A variação percentual das classes de uso e cobertura da terra entre 1991 e 2022 evidencia um padrão claro de redução das formações naturais e expansão dos usos antrópicos (Tabela 4). No grupo das formações florestais, observou-se queda de 14,44% na Formação Florestal, 12,77% na Floresta Alagável e 0,53% nos Manguezais. A Formação Savânica apresentou redução total, com 100% de perda ao longo do período.

Tabela 4 - Dinâmica das áreas de uso e cobertura da terra entre 1991-2022 em Belém - PA.

CLASSES		1991		2022		Variação %
		Área (ha)	Percentual (%)	Área (ha)	Percentual (%)	1991 e 2022
Floresta	Formação Florestal	18.090,86	17,32	15.479,44	14,73	-14,44
	Formação Savânica	0,98	0,00	0,00	0,00	-100,00
	Mangue	1.564,45	1,50	1.556,23	1,48	-0,53
	Floresta Alagável	15.272,69	14,62	13.321,66	12,68	-12,77
Formação natural não - florestal	Formação Campestre	1.049,87	1,01	73,91	0,07	-92,96
	Apicum	1,43	0,00	0,00	0,00	-100,00
Agropecuária	Pastagem	3.209,93	3,07	4.665,70	4,44	45,35
	Agricultura	0,00	0,00	190,10	0,18	0,00
	Silvicultura	0,00	0,00	0,89	0,00	0,00
Área não vegetada	Praia, Duna e Areal	27,62	0,03	34,05	0,03	23,28
	Área Urbanizada	8.486,85	8,13	13.532,97	12,88	59,46
	Rio, Lago e Oceano	56.736,30	54,32	56.203,36	53,50	-0,94

Fonte: MapBiomias Coleção 10, adaptado pelos autores (2025).

Entre as formações naturais não florestais, as mudanças foram ainda mais intensas. A Formação Campestre registrou redução de 92,96%, enquanto o Apicum apresentou perda completa, correspondendo a 100% de diminuição, indicando praticamente o desaparecimento dessas classes.

No setor agropecuário, ocorreu movimento inverso, com crescimento expressivo. As áreas de Pastagem aumentaram 45,35%, configurando uma das maiores expansões relativas do período. A

Agricultura e a Silvicultura surgiram apenas em 2022, caracterizando novas incorporações ao uso do solo, embora sem cálculo de variação percentual por ausência de registro inicial.

Entre as classes não vegetadas, Praia, Duna e Areal apresentaram aumento de 23,28%, enquanto a Área Urbanizada teve crescimento significativo de 59,46%, destacando-se como a principal frente de expansão antrópica. Em contraste, a classe Rio, Lago e Oceano manteve-se praticamente estável, com variação negativa de 0,94%.

Os desmatamentos ocorridos no bioma implicam na fragmentação da vegetação. Essa fragmentação tem impactos diretos nos serviços ecossistêmicos, ou seja, nos benefícios que os humanos obtêm dos ecossistemas, afetando a disponibilidade hídrica, o sequestro e estoque de carbono, regulação climática, entre outros (Seoane et al., 2010; Costanza et al., 2017; Mello et al., 2020).

Cid *et al.* (2023) realizaram uma análise espacial da paisagem do município de Belém, classificando as áreas em categorias de floresta, vegetação, área urbana, solo exposto e água, utilizando a classificação supervisionada em imagens dos anos de 2008 e 2020. Em 2008, nas ilhas de Mosqueiro, Combú e Cotijuba, a floresta predominava, seguida por pequenas áreas de vegetação. A área urbana e o solo exposto eram pouco destacados, concentrando-se principalmente no centro de Belém.

Azevedo, Soares e Torres (2021), avaliaram as alterações de temperatura de superfície terrestre e no uso e cobertura do solo nos anos de 2001, 2008 e 2018 nos municípios de Belém e Ananindeua/PA. Através da análise do mapeamento das classes de uso e ocupação do solo destes municípios, verificou-se um aumento de áreas antropizadas e diminuição de vegetação densa e secundária. Em 2001, a classe vegetação densa correspondia a 27% do solo, sendo a área com a segunda maior representatividade, perdendo apenas para os corpos d'água. Constataram também que não ocorreu variação nessa classe dos anos de 2001 a 2008, havendo mudança significativa apenas no ano de 2018, com uma perda de 3% de vegetação densa nos municípios avaliados, representando 34,42 km².

Além disso, o Serviço Geológico do Brasil (SGB/CPRM) mapeou no município de Belém, 32 áreas com perigo elevado e 93 com perigo extremamente elevado de alagamentos, inundações e erosão, conforme mostrado na Figura 7.

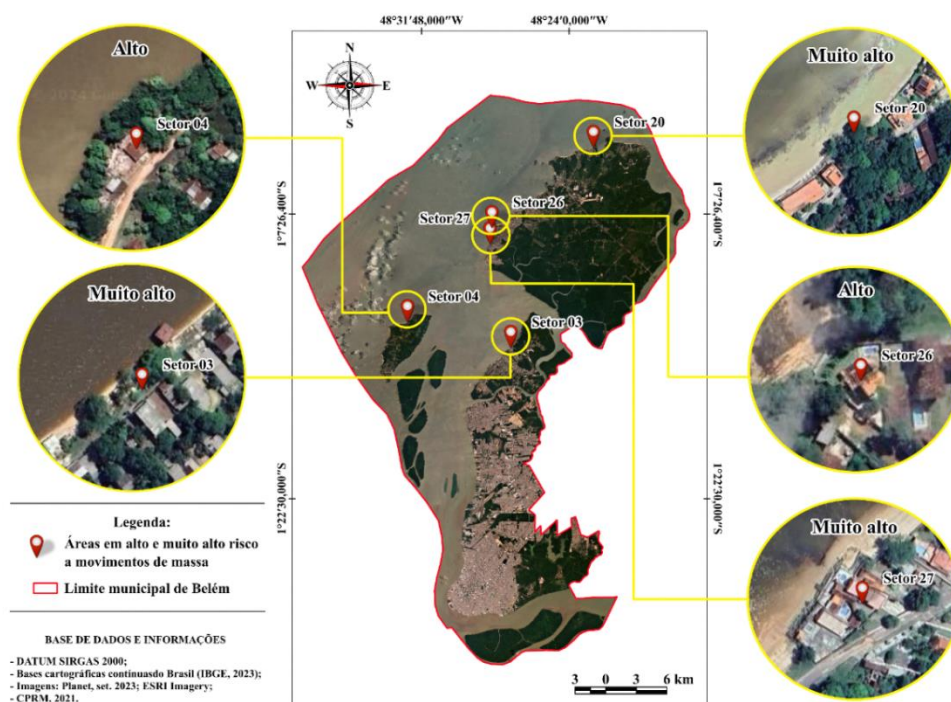


Figura 7 - Mapeamentos dos setores em alto e muito alto riscos.
Fonte: autores (2025).

Dessa forma, a Tabela 5 descreve diferentes áreas em Belém que estão identificadas como “em risco” devido a processos erosivos e deslizamentos de terra, conforme o levantamento do SGB.

Tabela 5 - Descrição das áreas em risco, em Belém - PA.

SETOR	ÁREA	TIPOLOGIA DO PROCESSO	GRAU DE RISCO
03	Ilha do Outeiro - Praia Belo Paraíso	Erosão costeira/marinha	Muito Alto
04	Ilha de Cotijuba - Praia Pedra Branca	Erosão costeira/marinha	Alto
20	Praia do Paraíso - Distrito de Mosqueiro	Erosão costeira/marinha, Deslizamento	Muito Alto
26	Praia do Farol - Distrito de Mosqueiro	Erosão costeira/marinha, Deslizamento planar	Alto
27	Praia Grande - Distrito de Mosqueiro	Erosão costeira/marinha	Muito Alto

Fonte: autores (2025).

Conforme ilustrado na Figura 7, as áreas mais suscetíveis à erosão são justamente aquelas onde a urbanização apresentou o maior crescimento (aumento de 45,36%, entre 1991 e 2022). A supressão demasiada da floresta e o avanço da urbanização, geram uma série de preocupações ambientais. Tais alterações ambientais podem aumentar os eventos de erosão do solo (BORRELLI *et al.*, 2020). Segundo Costa e Rodrigues (2015), a relação estabelecida entre cobertura vegetal e erosão do solo ocorre da seguinte forma: ao reduzir a vegetação, aumenta-se a possibilidade de perda de solo, tendo em vista que, por meio da estruturação que gera no solo e pela proteção que estabelece na superfície, a cobertura vegetal garante menor suscetibilidade à erosão das partículas de solo.

Locais como a Ilha de Outeiro e Ilha de Cotijuba, esse recuo da linha de costa se intensifica, à medida que o tempo passa, haja vista a ausência de medidas para conter o processo e constância de agentes atuantes na ZC (LOPES; DE ANDRADE, 2024). Na Ilha de Mosqueiro, por exemplo, existem setores mais atingidos por erosão, onde comerciantes e moradores investem em obras de contenção, como muros de arrimo, pilares de sustentação, aterros, empilhamento de sacos de areia e cimento, reforço de alicerces e de calçamentos (DE FRANÇA *et al.*, 2020). De fato, os autores Oliveira *et al.* (2018) ao avaliarem as modificações paisagísticas da Ilha de Mosqueiro, entre os anos de 2010 e 2015, verificaram que nos anos avaliados ocorreu uma perda de 10,8% (19,28 km²) da cobertura vegetal, em contrapartida ao avanço de áreas urbanizadas e de solo exposto.

Diante disso, torna-se essencial incorporar ações preventivas à gestão territorial. Entre os mecanismos destacam-se: (i) conservação e restauração de áreas vegetadas, especialmente zonas ripárias, manguezais e fragmentos remanescentes, fundamentais para estabilização do solo; (ii) monitoramento contínuo da erosividade e do uso do solo, integrando bases climáticas e mapeamento remoto; e (iv) políticas públicas de ordenamento costeiro, incluindo controle de impermeabilização, drenagem urbana adequada e recuperação de áreas degradadas.

Conclusão

O presente estudo evidenciou que Belém - PA apresenta um regime pluviométrico altamente concentrado e sazonal, e índices elevados de erosividade ao longo de toda a série histórica. Todos os anos analisados foram classificados como de alta ou muito alta erosividade, destacando o potencial permanente para processos erosivos e instabilidades ambientais. Paralelamente, entre 1991 e 2022, verificou-se uma redução expressiva das formações naturais, especialmente florestais e campestres, acompanhada pela expansão significativa da urbanização e de áreas de pastagem.

A sobreposição entre áreas de maior crescimento urbano e setores classificados pelo SGB/CPRM com risco elevado de erosão, alagamentos e deslizamentos indica que o avanço da urbanização pode amplificar os impactos das chuvas. A remoção da vegetação reduz a capacidade de

infiltração, aumenta o escoamento superficial e acelera a perda de solo, contribuindo para processos de instabilidade costeira.

Portanto, os achados deste trabalho reforçam que a mitigação dos riscos associados às chuvas erosivas em Belém depende não apenas do entendimento climático, mas principalmente da adoção de estratégias de conservação da cobertura vegetal e de um planejamento urbano orientado pela redução de vulnerabilidades.

Referências

ALBUQUERQUE, I. F.; FERREIRA, J. N.; SILVA, M. G.; DIAS, M. F. Tempo e clima no Brasil. **São Paulo: Oficina de textos**, p. 280, 2009.

ALCÂNTARA, C. R.; DIAS, M. A. F. S.; SOUZA, E. P.; COHEN, J. C. P. Verification of the role of the low level jets in Amazon squall lines. **Atmospheric Research**, v. 100, n. 1, p. 36-44, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2010.12.023>

ALCÂNTARA, C. R.; SOUZA, E. P.; DIAS, M. A. F. S.; BIEZATO, B. Influência dos jatos em médios e baixos níveis nos processos de nuvem: estudo numérico de uma linha de instabilidade amazônica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 29, p. 29-46, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-77862014000100004>

ÁLVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. D. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>

APURV, T.; MEHROTRA, R.; SHARMA, A.; GOYAL, M. K.; DUTTA, S. Impact of climate change on floods in the Brahmaputra basin using CMIP5 decadal predictions. **Journal of Hydrology**, v. 527, p. 281-291, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.04.056>

AZEVEDO, S. D.; SOARES, L. F. A.; TORRES, L. M. Temperatura de superfície e uso e cobertura do solo em municípios da região metropolitana de Belém/PA. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 12, n. 1, p. 214-222, 2021. DOI: <https://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2021.001.0018>

BATISTA, R. A. W.; NERY, L. M.; MATUS, G. N.; SIMONETTI, V. C.; DA CUNHA, D. C. Estimativa do fator de erosividade do solo da região do Vale do Ribeira Paulista, Brasil. **Formação (Online)**, v. 28, n. 53, 2021. DOI: <https://doi.org/10.33081/formacao.v28i53.8015>

BAZZANO, M. G. P.; ELTZ, F. L. F.; CASSOL, E. A. Erosividade, coeficiente de chuva, padrões e período de retorno das chuvas de Quaraí, RS. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 1205-1217, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832007000500036>

BORRELLI, P.; ROBINSON, D. A.; PANAGOS, P.; LUGATO, E.; YANG, E. J.; ALEWELL, C.; WUEPPER, D.; MONTANARELLA, L.; BALLABIO, C. Land use and climate change impacts on global soil erosion by water (2015-2070). **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 117, n. 36, p. 21994-22001, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.2001403117>

- CARVALHO, N. O. **Hidrossedimentologia Prática**. Companhia de Pesquisa em Recursos Minerais (CPRM), Rio de Janeiro, Brasil. 1994.
- CAVALCANTE, I. F. A.; FERREIRA, N. J.; SILVA DIAS, M. A. F.; JUSTI, M. G. A. **Tempo e clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.
- CID, Y. P. M.; DE BARROS, W. V. R.; COSTA, M. S. S.; RIBEIRO, E. S.; MARINHO, J. L. M.; CARNEIRO, F. S.; FRAZÃO, A. S.; PINHEIRO, K. A. O. Análise da paisagem no tempo e espaço por meio da classificação supervisionada do município de Belém no período 2008 a 2020. **Research, Society and Development**, v. 12, n. 3, p. e16912338022-e16912338022, 2023. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v12i3.38022>
- COHEN, J. C. P.; SILVA DIAS, M. A. F.; NOBRE, C. A. Environmental conditions associated with Amazonian squall lines: A case study. **Monthly weather review**, v. 123, n. 11, p. 3163-3174, 1995.
- COMISSÃO MUNICIPAL DE DEFESA CIVIL (COMDEC). Belém possui 125 áreas de risco geológico alto ou muito alto, alerta Serviço Geológico do Brasil. 2021. Disponível em: <<https://defesacivil.belem.pa.gov.br/riscos-geologicos/>>. Acesso em: 30 de abril 2024.
- COSTA, Y. T.; RODRIGUES, S. C. Relação entre cobertura vegetal e erosão em parcelas representativas de Cerrado. **Revista Geográfica Acadêmica**, v. 9, n. 2, p. 61-75, 2015.
- COSTANZA, R.; GROOT, R. DE; BRAAT, L.; KUBISZEWSKI, I.; FIORAMONTI, L.; SUTTON, P.; FARBER, S.; GRASSO, M. Twenty years of ecosystem services: How far have we come and how far do we still need to go?. **Ecosystem services**, v. 28, p. 1-16, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.09.008>
- DA SILVA, T. R. G.; DA SILVA PINHEIRO, T.; DE OLIVEIRA, J. F.; MARTINS, F. D. M.; DOS SANTOS, M. A. L.; DOS SANTOS, C. G. Estimativa de erosividade das chuvas para o município de Arapiraca–AL. **DELOS: Desarrollo Local Sostenible**, v. 16, n. 43, p. 813-834, 2023. DOI: <https://doi.org/10.55905/rdelosv16.n43-021>
- DE CARVALHO, J. C.; SALES, M. M.; DE SOUZA, N. M.; DA SILVA MELO, M. T. (Ed.). **Processos erosivos no centro-oeste brasileiro**. Finatec, 2006.
- DE FRANÇA, C. F.; SILVA, R. R. P.; FERREIRA JÚNIOR, J. L. A.; DE ARAÚJO, F. A. Erosão da orla costeira grande-bispo, ilha de Mosqueiro, Belém-PA, através da análise de indicadores. **Geografia Ensino & Pesquisa**, p. e20-e20, 2020. DOI: <https://doi.org/10.5902/2236499433940>
- DE MATOS, A. P.; COHEN, J. C. P. Circulação de brisa e a banda de precipitação na margem leste da baía de Marajó. **Ciência e Natura**, v. 38, p. 21-27, 2016. DOI: <https://doi.org/10.5902/2179460X19814>
- DE MENEZES, V. B. B. Índice de erosividade do território de identidade Portal do Sertão-BA. **Territorialidades da Agricultura Brasileira**, v. 1, 2022. DOI: <https://doi.org/10.37885/2203008153>
- DE SOUZA, E. B.; KAYANO, M. T.; AMBRIZZI, T. Intraseasonal and submonthly variability over the eastern Amazon and Northeast Brazil during the autumn rainy season. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 81, p. 177-191, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00704-004-0081-4>

FERREIRA, D.; DE SOUZA, E. B.; DE MORAES, B. C.; MEIRA FILHO, L. G. Spatial and temporal variability of rainfall in eastern Amazon during the rainy season. **The Scientific World Journal**, v. 2015, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1155/2015/209783>

FOSTER, G. R.; McCOOL D. K.; RENARD, K. G.; MOLDENHAUER, W. C. Conversion of the universal soil loss equation to SI metric units. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 36, n. 6, p. 355-359, 1981.

GALINA, A. B.; ILHA, D. B.; PAGOTTO, M. A. Dinâmica multitemporal da cobertura e uso do solo do estado de Sergipe. **Scientia Plena**, v. 18, n. 6, 2022. DOI: <https://doi.org/10.14808/sci.plena.2022.065301>

GARSTANG, M.; MASSIE, H. L.; HALVERSON, J.; GRECO, S.; SCALA, J. Amazon coastal squall lines. Part I: Structure and kinematics. **Monthly Weather Review**, v. 122, n. 4, p. 608-622, 1994. DOI: <https://doi.org/10.1175/1520-0493>

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Cidades e estados**: Belém. 2022. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pa/belem.html>>. Acesso em: 23 fev. 2024.

INTERGOVERNMENTAL PANEL CLIMATE CHANGE - IPCC, 2023. Sections. In: **Climate Change 2023: Synthesis Report**. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 35-115.

KOUSKY, V. E.; KAGANO, M. T. A climatological study of the tropospheric circulation over the Amazon region. **Acta Amazonica**, v. 11, p. 743-758, 1981. DOI: <https://doi.org/10.1590/1809-43921981114743>

LIEBMANN, B.; HENDON, H. H. Synoptic-scale disturbances near the equator. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v. 47, n. 12, p. 1463-1479, 1990. DOI: <https://doi.org/10.1175/1520-0469>

LIMBERGER, L.; SILVA, M. E. S. Precipitação na bacia amazônica e sua associação à variabilidade da temperatura da superfície dos oceanos Pacífico e Atlântico: uma revisão. **Geosp - Espaço e Tempo (Online)**, v. 20, n. 3, p. 657-67, 2016.

LOPES, W. F.; DE ANDRADE, M. M. N. Análise de medidas estruturais de mitigação à erosão costeira no município de Belém, Pará, Brasil. **Territorium**, n. 31 (I), p. 59-71, 2024. DOI: https://doi.org/10.14195/1647-7723_31-1_5

LOPEZ, M. C. S.; PINAYA, J. L. D.; PEREIRA FILHO, A. J.; VEMADO, F.; REIS, F. A. G. V. Analysis of extreme precipitation events in the mountainous region of Rio de Janeiro, Brazil. **Climate**, v. 11, n. 3, p. 73, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/cli11030073>

MARENGO, J. A.; ESPINOZA, J. C. Extreme seasonal droughts and floods in Amazonia: causes, trends and impacts. **International Journal of Climatology**, v. 36, n. 3, p. 1033-1050, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1002/joc.4420>

MELLO, K. DE; TANIWAKI, R. H.; PAULA, F. R. DE; VALENTE, R. A.; RANDHIR, T. O.; MACEDO, D. R.; LEAL, C. G.; RODRIGUES, C. B.; HUGHES, R. M. Multiscale land use impacts on water quality: Assessment, planning, and future perspectives in Brazil. **Journal of Environmental Management**, v. 270, p. 110879, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110879>

MICHOT, V.; CORPETTI, RONCHAIL, J.; ESPINOZA, J. C.; ARVOR, D.; FUNATSU, B. M.; DUBREUIL, V. Seasonal types in homogeneous rainfall regions of the Amazon basin. **International Journal of Climatology**, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1002/joc.8380>

MIRANDA, M. R. S. *et al.* Distribuição de queimadas e mudanças na cobertura vegetal e uso da terra no bioma Pantanal, Cáceres-Brasil. **Caminhos de Geografia, Uberlândia**, v. 19, n. 65, p. 91-108, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.14393/RCG196508>

MONTE, B. E. O.; GOLDENFUM, J. A.; MICHEL, G. P.; CAVALCANTI, J. R. A. Terminology of natural hazards and disasters: A review and the case of Brazil. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, v. 52, p. 101970, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2020.101970>

MORAIS, L. F. B.; SILVA, V.; NASCHENVENG, T. M. C.; HARDOIN, P. C.; ALMEIDA, J. E. L.; WEBER, O. L. S.; BOEL, E.; DURIGON, V. Índice EI30 e sua relação com o coeficiente de chuva do sudoeste de Mato Grosso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 15, p. 339-344, 1991.

MOURA, M. N.; VITORINO, M. I. Variabilidade da precipitação em tempo e espaço associada à Zona de Convergência Intertropical. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 27, p. 475-483, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-77862012000400010>

NÚÑEZ, J. E. V.; SOBRINHO, N. M. B. A.; MAZUR, Nelson. Consequências de diferentes sistemas de preparo do solo sobre distribuição química e perdas de fósforo de um Argissolo. **Bragantia**, v. 62, p. 101-109, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0006-87052003000100013>

OLIVEIRA, J. V.; COHEN, J. C. P.; BARLAGE, M.; DIAS, M. A. Sl. The Influence of Urbanization on the Development of a Convective Storm-A Study for the Belém Metropolitan Region, Brazil. **Atmosphere**, v. 13, n. 7, p. 1026, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/atmos13071026>

OLIVEIRA, J. V.; COHEN, J. C. P.; PIMENTEL, M.; TOURINHO, H. L. Z.; LÔBO, M. A.; SODRÉ, G.; ABDALA, A. Urban climate and environmental perception about climate change in Belém, Pará, Brazil. **Urban Climate**, v. 31, p. 100579, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2019.100579>

OLIVEIRA JR., R. C.; MEDINA, B. F. A erosividade das chuvas em Manaus (AM). **Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa**, v. 14, p. 235-239. 1990.

OLIVEIRA JR., R. C.; CHAVES, R. S.; MELO, A. S. A erosividade das chuvas em Belém (PA). **Boletim da Faculdade de Ciências Agrárias do Pará, Belém**, n. 22, p. 35-52, 1994.

OLIVEIRA, G. B.; ALCÂNTARA, C. R.; DE SOUZA, E. P. Caracterização de perfis de vento no ambiente de formação das linhas de instabilidade amazônicas. **Ciência e Natura**, v. 38, n. 1, p. 393-403, 2016. DOI: <https://doi.org/10.5902/2179-460X18337>

OLIVEIRA, P. T. S.; WENDLAND, E.; NEARING, M. A. Rainfall erosivity in Brazil: A review. **Catena**, v. 100, p. 139-147, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2012.08.006>

OLIVEIRA, T. T. G. T.; BEZERRA, P. E. S.; PONTES, A. N.; MARTINS, A. C. C. T. Modificações paisagísticas e implicações térmicas no distrito administrativo de Belém, Pará. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 13, n. 3, p. 404-411, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.18378/rvads.v13i3.5648>

PROJETO MAPBIOMAS. **Coleção 8 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso da Terra do Brasil**. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/>. Acesso em: 24 de junho 2024.

- RIQUETTI, N. B.; MELLO, C. R.; BESKOW, S.; VIOLA, M. R. Rainfall erosivity in South America: Current patterns and future perspectives. **Science of the Total Environment**, v. 724, p. 138315, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138315>
- SANTOS, J. S.; DA MOTA, M. A. S.; ROCHA, E. J. P. Classificação climatológica da energia potencial disponível para a convecção na cidade de Belém-PA. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 29, n. esp., p. 60-72, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/0102-778620130040>
- SEOANE, C. E. S.; DIAZ, V. S.; SANTOS, T. L.; FROUFE, L. C. M. Corredores ecológicos como ferramenta para a desfragmentação de florestas tropicais. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 30, n. 63, p. 207-207, 2010. DOI: <https://doi.org/10.4336/2010.pfb.30.63.207>
- SILVA, A. M. Rainfall erosivity map for Brazil. **Catena**, v. 57, p. 251-259, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2003.11.006>
- SILVA, C. M. S. Ciclo diário e semidiário de precipitação na costa norte do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 28, p. 34-42, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-77862013000100004>
- SOUZA, E.B.; KAYANO, M.T.; TOTA, J.; PEZZI, L.; FISCH, G.; NOBRE, C. On the influence of El Niño, La Niña and Atlantic Dipole pattern the Amazonian rainfall during 1960 - 1998, **Acta Amazonica**, v. 30, p. 305 – 318, 2000. DOI: <https://doi.org/10.1590/1809-43922000302318>
- TEIXEIRA, D. B. S.; CECÍLIO, R. A.; MOREIRA, M. C.; PIRES, G. F.; FERNANDES FILHO, E. I. Assessment, regionalization, and modeling rainfall erosivity over Brazil: Findings from a large national database. **Science of The Total Environment**, v. 891, p. 164557, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.164557>
- THAPA, P. The relationship between land use and climate change: A case study of Nepal. **The Nature, Causes, Effects and Mitigation of Climate Change on the Environment**, p. 1-11, 2021.
- UNITED NATIONS OFFICE FOR DISASTER RISK REDUCTION - UNODRR. **Living with Risk: A global review of disaster reduction initiatives**. New York and Geneva: [s.n.]. v. 2, 2004.
- WANG, L.; LI, Y.; GAN, Y.; ZHAO, L.; QIN, W.; DING, L. Rainfall erosivity index for monitoring global soil erosion. **Catena**, v. 234, p. 107593, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2023.107593>
- WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. Rainfall energy and its relationship to soil loss. **Eos, Transactions American Geophysical Union**, v. 39, n. 2, p. 285-291, 1958. DOI: <https://doi.org/10.1029/TR039i002p00285>
- XAVIER, R. A.; DA CONCEIÇÃO DORNELLAS, P. Análise do comportamento das chuvas no município de Arapiraca, região Agreste de Alagoas. **GEOGRAFIA (Londrina)**, v. 14, n. 2, p. 49-64, 2005. DOI: <https://doi.org/10.5433/2447-1747.2005v14n2p49>