

Geociências

Suscetibilidade à erosão hídrica do solo: bacia hidrográfica do rio Capim (MA-PA)

Sustainability to soil water erosion: Capim river basin (MA-PA)

Dênis José Cardoso Gomes^I , Aline Maria Meiguins de Lima^{II} , Edivaldo Afonso de Oliveira Serrão^{III} , Hernani José Brazão Rodrigues^{II} 

^I Universidade do Estado do Pará, Belém, PA, Brasil

^{II} Universidade Federal do Pará, Belém, PA, Brasil

^{III} Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB, Brasil

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi analisar a suscetibilidade à erosão hídrica na bacia hidrográfica do rio Capim/PA-MA. Foram obtidos dados de precipitação (GPCC), declividade (projeto TOPODATA), dados de uso e cobertura da terra (Projeto MapBiomias) e pedologia (Sistema Brasileiro de Classificação de Solos). Baseando-se nestas variáveis, gerou-se em um ambiente de Sistema de Informações Geográficas o produto representativo de suscetibilidade à erosão hídrica do solo. Observou-se um gradiente de suscetibilidade à erosão hídrica do solo no sentido SE-NO, onde foi maior nas proximidades da foz do rio Capim. As demais variáveis tiveram como destaque: componente clinográfica, apresentando predominância de estabilidade e alta suscetibilidade ao sul da bacia; o uso da terra influencia todo o eixo da bacia, indicando instabilidade no médio-baixo Capim e no extremo sudeste. Foi observado que a suscetibilidade à erosão na bacia hidrográfica do Capim é motivada pela intensificação do uso da terra próximo à foz. O zoneamento realizado na bacia representa um sinal de alerta para os municípios de São Domingos do Capim, Rondon do Pará e Goianésia do Pará.

Palavras-chave: Desastres naturais; Geoprocessamento; Meio Ambiente

ABSTRACT

The objective of this study was to analyze the sustainability to water erosion in the Capim river/PA-MA. Acquired precipitation (GPCC), slope (TOPODATA project), land use and land cover data (MapBiomias) and pedology (Brazilian Soil Classification System) were obtained. Based on these variables, in a Geographic Information System environment, the product representing the sustainability to soil water erosion was generated. A sustainability gradient for soil water erosion was observed in the SE-NW direction, where it was higher near the mouth of the Capim River. The other variables were: clinical component presenting predominance of stability and high sustainability in the south of the basin; land use influences the entire axis of the basin, indicating instability in the medium-low Capim and in the extreme southeast. It was observed that the sustainability to erosion in the Capim watershed is motivated by intensified land use

near the mouth. The zoning carried out in the basin is a warning sign for the municipalities of São Domingos do Capim, Rondon do Pará and Goianésia do Pará.

Keywords: Natural disasters; Geoprocessing; Environment

1 INTRODUÇÃO

A dinâmica de crescimento populacional no mundo tem provocado vastos problemas ambientais, pois os efeitos causados por atividades antrópicas resultam, entre outros, alterações climáticas nas mais variadas escalas espaço-temporais (REIS *et al.*, 2016). Estas modificações do meio ambiente, mas especificamente em bacias hidrográficas influenciam diretamente no ciclo hidrológico regional, podendo ocasionar consequências ambientais negativas (ANDRADE *et al.*, 2012), como inundações, enxurradas e erosões.

Conforme Rodrigues e Batistela (2013), o estudo climático de uma região é de suma importância, pois este conhecimento possibilita uma melhor gestão dos recursos hídricos disponíveis, otimizando atividades dependentes da água para várias finalidades como irrigação de culturas, geração de energia elétrica, abastecimento doméstico e industrial, além de subsidiar a prevenção de inundações e erosões hídricas do solo.

A erosão hídrica é um processo físico constituído por três fatores (etapas): desagregação de partículas do solo causadas pelo impacto das gotas de chuva reduzindo a infiltração; transporte das partículas sólidas através do aumento do fluxo do escoamento superficial da água precipitada; deposição quando a vazão não é suficiente para transportar o material particulado e este deposita-se no solo (CEMIN *et al.*, 2013). Oliveira e Leite (2018) acrescentam que a erosão hídrica é considerada um dos fatores mais agravantes para degradação do solo nos últimos anos, sendo em alguns casos considerada um desastre natural, em função de sua interface com o antropismo local.

Sobral *et al.* (2010) ressaltam que as ocorrências de desastres naturais que mais impactaram a população foram de erosão do solo. Em seus estudos, Panachuki *et al.* (2006) complementam que o sucesso de uma exploração equilibrada de recursos da natureza depende, principalmente, do monitoramento de variáveis causadoras de erosão do solo como precipitação, solo, uso e cobertura da terra, declividade, entre outros.

Coutinho *et al.* (2014) afirmam que no Brasil áreas de atividade agropecuárias arcam com perdas de degradação do solo na escala de 882,7 milhões ao ano de

toneladas, sendo a erosão do solo responsável pelo prejuízo de aproximadamente 2,9 bilhões de reais por ano, além dos custos externos (tratamento de água, manutenção de estradas/terras, aumento do consumo de combustíveis e energia elétrica) provocados pela erosão estimando-se um acréscimo de montante financeiro de 1,3 bilhões de reais.

Desta forma, visando possibilitar a análise integrada dos componentes ambientais e antrópicos que atuam na modificação da paisagem das bacias hidrográficas, tem sido utilizado de forma recorrente o uso de geotecnologias dada sua aplicabilidade em proporcionar uma visualização da variabilidade espaço-temporal de grandes áreas da superfície terrestre (SANTOS *et al.*, 2012).

O rio Capim apresenta um histórico de uso da terra marcado por vários ciclos econômicos que ocorreram nos Estados do Pará (PA) e Maranhão (MA), que variaram do extrativismo vegetal e mineral à expansão da pecuária e do cultivo de grãos (SAWYER, 2008; VALENTIM; CARNEIRO; ASSIS, 2015). A Bacia Hidrográfica do rio Capim (BHC) destaca-se devido sua hidrovia Guamá-Capim ser rota de transporte comercial e utilizada também para atividades vinculadas ao turismo, mineração, agropecuária e extrativismo (LIMA; PONTE, 2012). Neste sentido, o objetivo deste trabalho foi analisar a suscetibilidade à erosão hídrica do solo na bacia hidrográfica do rio Capim.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

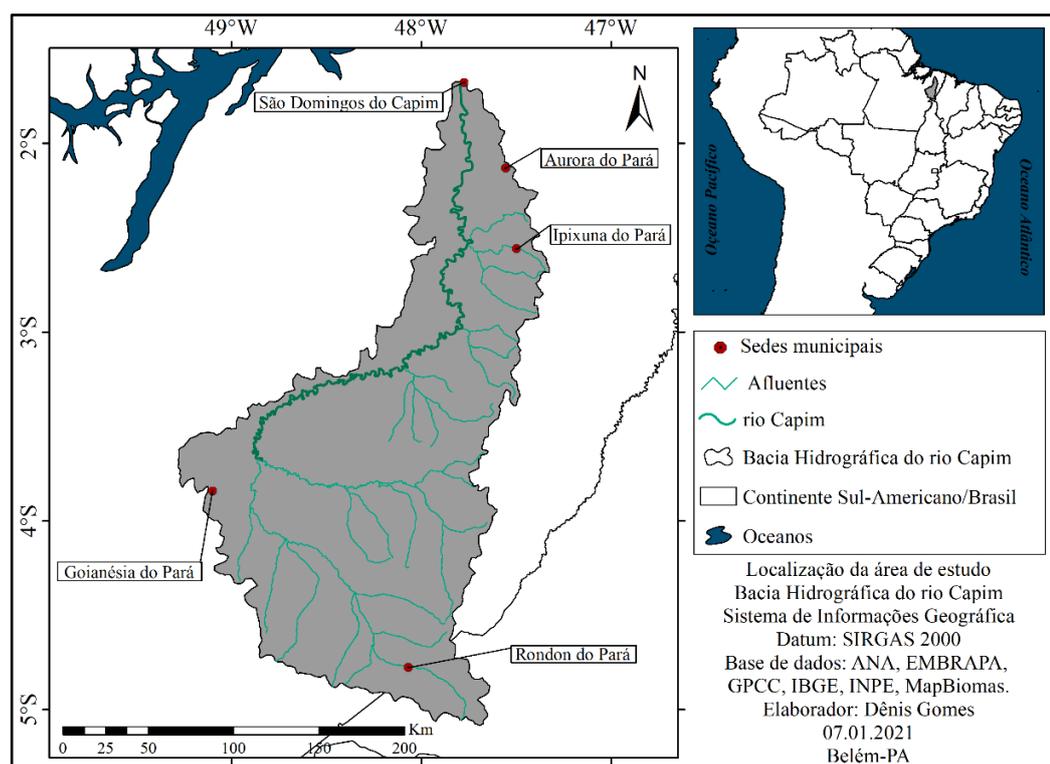
2.1 Área de estudo

A BHC localiza-se na região Nordeste do Estado do Pará (Fig. 1), abrangendo uma área de 37.262 km², desta 95,22 % estão no Pará e 4,78% no Maranhão. Tendo como principais compartimentações o Alto, Médio e Baixo cursos do rio Capim, além das sub-bacias principais dos rios Ararandeuá, Surubijú, Jamanxim-Cauaxi, Potiritá e Candiru Açupixuna (LIMA; PONTE, 2012; GOMES *et al.*, 2018). É caracterizada por uma forma retangular alongado e rede de drenagem irregular, devido à declividade da região, onde é observado forte controle tectônico de seus tributários principalmente sentido NO-SE e NE-SO.

Seu principal curso d'água, o rio Capim, nasce na região da Serra dos Coroados (Sudeste paraense) e deságua nas proximidades da cidade de São Domingos do Capim,

com extensão de 600 km. Possui uma climatologia marcada de precipitação que variam de 1400 mm a 3100 mm que abastecem os rios (GOMES *et al.*, 2018).

Figura 1 – Mapa de localização da área de estudo: Bacia Hidrográfica do Capim e Sub-bacias.



Fonte: Autor (2020)

2.2 Aquisição de dados

Foram usados dados pluviométricos mensais do produto do *Global Precipitation Climatology Center* (GPCC, 2019), com resolução espacial de $1,0^\circ \times 1,0^\circ$, no qual os dados de estações são espacialmente interpolados por um complexo método empírico (PASSOW, 2010; BECKER *et al.*, 2013; SANTOS *et al.*, 2017). Conforme pesquisas feitas por Salomão (2010) e Cuibaiano *et al.* (2017) a declividade foi obtida através do projeto TOPODATA (INPE, 2019) por meio do Modelo Digital de Terreno (MDT) gerado pelas imagens de radar da SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) como feito por Valeriano e Rossetti (2012). Os dados de uso e ocupação da terra foram obtidos no *Google Engine Earth* através da plataforma do projeto MapBiomias (2020) como feito por, Mas *et al.*

(2019). Foi também obtido a classificação quanto ao tipo de solo pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS, 2018), disponibilizados pela EMBRAPA (2019).

2.3 Tratamento de dados

A álgebra de mapas foi realizada a partir da inserção das variáveis ambientais (distribuição espacial pluviométrica, clinografia do terreno, uso e cobertura da terra e da espacialização das classes de solo) em ambiente de Sistema de Informações Geográfica (SIG). Esta técnica é feita correlacionando espacialmente as variáveis ambientais usando ferramentas matemáticas em SIG baseando-se em cada componente abordada na forma de raster (PAVANIN *et al.*, 2017). Por tanto, foi atribuído os pesos (Tab. 1) para cada variável ambiental na ferramenta calculador de raster do SIG para a produção dos mapas de suscetibilidade ambientais. E em seguida foi feito o cálculo para geração deste produto de suscetibilidade à erosão com base em cada reclassificação obtida pela suscetibilidade das variáveis em análise, sendo representado pela Eq. 1 (CREPANI *et al.*, 2001; RIBEIRO; CAMPOS, 2007; MOTA; VALLADARES, 2011):

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

Sendo: Su = suscetibilidade à erosão do solo; P = precipitação; U = Uso e ocupação da terra; S = solos; D = Declividade.

A Tab. 1 apresenta a associação da escala da suscetibilidade à erosão com a classificação ponderada segundo as características de estabilidade e/ou vulnerabilidade às variáveis, em que os pesos foram atribuídos segundo as classes de cada variável considerando o referencial teórico adotado (RIBEIRO; CAMPOS, 2007) e as características específicas da BHC discutidas em Lima (2007).

Tabela 1 – Escala e classificação de suscetibilidade à erosão do solo.

Suscetibilidade	Escalas de valores	Critérios
Vulnerável	$V > 2,6$	Retrabalhamento dos relevos são fundamentais
Moderadamente Vulnerável	$2,2 < V \leq 2,6$	Há o retrabalhamento maior da estabilidade
Medianamente Estável/Vulnerável	$1,7 < V \leq 2,2$	A estabilidade e retrabalhamento dos relevos são próximos
Moderadamente Estável	$1,4 < V \leq 1,7$	Há o retrabalhamento menor da estabilidade
Estável	$V \leq 1,4$	A estabilidade dos relevos é fundamental

Fonte: Ribeiro e Campos (2007). Adaptado por Autor (2019)

Utilizando-se da metodologia de Crepani *et al.* (2001), sendo aplicada posteriormente por Ribeiro e Campos (2007), Francisco (2010), Rovani e Viera (2016) foi realizada a geração de um produto representativo da suscetibilidade à erosão hídrica do solo, considerando a influência de cada variável do estudo. Os critérios associados as suscetibilidades (precipitação pluviométrica, declividade, uso e ocupação da terra e tipo de solo) foram elaborados para este trabalho, porém tendo como base o referencial citado.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Fig. 2a ilustra a distribuição média anual pluviométrica da BHC. Onde observa-se os menores volumes de precipitação (1.564,6 mm - 1.748,5 mm) na região sul - sudeste indicando que está área (cabeceira do rio Capim), há tendência a eventos de estiagem. A parte central da bacia é marcada por flutuações pluviais de 1.932,4 mm - 2.116,3 mm, sendo recentemente registrada pelo Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil (SNPDC, 2019) tempestades convectivas intensas na cidade de Ipixuna do Pará (estado de emergência). Os maiores montantes pluviométricos (2.300,3 mm - 2.534,7 mm) concentram-se na região Norte da bacia (Baixo Capim), apontando a foz do rio Capim como uma área suscetível a eventos de desastres naturais, como as inundações ocorridas em São Domingos do Capim (SNPDC, 2019).

A distribuição espacial da precipitação é fundamental na análise de padrões pluviais anuais e sazonais, pois está informação contribui para a tomada de decisões na utilização de recursos naturais, no monitoramento e prevenção de desastres naturais, no planejamento das atividades agrícolas, nos estudos climatológicos, setor do turismo, entre outros (SOARES *et al.*, 2014; SICILIANO *et al.*, 2018). Em suas Pesquisas Kinnell (2010) mostra como as chuvas intensas podem proporcionar erosão hídrica do solo através do escoamento superficial, principalmente em áreas com ausência de cobertura vegetal.

A Fig. 2b ilustra o contraste das diferentes formas de uso e ocupação da terra na BHC proposta pelo MapBiomas (2020) com as categorias: Agricultura, Área urbana, Floresta, Massa d'água, Mineração e Pasto. A Floresta é a classe de uso da terra de maior predominância na bacia abrangendo uma área de 22.198,0 km² (59,5 %), concentrando-se a principalmente a parte central da sub-bacia do Alto Capim. Ainda nesta região identifica-se áreas de Reflorestamento com 11,8 km² (0,03 %).

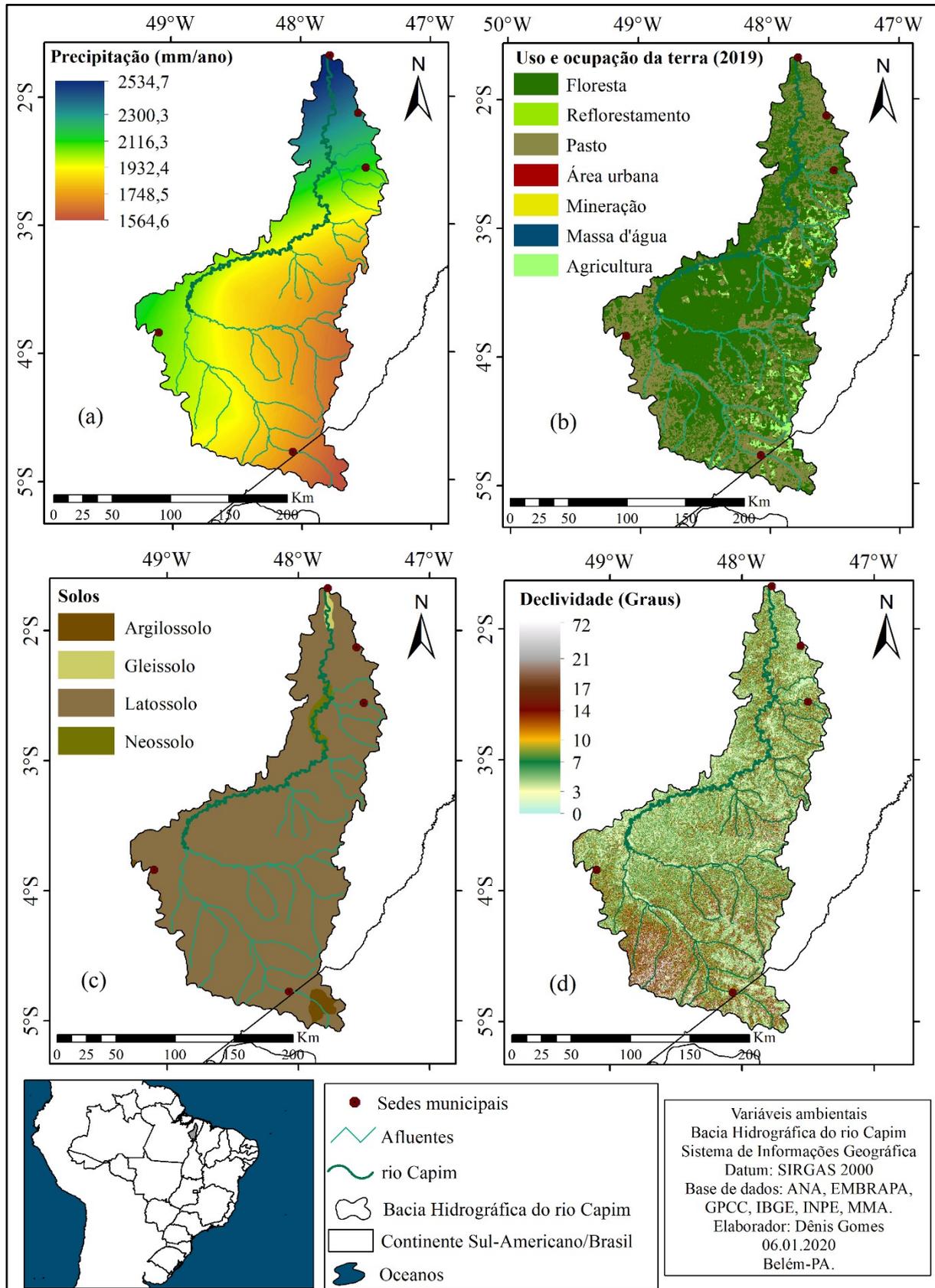
O pasto é a segunda maior categoria em extensão compondo cerca de 13.364,6 km² (35,8 %), no qual seu avanço pode ser observado a nordeste comprometendo a região do baixo capim e também uma área considerável nos limites da BHC ao sul. A agricultura é composta por aproximadamente 1.475,4 km² (3,9 %) distribuída na parte sudeste e nordeste. A Massa d'água representa os sistemas fluviais com 175,8 km² (0,5 %). A Mineração está presente com uma pequena área a nordeste com 37,3 km² (0,1 %).

As Áreas urbanas ocupam em torno de 20,8 km² (0,05 %), indicando as sedes municipais da BHC. Dias *et al.* (2018) constataram que há um aumento desta classe na bacia hidrográfica do rio Capim. Entretanto, estes mesmos autores ainda ressaltam que as maiores correlações positivas entre o uso e cobertura do solo e a vazão do rio Capim são nas classes das florestas e pasto, mostrando o quanto tais alterações do uso da terra podem impactar na hidrologia local. A alteração do escoamento superficial da água é a principal etapa do ciclo hidrológico que intensifica a erosão do solo em áreas marcadas pela retirada da vegetação por influências antrópica associadas com alta erodibilidade e elevado grau de inclinação do terreno (SHANSHAN *et al.*, 2018; GAO *et al.*, 2020).

Observa-se a distribuição pedológica (Fig. 2c) com a predominância de 36.041,0 km² (96,7 %) de latossolos. Silva *et al.* (2009) afirmam que estes sofrem forte ação de agentes bioclimáticos (intemperismo), sendo caracterizados por uma alta permeabilidade a água devido sua estrutura de macroporos, além de sua alta erosividade agravada pela estação chuvosa, podendo ser ainda mais atenuada em ambientes com teor de umidade do solo elevado. Na parte sudeste da BHC há identificação de 495,8 km² (1,3 %) de argissolo, no qual são solos resistentes a degradação (SILVA *et al.*, 2017). Uma pequena área nas proximidades do meandro do rio Capim ao norte pode ser observada 518,6 km² (1,4 %) de neossolo e no Baixo curso do Capim constata-se 206,7 km² (0,6 %) de gleissolo.

A declividade na BHC (Fig. 2d) é marcada por baixos valores de inclinação de terreno em sua maior parte. Contudo, maiores graus de declividade são observados predominantemente a sudoeste com algumas áreas pontuais de declives gradualmente menos íngremes, este cenário pode favorecer esta região a instabilidade de terreno, podendo acarretar deslizamentos de terra e favorecer os processos erosivos.

Figura 2 – Variáveis ambientais: precipitação média anual (1988-2017), uso e ocupação da terra (2019), tipos de solos e declividade



Fonte: Autor (2020)

A suscetibilidade pluviométrica na BHC (Fig. 3a), apresenta uma faixa a sudeste em torno de 3.399,1 km² (9,1 %) classificada como estável sob influência da precipitação. A maior parte da bacia é caracterizada como moderadamente estável segundo a suscetibilidade pluvial abrangendo cerca de 33.861,9 km² (90,8 %) atingindo os municípios de Aurora do Pará, Ipixuna do Pará, Goianésia do Pará e Rondon do Pará, este último foi estudado por Rosa *et al.* (2016) apontando que no trimestre (fevereiro, março e abril) entre os anos de 1999 e 2016 constatou uma erosividade anual do solo de aproximadamente 72 % e sugeriu uma previsão de erosividade do solo ainda maior até o ano de 2035 no quadrimestre (janeiro, fevereiro, março e abril).

Portanto, mesmo caracterizado por uma região de regime pluviométrico mediano - baixo, Rondon do Pará apresenta sinais de alerta nesse aspecto no que compete a gerencia de recursos naturais como solo e água. O município de São Domingo do Capim situado na região da foz do rio Capim foi classificado em uma zona de transição entre moderadamente estável à medianamente estável/vulnerável, este último estabelecendo uma área de aproximadamente 11,6 km² (0,03 %), porém com maior risco em relação a precipitação.

Na Fig. 3b destaca-se a suscetibilidade ao uso e ocupação da terra na BHC. Observou-se uma estabilidade de 22.257,4 km (59,7 %) na parte central, provavelmente pode ser explicada pela concentração das florestas neste setor, pois segundo Tambosi *et al.* (2015) a cobertura vegetal inibe os processos erosivos. São identificadas pequenas áreas de 187,5 km (0,5 %) e classificadas como moderadamente estável ao norte e ao longo dos rios, podendo essa suscetibilidade ser atribuída aos sistemas fluviais e ao reflorestamento. No entanto, o predomínio de terras reclassificadas como medianamente estável/vulnerável é constatado com uma distribuição de aproximadamente

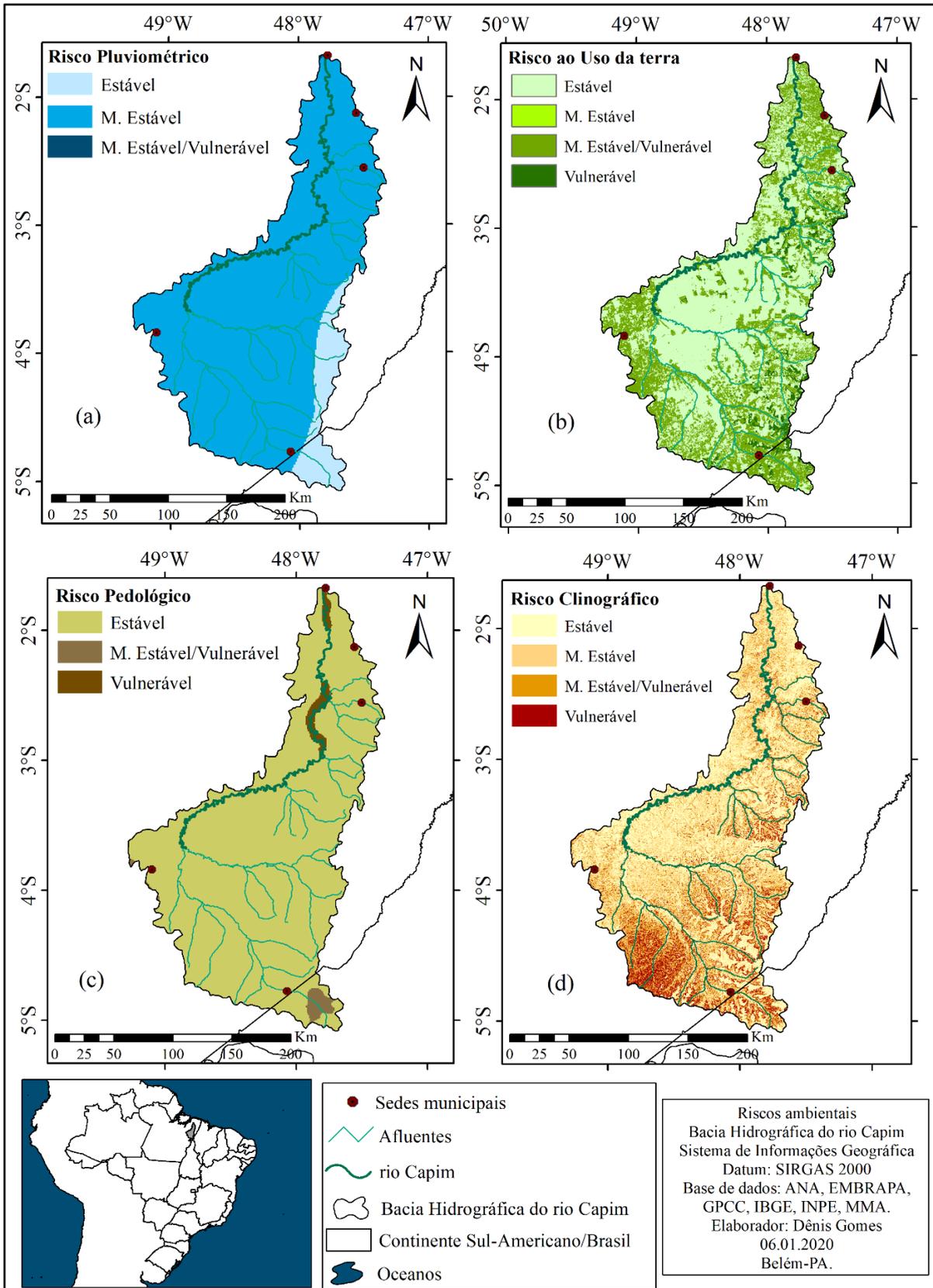
13.364,0 km² (35,8 %), em que pode estar relacionado com as influências das áreas destinadas ao pasto, favorecendo ao solo maior suscetibilidade à erosão (FERREIRA *et al.*, 2010).

Contudo, terras classificadas como vulnerável (1.476,2 km² - 3,9 %) são identificadas no lado leste da BHC, apontando a elevada suscetibilidade as formas de uso da terra e o impacto que pode ocorrer devido as atividades de agricultura situarem-se nesta região (VANZELA *et al.*, 2010).

Assim, acoplada ao uso da terra, a suscetibilidade pedológica da BHC (Fig. 3c) possui o predomínio de estabilidade com uma área de 36.041,0 km² (96,7 %), provavelmente devido a abundância de latossolos ratificados anteriormente por Bertol e Almeida (2000), e posteriormente Silva *et al.* (2009). Na parte sul da BHC, verifica-se que há uma área de suscetibilidade medianamente estável/vulnerável de 495,8 km² (1,3 %), provavelmente estando sob influência do argissolo. Na região da sub-bacia do Ipixuna e Baixo Capim constata-se a maior suscetibilidade a erosão em relação ao solo sendo classificado como vulnerável, compondo uma área de 725,3 km² (2,0 %), possivelmente por causa do gleissolo e neossolo. Mota e Valladares (2011) obtiveram os mesmos resultados no que compete a suscetibilidade natural do neossolo, apontando como um solo pouco desenvolvido e instável.

As condições de relevo intensificam os efeitos das variáveis relacionadas sobre e sob o solo. Por tanto, a suscetibilidade clinográfica da BHC (Fig. 3d) indica que há terrenos com estabilidade distribuído em 15.882,9 km² (42,8 %) por toda a rede de drenagem, mas principalmente o lado leste (Médio Capim), marcado pela baixa inclinação angular de terreno, apontando como uma região com menor suscetibilidade clinográfica.

Figura 3 – Suscetibilidades ambientais: precipitação média anual (1988-2017), uso e ocupação da terra (2019), tipos de solos e declividade



Fonte: Autor (2020)

A classificação moderadamente estável (12.398,3 km² - 33,4 %) a medianamente estável/vulnerável (5.456,0 km² - 14,8 %) é caracterizada ao longo de todo o sistema de drenagem, com destaque para as regiões norte e leste da bacia. Entretanto, na região sul concentra-se áreas de alta instabilidade classificadas como moderadamente vulnerável (2.037,9 km² - 5,6 %) a vulnerável (1.488,2 km² - 4,0 %).

Moreira *et al.* (2015) reforçam que áreas com declives acentuados com presença de rios promovem maior carreamento de sedimentos no curso d'água aumentando o assoreamento do leito (INÁCIO *et al.*, 2007; FERREIRA *et al.*, 2012) que pode provocar processos erosivos do solo.

A Tab. 2 descreve os critérios adotados em relação as variáveis ambientais. Na BHC observou-se regiões reclassificadas como vulneráveis (uso e ocupação da terra, declividade e solo) com altos valores (3,0). A estabilidade (1,0 – 1,7) foi observada em todas as classes, assim como áreas caracterizadas como transição (1,8 – 2,1) para a instabilidade.

Tabela 2 – Critérios adotados para as categorias: Precipitação; Uso e ocupação da terra; Declividade; Solo.

Suscetibilidade	Critérios			
	Precipitação	Uso da terra	Declividade	Solo
Vulnerável	S/ Classificação	3,0	3,0	3,0
Moderadamente Vulnerável	S/ Classificação	S/ Classificação	S/ Classificação	S/ Classificação
Medianamente Estável/Vulnerável	1,8	2,0	2,1	2,0
Moderadamente Estável	1,7	1,5	1,7	S/ Classificação
Estável	1,4	1,0	1,3	1,0

Fonte: Autor (2020)

3.1 Suscetibilidade à erosão hídrica do solo

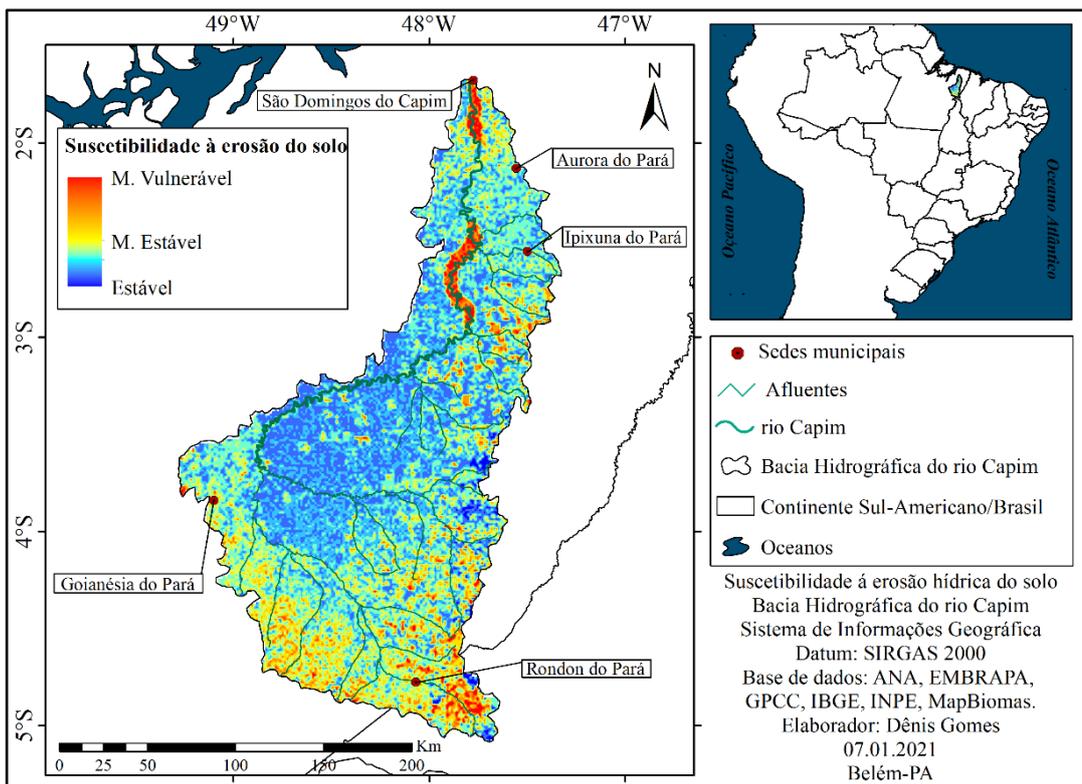
A síntese dos resultados mostra a suscetibilidade à erosão na BHC (Fig. 4) motivada pelo escoamento superficial nas áreas de maior precipitação associadas a declives íngremes, ausência de cobertura vegetal e solos com maior impermeabilidade, sendo intensificada nos extremos NW-SE, próximo à foz, onde o rio alcança seu maior volume.

Neste cenário, o município de São Domingo do Capim encontra-se em uma área classificada como moderadamente vulnerável à erosão hídrica do solo. De forma geral, os

efeitos topográficos contribuem para o predomínio de áreas estáveis e moderadamente estáveis. A região sul da BHC representa a área de maior heterogeneidade de comportamento, logo, a necessidade de intensificação das formas de retrabalhamento.

Na bacia do rio Capim, considerando os resultados obtidos, destaca-se as sedes municipais de São Domingos do Capim, Rondon do Pará e Goianésia do Pará como prioritárias para que a expansão do espaço urbano não contribua como catalizador da ocorrência de processos erosivos, gerando prejuízos para população local, com perda de bens patrimoniais e dependendo da intensidade do período chuvoso, com o favorecimento de ocorrência de enxurradas e inundações. Esta última gerada pelo acúmulo de sedimentos nos cursos d'água ampliando a área alagada (ZEHE; SIVAPALAN, 2009; FERNANDES *et al.*, 2014).

Figura 4 – Suscetibilidade à erosão hídrica do solo: Bacia Hidrográfica do rio Capim



Fonte: Autor (2020).

Andrade *et al.* (2017) classificam o Nordeste Paraense com 69% de área com suscetibilidade moderada a ocorrência de desastres naturais (34 municípios); esta área apresenta como fatores de relevantes agregar grande densidade populacional, renda menor que dois salários mínimos e também baixa escolaridade. Dentre as formas de

desastres naturais ocasionados pelo uso inadequado da terra, os relacionados à ocorrência de formas erosivas em geral vinculam-se a evolução destas em áreas antrópicas ou ao produto instantâneo das enxurradas (BERTOL *et al.*, 2010).

A área de transição ao sul do Baixo Capim até os meandros situado ao norte do Médio Capim é caracterizada como uma região de moderadamente vulnerável, provavelmente devido a fragmentação da paisagem que desestabiliza o equilíbrio ambiental, além da declividade acentuada ao neossolo compondo a pedologia local, pois Rovani e Viera (2016) apontam em seu trabalho que estes elementos ambientais propiciam a maior suscetibilidade de perda de solo.

Por tanto, no sul de Ipixuna do Pará e leste de Paragominas estão comprometidas a alta suscetibilidade a erosão hídrica, no qual áreas agrícolas essenciais na economia regional e nacional podem estar sob risco iminente deste tipo de desastre natural, assim como a população rural e principalmente o povo da várzea, onde ambos dependem tanto da água como das atividades de agriculturas, sendo as inundações recorrentes um fator limitante para sua subsistência (ADAMS *et al.*, 2005; COSTA *et al.*, 2016).

4 CONCLUSÃO

A suscetibilidade da BHC à erosão hídrica apresentou um sinal de alerta para os municípios de São Domingos do Capim, Rondon do Pará e Goianésia do Pará, sendo caracterizadas como regiões vulneráveis principalmente por sua alta intensidade de precipitação pluviométrica.

Os processos acelerados de urbanização nos últimos anos na região podem aumentar a erosão do solo, podendo a situação da cidade agravar-se na estação chuvosa somada com anos com o regime pluviométrico acima da climatologia regional em áreas classificadas com maior suscetibilidade pluviométrica.

A adoção de geotecnologias na geração de produtos que possam subsidiar a análise da suscetibilidade ambiental auxilia o monitoramento de bacias hidrográficas, principalmente naquelas com escassa rede de informações hidrometeorológicas, sendo imprescindíveis nos estudos sobre o comportamento desses sistemas complexos para uma melhor tomada de decisão no planejamento público, assim como um complemento nas pesquisas sobre a gestão na Amazônia Brasileira.

AGRADECIMENTO

Laboratório de Estudos e Modelagem Hidroambientais (LEMHA).

REFERÊNCIAS

ADAMS, C.; MURRIETA, R. S.; SANCHES, R. A. Agricultura e alimentação em populações ribeirinhas das várzeas do Amazonas: Novas perspectivas. **Revista Ambiente e Sociedade**. v. 08, n. 01, p. 01 – 22, 2005.

ANDRADE, M. A.; MELLO, C. R.; BESKOW, S. Simulação hidrológica em uma bacia hidrográfica representativa dos latossolos na região Alto rio Grande – MG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 17, n. 01, p. 69 – 76, 2013.

ANDRADE, M. M. N.; ANDRADE, A. S.; BEZERRA, P. E. S. Índice de vulnerabilidade AOS desastres naturais no estado do Pará (Brasil). **Revista DELOS: Desarrollo Local Sostenible**, n. 30, 2017.

BECKER, A.; FINGER, P.; MEYER-CHRISTOFFER, A. RUDOFF, B.; SCHAMM, K.; SCHNEIDER, U.; ZIESE, M. A description of the global land-surface precipitation data products of the global precipitation climatology centre with sample applications including centennial (trend) analyses from 1901-present. **Earth System Sci. Data**, v. 5, p. 71-99, 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 – 669, 2000.

BERTOL, I.; VÁZQUEZ, E. V.; GONZÁLEZ, A. P.; COGO, N. P.; LUCIANO, R. V.; FABIAN, E. L. Sedimentos transportados pela enxurrada em eventos de erosão hídrica em um Nitossolo Háplico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 1, p. 245-252, 2010.

CARNEIRO, M. S.; ASSIS, W. S. O controle do desmatamento na Amazônia como um processo de modernização ecológica: a experiência do projeto município verde. **Repocs**, v. 12, n. 24, p. 53-76, 2015.

CEMIN, G.; PÉRICO, E.; SCHNEIDER, V. E.; FINOTTI, A. R. Determinação da perda de solos por erosão laminar na bacia hidrográfica do arroio marrecas, RS, Brasil. **Revista Scientia Plena**. v. 09, n. 01, p. 01 – 09, 2013.

COSTA, S. M. F.; VALOTA, E. C. S.; OLIVEIRA, I. G.; MONTOIA, G. R. M.; SANTOS, E. A. Crescimento urbano e ocupação de várzea em pequenas cidades da Amazônia: uma discussão premente. **Revista Geografia, Ensino & Pesquisa**. v. 20, n. 01, p. 114 – 129, 2016.

COUTINHO, L. M.; CECÍLIO, R. A.; GARCIA, G. O.; XAVIER, A. C.; ZANETTI, S. S.; MOREIRA, M. C. Cálculo do fator LS da Equação Universal de Perdas de Solos (EUPS) para a bacia do rio da Prata, Castelo-ES. **Revista Agro@ambiente**. v. 08, n. 01, p. 01 – 09, 2014.

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

CUIBAIANO, M. N.; NEVES, S. M. A. S.; NUNES, C. M.; SERAFIM, M. E.; NEVES, R. J. Vulnerabilidade ambiental à erosão hídrica na sub-bacia do Córrego do Guanabara / Reserva do Cabaçal – MT, Brasil. **Revista Geociências**. v. 36, n. 3, p. 543 – 556. São Paulo, UNESP, 2017.

DIAS, G. F. M.; LIMA, A. M. M.; SANTOS, M. N. S. As mudanças no uso e cobertura da terra e o comportamento hidrológico da bacia do rio Capim. **Revista Paper do NAEA**. v. 390, p. 01 – 31, 2018.

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

FERNANDES DA SILVA, P.C.; ANDRADE, E.; ROSSINI-PENTEADO, D. Mapeamento de Perigos e Riscos de Inundação: Uma abordagem semi-quantitativa. **Revista do Instituto Geológico**, v. 35, n. 2, p. 13-38, 2014.

FERREIRA, A. O.; GONZATTO, R.; MIOLA, A.; ELTZ, F. L. F.; AMADO, T. J. C. Influência da declividade e de níveis de cobertura do solo no processo de erosão com chuva simulada. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 5, n. 5, p. 182 – 190. Mossoró – RN, 2010.

FERREIRA, P. S.; SOUZA, W. M.; SILVA, J. F.; GOMES, V. P. Variabilidade espaço-temporal das tendências de precipitação na mesorregião sul Cearense e sua relação com as anomalias de TSM. **Revista Brasileira de Meteorologia**. v. 33, n. 01, p. 141 – 152, 2018.

FERREIRA, S. L.; OKA-FIORI, C.; KOZCIAK, S. Análise multitemporal da erosão nas bacias hidrográficas dos rios São João, Iporã e do Prado, Altônia – PR, decorrente da dinâmica agropastoril. **Revista Caminhos de Geografia**. v. 13, n. 44, p. 15 – 34, 2012.

FLUZINO, B. K. **Degradação do solo pela erosão hídrica e capacidade de uso em sub-bacia hidrográfica Piloto no Sul de Minas Gerais**. 2012. 105 f. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Itajaúba, 2012.

FRANCISCO, P. R. M. **Classificação e mapeamento das terras para mecanização agrícola do estado da Paraíba utilizando sistema de informações geográficas**. 2010. 122 f. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal da Paraíba, 2010.

GAO, J.; BAI, Y.; CUI, H.; ZHANG, Y. The effect of different crops and slopes on runoff and soil erosion. **Water Practice and Technology**, v. 15, n. 3, p. 773-780, 2020.

GOMES, D. J. C.; LIMA, A. M. M.; SILVA JUNIOR, J. A.; SERRÃO, E. A. O. Impactos das mudanças de uso da terra e dos eventos climáticos extremos em sistemas hidrológicos da Amazônia Oriental - Bacia do rio Capim (PA-MA). **Revista Geográfica Acadêmica**. v. 12, n. 2, 2018.

GPCC. Global Precipitation Climatology Center. Acessado em: 17 de janeiro de 2019. Disponível em: <https://kunden.dwd.de/GPCC/Visualizer>.

INÁCIO, E. S. B.; CANTALICE, J. R. B.; NACIF, P. G. S.; ARAUJO, Q. R.; BARRETO, A. C. Quantificação da erosão em pastagem com diferentes declives na microbacia do ribeirão Salomea. **Revista Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 11, n. 04, p. 355 – 360, 2007.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Acessado em: 10 de janeiro de 2019. Disponível em: <http://www.webmapit.com.br/inpe/topodata/>.

KINNELL, P. I. A. Event soil loss, runoff and the universal soil loss equation Family. **Journal Hydrology**. v. 385, n. 1, p. 384-397, 2010.

LIMA, A. M. M. **O planejamento estratégico e a gestão da oferta hídrica baseados no estudo da paisagem, bacia do rio Capim**. 2007. 313 f. Tese (Doutorado), Universidade Federal do Pará, 2007.

LIMA, A. M. M. Sistema de informação de recursos hídricos como subsídio a elaboração do plano diretor da bacia do rio Capim-PA. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12, 2005, Goiânia - GO.

LIMA, A. M. M.; PONTE, M. X. Dinâmica da Paisagem da Bacia do rio Capim-PA. **Revista Brasileira de Geografia Física**. v. 01. p. 127-142, 2012.

MAS, J. F.; VASCONCELOS, R. N.; FRANCA-ROCHA, W. Analysis of high temporal resolution land use/land cover trajectories. **Land**, v. 8, n. 30., p. 1-19, 2019.

MOREIRA, T. R.; SANTOS, A. R.; DALFI, R. L.; CAMPOS, R. F.; SANTOS, G. M. A. D. A.; EUGENIO, F. C. Confronto do uso e ocupação da terra em APP's no município de Muqui, ES. **Revista Floresta e Ambiente**. v. 22, n. 02, p. 141 – 152, 2015.

MOTA, L. H. S. O.; VALLADARES, G. S. Vulnerabilidade à degradação dos solos da Bacia do Acaraú, Ceará. **Revista Ciência Agronômica**. v. 42, n. 01, p. 39 – 50, 2011.

NÓBREGA, R. S.; SANTIAGO, G. A. C. F.; SOARES, D. B. Tendências do controle climático oceânico sob a variabilidade temporal da precipitação no nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**. v. 18, n. 12, p. 276 – 292, 2016.

OLIVEIRA, W. F.; LEITE, M. E. **Perda de solo por erosão hídrica em bacia hidrográfica**: o caso da área de drenagem da barragem do rio juramento, no Norte do Estado de Minas Gerais. v. 19, n. 67, 2018.

PADILHA, R. M.; SOUZA, C. A. Dinâmica fluvial na bacia hidrográfica do rio Carapá, inserida na bacia do rio Amazonas. **Revista Brasileira de Geografia Física**. v. 11, n. 04, p. 1490 – 1511, 2018.

PASSOW, M. TRMM - Tropical Rainfall Measuring Mission: Bringing remote sensing of precipitation into your classroom. **Terra e Didática**. v. 6, n. 1, p. 3-8, 2010.

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.

REIS, J. B. C.; PONS, N. A. D.; LOPES, E. S. S. Monitoramento e alerta de inundação no município de Itajubá (MG) por regressão polinomial. **Revista de Geociências**. v. 35, n. 01, p. 134 – 148, 2016.

RIBEIRO, F. L.; CAMPOS, S. Vulnerabilidade à 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.

RODRIGUES, S. A.; BATISTELA, G. C. Uma revisão sobre a disponibilidade hídrica brasileira para geração de energia elétrica. **Revista Geoambiente on-line**. n. 21, p. 48 – 67, 2013.

ROSA, A. G.; SOUSA, A. M. L.; COSTA, J. A.; SOUZA, E. B. Erosividade da chuva em Rondo do Pará, PA, Brasil, de 1999 a 2015 e projetada para 2035. **Revista Ambiente & Água**. v. 11, n. 04, p. 1006 – 1021, 2016.

ROVANI, F. F. M.; VIERA, M. Vulnerabilidade natural do solo de Silvera Martins-RS. **Revista Floresta e Ambiente**. v. 23, n. 02, p. 151 – 160, 2016.

SALOMÃO, F. X. T. Controle e Prevenção dos processos erosivos. In: Guerra, A. J. T.; Silva, A. S. S.; Botelho, R. G. M. **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p. 229-267, 2010.

SANTOS, M. S.; FREITAS, G. M. A.; FURRIER, M. Análise da relação entre declividade e uso e ocupação da terra na área correspondente à folha Pitimbu-Litoral Sul da Paraíba. **Revista Brasileira de Geografia Física**. v. 01, p. 101 – 114, 2012.

SANTOS, S. R. Q.; SANSIGOLO, C. A.; NEVES, T. T. A. T.; SANTOS, A. P. P. Variabilidade sazonal da precipitação na Amazônia: validação da série de precipitação mensal do GPCC. **Revista Brasileira de Geografia Física**. v. 10. n. 6, p. 1721-1729, 2017.

SAWYER, D. Climate change, biofuels and eco-social impacts in the Brazilian Amazon and Cerrado. **Philosophical Transaction Research Society**, 363, p. 1747-1752. 2008.

SHANSHAN, W.; BAOYANG, S.; CHAODONG, L.; ZHANBIN, L.; BO, M. Runoff and soil erosion on slope cropland: A review. **Journal of Resources and Ecology**, v. 9, n. 5, p. 461-470, 2018.

SICILIANO, W. C.; BASTOS, G. P.; OLIVEIRA, I. T.; SILVA, G. N.; OBRACZKA, M.; OHNUMA JUNIOR, A. A. Variabilidade espacial e temporal da precipitação pluvial no município do Rio de Janeiro. **Revista Internacional de Ciências**. v. 08, n. 02, p. 221 – 233, 2018.

SILVA, A. M.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; AVANZI, J. C.; FERREIRA, M. M. Erosividade da chuva e erodibilidade de cambissolo e latossolo na região de Lavras, sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 33, p. 1811 – 1820, 2009.

SILVA, L. P.; GOMES, D. J. C. Variabilidade interanual climática associada à ocorrências de desastres naturais: Estado do Pará. CONGRESSO BRASILEIRO DE REDUÇÃO DE RISCOS E DESASTRES, 3, Belém-PA, 2019.

SILVA, P. L.; ANDRADE, L. N. P. S.; LEANDRO, G. R. S.; SOUZA, C. A. Evolução dos processos erosivos e aspectos granulométricos em um sistema de voçoroca no Distrito de Vila Aparecida, município de Cáceres – Mato Grosso. **Revista Brasileira de Geografia Física**. v. 10, n. 02, p. 627 – 640, 2017.

SILVA, V. P. R.; PEREIRA, E. R. R.; ALMEIDA, R. S. R. Estudo da variabilidade anual e intra-anual da precipitação na região nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**. v. 27, n. 02, p. 163 – 172, 2012.

SNPDC. Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil – **Sistema Integrado de Informações sobre Desastres Naturais** (S2iD). Disponível em: <https://s2id.mi.gov.br/>. Acessado em: 07/06/2019.

SOARES, F. S.; FRANCISCO, C. N.; SENNA, M. C. A. Distribuição espaço-temporal da precipitação na região hidrográfica da Baía da Ilha Grande – RJ. **Revista Brasileira de Meteorologia**. v. 29, n. 01, 125 – 138, 2014.

SOBRAL, A.; FREITAS, C. M.; ANDRADE, E. V.; LYRA, G. F. D.; MASCARENHAS, M. S.; ALENCAR, M. R. F.; CASTRO, R. A. L.; FRANÇA, R. F. Desastres naturais – sistemas de informação e vigilância: uma revisão da literatura. **Revista Epidemiologia e Serviço de Saúde**. v. 19, n. 4, p. 389-402, Brasília, 2010.

TAMBOSI, L. R.; VIDAL, M. M.; FERRAZ, S. F. B.; METZGER, J. P. Funções eco-hidrológicas das florestas nativas e o código florestal. **Revista Estudos Avançados**. v. 29, n. 84, p. 151 – 162, 2015.

TERASSI, P. M. B.; OLIVEIRA-JUNIOR, J. F.; GÓIS, G.; GALVANI, E. Variabilidade do índice de precipitação padronizada na região norte do estado do Paraná associada aos eventos de El Niño – Oscilação Sul. **Revista Brasileira de Meteorologia**. v. 33, n. 01, p. 11 – 25, 2018.

VALENTIM, J. F.; ANDRADE, C. M. S. Tendências e perspectivas da pecuária bovina na Amazônia brasileira. **Amazônia: Ciência & Desenvolvimento**, Belém, v. 4, n. 8, 2009.

VALERIANO, M. M.; ROSSETTI, D. F.; Topodata: Brazilian full coverage refinement of SRTM data. **Applied Geography (Sevenoaks)**, v 32, p. 300-309, 2012.

VANZELA, L. S.; HERNANDEZ, F. B. T.; FRANCO, R. A. M. Influência do uso e ocupação do solo nos recursos hídricos do córrego Três Barras, Marinópolis. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 14, n. 01, p. 55 – 64, 2010.

VESELY, F. F. Sulcos de origem glacial em arenitos neocarboníferos do parque estadual de vila velha, sudeste do Paraná. **Revista Geociências**. v. 30, n. 04, p. 589 – 599, 2011.

ZEHE, E.; SIVAPALAN, M. Threshold behaviour in hydrological systems as (human) geoecosystems: manifestations, controls, implications. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 13, p. 1273-1297, 2009.

CONTRIBUIÇÕES DE AUTORIA

1 - Dênis José Cardoso Gomes

Universidade do Estado do Pará, Graduado em Meteorologia e Mestrando em Ciências Ambientais.

<https://orcid.org/0000-0001-6441-6783> – deniss.feg@gmail.com

Contribuições: Conceituação, metodologia, investigação, escrita (rascunho original), visualização, edição.

2 - Aline Maria Meiguins de Lima

Universidade Federal do Pará, Graduada em Geologia, Especialista em Recursos Hídricos, Mestra em Geotecnia, Dr^a. em Desenvolvimento Socioambiental e Docente da UFPA.

<https://orcid.org/0000-0002-0594-0187> – ameiguins@ufpa.br

Contribuições: Conceituação, escrita, revisão, supervisão, edição.

3 - Edivaldo Afonso de Oliveira Serrão

Universidade Federal de Campina Grande, Graduado, Mestre e Doutorando em meteorologia.

<http://orcid.org/0000-0003-2376-847X> – oliveiraserrao@gmail.com

Contribuições: Conceituação, revisão.

4 - Hernani José Brazão Rodrigues

Universidade Federal do Pará, Graduado e Mestre em Meteorologia e Dr. em Meteorologia Agrícola e Docente da UFPA.

<https://orcid.org/0000-0002-5509-6287> – hernani@ufpa.br

Contribuições: Escrita, revisão.

COMO CITAR ESTE ARTIGO

GOMES, D. J. C.; LIMA, A. M. M.; SERRÃO, E. A. O.; RODRIGUES, H. J. B. Suscetibilidade à erosão hídrica do solo: bacia hidrográfica do rio Capim (MA-PA). *Ciência e Natura*, Santa Maria, v. 43, e55, p. 1–20, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/2179460X43123>. Acesso em: dia, mês (abreviado), ano.